



SIG ET TÉLÉDÉTECTION POUR L'ÉTUDE DE L'ENSABLEMENT DANS UNE ZONE ARIDE : LE CAS DE LA WILAYA DE NAÂMA (ALGÉRIE).

Abdelkrim Bensaïd

► To cite this version:

Abdelkrim Bensaïd. SIG ET TÉLÉDÉTECTION POUR L'ÉTUDE DE L'ENSABLEMENT DANS UNE ZONE ARIDE : LE CAS DE LA WILAYA DE NAÂMA (ALGÉRIE).. Géographie. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2006. Français. tel-00169433

HAL Id: tel-00169433

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00169433>

Submitted on 3 Sep 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÉ
JOSEPH FOURIER
SCIENCES TECHNOLOGIES SANTÉ



Thèse

Présentée par :

Abdelkrim BENSAID

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1

Discipline : Géographie

SIG ET TÉLÉDÉTECTION POUR L'ÉTUDE DE L'ENSABLEMENT DANS UNE ZONE ARIDE : LE CAS DE LA WILAYA DE NAÂMA (ALGÉRIE).

Soutenue publiquement le 27 juin 2006 devant le Jury composé de :

Abdelkader ABDELLAOUI, rapporteur

Yann CALLOT, rapporteur

Joël CHARRE, examinateur

Pierre DUMOLARD, directeur de thèse

Khadidja REMAOUN, directrice de thèse

Philippe SCHOENEICH, examinateur

À la mémoire de ma mère

Remerciements

En premier lieu, je me dois de préciser que ce travail n'aurait pas été réalisé sans l'allocation de recherche octroyée par l'Agence Universitaire de la Francophonie AUF dont j'ai bénéficié pendant trois ans et qui m'a permis de séjourner en France.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Mme Khadidja REMAOUN et à Monsieur Pierre DUMOLARD mes directeurs de thèse. Leurs suggestions, conseils et critiques, m'ont aidé à élaborer ma thèse.

Je remercie Madame REMAOUN d'avoir accepter de m'encadrer, de m'avoir mis sur les rails de la recherche. Je lui suis redevable de mon ouverture aux recherches en géographies physiques.

Que Monsieur Pierre DUMOLARD sache que, au-delà de cette thèse, je lui dois aussi une construction personnelle rendue possible par la confiance qu'il place dans ses étudiants et la grande liberté qu'il leur laisse.

Je remercie le chef du cabinet de wali de la wilaya de Naâma de nous avoir reçu et d'avoir faciliter notre travail de terrain.

Mes sincères remerciements s'adressent à Monsieur le conservateur des forêts : Abdelkrim BOUZIANE pour sa collaboration et sa gentillesse.

Des personnes -notamment sur le terrain à Naâma- qui, peut être sans le savoir et souvent à l'occasion de discussions informelles, m'ont encouragé, m'ont apporté des éclairages nouveaux ou m'ont orientée vers des pistes originale : je les en remercie.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à BELMAHI Mohamed Nadir de l'IGAT université d'Oran, mes amis et collègues du CNTS d'Arzew Okacha, Zakaria, Khatir, Mendes, Hamimed, à Rafik, Mohsen et Lotfi : c'est ici l'occasion de les assurer de toute mon amitié.

Mon frère Driss, mon beau père BARKI Ali et mon beau frère KEBIR Hocine ainsi que toute ma famille m'ont toujours soutenu et encouragé, je les en remercie grandement.

RÉSUMÉ

En Algérie, près de 20 millions d'hectares sont menacés par l'érosion éolienne. Depuis longtemps, le phénomène de l'érosion éolienne et ses effets néfastes sur le milieu naturel et l'environnement, constituent un sérieux problème, surtout dans les zones arides du pays. Ces dernières années, suite à l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles (fourragères) et à la mise en culture des terres fragiles (défrichement) ce processus s'est particulièrement accentué. L'ampleur de la dégradation dans la zone aride de la wilaya de Naâma a engendré une situation nouvelle caractérisée par la réduction du couvert végétal, la diminution de la production ainsi que l'extension de l'ensablement rapide sur les zones mises en valeur.

A travers cette étude, nous avons essayé de montrer d'une part, le potentiel de l'utilisation de la télédétection et du système d'information géographique pour la caractérisation de l'état de l'occupation du sol et son évolution spatio-temporelle à partir des traitements effectués sur une série d'images satellitaires de Landsat de différentes dates (1972, 1987 et 2002).

D'autre part, de mettre à la disposition des utilisateurs potentiels et des décideurs les informations sur l'état de l'environnement et les ressources naturelles de ces zones, via la mise en place d'un prototype intégré dans un système d'information géographique. Le prototype ainsi développé est basé sur le principe du double prototypage. Le système sera un outil d'aide à la décision, utile pour la gestion des phénomènes naturels, et plus particulièrement la dégradation des sols et l'ensablement des terres de la wilaya de Naâma.

Mots clés : Dégradation, Érosion éolienne, Prototype, SIG et Télédétection.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le présent travail a pour objet l'étude de la dégradation du sol et de l'ensablement de la wilaya de Naâma via la télédétection et les systèmes d'information géographiques (SIG).

C'est pour des raisons d'ordre pratique -la disponibilité des données par unité administrative -et de finalité- la conception d'un prototype intégré dans un Système d'Information Géographique SIG pour la gestion d'un espace steppique-, que nous définissons notre terrain d'étude par des limites administratives.

Notre terrain d'étude, la wilaya de Naâma s'étend sur une superficie de 29 825 Km² (3 fois la superficie du Liban). Il fait partie des hautes plaines sud Oranaises, une région fortement touchée par le phénomène de l'ensablement. L'ensablement, n'est pas tout à fait spécifique des régions arides et désertiques car il dépend de la présence d'un régime éolien important. La migration du matériel éolien peut se manifester même dans les régions humides.

L'ensemble des conditions climatiques et édaphiques fait de la steppe un milieu fragile.

En Algérie près de 20 millions d'hectares sont menacés par l'érosion éolienne. Depuis longtemps, l'érosion éolienne et ses effets néfastes sur le milieu naturel et l'environnement constituent un sérieux problème notamment dans les régions arides.

Ces dernières années, suite à l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles (fourragères) et à la mise en culture des terres fragiles (défrichement) ce processus s'est particulièrement accentué.

Les interactions entre un milieu déjà fragile, l'irrégularité des précipitations, la recrudescence des périodes de sécheresse depuis 1970, et les pressions socio-économiques accrues accentuent la dégradation du milieu steppique.

L'ampleur de la dégradation a engendré une situation nouvelle caractérisée par : la réduction du couvert végétal, la diminution de la production fourragère et l'extension rapide de l'ensablement sur des zones agricoles et non agricoles. À son tour, la réduction du couvert végétal augmente encore plus la vulnérabilité des sols dénudés par rapport aux vents efficaces, ce qui entraîne à court et moyen termes à des déplacements de sable sur de longues distances et l'édition de nouvelles dunes. Ces accumulations sableuses sont dévastatrices, elles affectent gravement l'équilibre physique et socio-économique de la région, notamment

lorsqu'elles sont situées à proximité des zones agricoles, de mise en valeur, des terres de parcours, des puits pastoraux, ou bien des axes routiers, des agglomérations et des différents équipements et infrastructures socio-économiques.

Le phénomène de l'ensablement s'est amplifié durant ces dernières années. Le bilan établi par le Ministère de l'Agriculture montre que 5 millions d'hectares parmi les 20 millions d'hectares menacés se trouvent dans un état avancé de dégradation. De même, la carte de sensibilité à la désertification établie par le Centre National des Techniques Spatiales sur la totalité de la zone steppique, révèle que 7 millions d'hectares de terres dégradées nécessitent en urgence des aménagements.

Nous assistons réellement à un changement profond de l'écosystème steppique où le matériel éolien (sable) remplace la végétation steppique (alfa).

Conscient de l'ampleur de l'ensablement et de la dégradation, le gouvernement algérien a fixé comme objectif la mise en œuvre du Plan National de Lutte Contre la Désertification (PNLCD) élaboré depuis 1987. Ce plan s'insère dans le cadre des différents programmes de développement des zones steppiques. Il vise l'intensification et l'extension du projet du barrage vert par la limitation des labours mécanisés en les localisant, dans le cadre de la mise en valeur au niveau des zones agricoles (Daya, Oglat, Mekmene), la reconstitution des forêts dégradées par les reboisements en masse, la mise en défens en vu d'une remontée biologique de la végétation steppique et la mise en place d'une infrastructure de désenclavement des zones marginalisées (DGF, 1999). En plus du PNLCD, l'Algérie a ratifié la convention internationale sur la désertification, adoptée en 1994. Cette convention est entrée en vigueur le 26 décembre 1996. À travers celle-ci l'Algérie a voulu combattre la désertification et atténuer les effets des sécheresses et de la dégradation des terres par le biais d'une approche participative et intégrée conformément à l'agenda 21 adopté par la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) à Rio en 1992.

Toutefois, vu l'étendu du territoire et malgré les efforts déployés par l'État, les processus de dégradation sont loin d'être maîtrisés. Au contraire le phénomène prend de l'ampleur d'année en année.

Nous considérons que ces efforts sont voués à l'échec, car ils se limitent à de simples traitements symptomatiques au niveau local : construction d'ouvrages anti-érosifs, installation

de points d'eau, de mise en défens et de quelques opérations d'aménagement du territoire réalisées souvent à une échelle locale (la commune).

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

Cela, avant d'envisager une gestion intégrée et multidisciplinaire particulièrement dans les domaines de l'eau, du sol, de l'agriculture et du pastoralisme, ainsi que de l'urbanisation. Une telle gestion est incontournable pour éviter la désertification de la steppe et pour ne pas compromettre l'avenir des populations qui y vivent.

Il importe de noter que, pour mener de telles études, il est impératif de disposer de données fiables pouvant caractériser le milieu tant du point de vue physique que socio-économique. L'analyse reste complexe, elle tient compte de plusieurs critères : ceux relatifs aux populations, aux milieux physiques, aux différentes lois et règlements.

Du point de vue méthodologie, les méthodes classiques utilisant les données de terrain et les photographies aériennes ne permettent pas d'avoir une vision synoptique du problème et de ses conséquences.

Dans ce type de réflexion, la télédétection spatiale par le nombre élevé de données, par l'homogénéité synoptique conférée aux informations transmises, par la répétitivité de l'acquisition de ces données, trouve une place privilégiée comme outil performant de suivi de l'ensablement et de son orientation. De plus, les systèmes d'information géographique (SIG) représentent l'outil indispensable pour traiter et analyser un volume considérable de données de nature, de source et de forme différentes. Le volume de ces données est devenu si important, qu'il est impératif de recourir aux capacités de stockage, de traitement et de mise à jour offertes par les SIG pour les mettre à la disposition des utilisateurs et des gestionnaires.

Toutefois, malgré leur importance dans l'analyse des données à références spatiales, les SIG restent faillibles en ce qui concerne la manipulation des données en trois dimensions, l'intégration des règles imposées par les décideurs pour le choix d'un scénario ainsi que face à

un problème multi-objectifs et multi-constraints d'ordre conflictuel. Pour cela le recours à la modélisation couplée avec les SIG est incontournable.

C'est pourquoi nous avons préconisé l'intégration des modèles analytiques et de la réalité virtuelle dans notre prototype.

OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'objectif central de cette étude est de montrer d'une part, le potentiel de l'utilisation de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) pour la caractérisation de l'état de l'occupation du sol steppique et son évolution spatio-temporelle à partir d'une série d'images satellitaires de Landsat de différentes dates (1972, 1987 et 2002).

D'autre part, de mettre à la disposition des utilisateurs potentiels, des responsables, élus locaux et des décideurs les informations fiables et mises à jour sur l'état de l'environnement et les ressources naturelles de la wilaya de Naâma, via la mise en place d'un prototype intégré dans un système d'information géographique (MapInfo).

Dans ce prototype les objectifs sont prédéfinis et se présentent à l'utilisateur de manière souvent conviviale à travers une interface graphique de type "menus"; dans laquelle les traitements et la gestion des données sont transparents.

Ce prototype est fondé sur le principe du double prototypage. Le prototype rapide a été conçu selon deux étapes :

- la collecte de l'ensemble des données multisources susceptibles d'être prises en compte dans la conception d'un modèle conceptuel de données;
- la compréhension, la localisation et la définition des impacts majeurs de la dégradation.

Le système constituera un outil d'aide à la décision utile pour la consultation, l'analyse et l'interrogation de l'ensemble des données ayant un rôle direct ou indirect sur la dégradation du sol.

De plus, il permettra la réalisation de la carte de sensibilité à l'érosion éolienne en utilisant deux modèles analytiques. Dans le premier modèle le croisement des couches sera réalisé sans pondération des couches thématiques, tandis que dans le second l'utilisateur a le libre choix d'affecter à chaque couche (critère) une valeur de pondération en pourcentage.

Ainsi, l'utilisateur ne trouvera pas de difficultés à réaliser un diagnostic sur la dégradation des terres et l'ensablement à l'intérieur de la wilaya. Il peut même établir et éditer des cartes

thématisques telles que la carte d'occupation du sol, la carte des accumulations sableuses, la carte de pression du pâturage ainsi que celle de l'organisation spatiale du système éolien en se basant sur la théorie du système global d'action éolienne (SGAE).

La présente étude se présente en quatre parties plus un CD. Chacune des parties est composée de deux chapitres.

La première partie est une présentation de la zone d'étude : localisation et présentation des caractéristiques physiques, des changements socio-économiques, et évaluation de la pression de la population sur le milieu par une analyse multicritères.

La deuxième partie présente l'ampleur de l'ensablement et de la dégradation du milieu steppique, dont le chapitre IV constitue l'étude de la dynamique éolienne.

La troisième partie montre l'intérêt des SIG et de la télédétection dans le suivi diachronique et la représentation cartographique de l'extension du sable.

Dans la quatrième et dernière partie est présentée la modélisation des données et la conception du prototype développé.

Le rapport de thèse est accompagné d'un CD comprenant l'application développée prête à être installée dans un environnement windows.

**PREMIÈRE PARTIE : MILIEU PHYSIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DE LA
STEPPE SUD ORANAISE.**

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

1.1. PRÉSENTATION ET LOCALISATION DE LA STEPPE

La zone concernée par cette étude est la partie sud-ouest des hautes plaines oranaises. Elle se rattache administrativement à la wilaya de Naâma. Cette dernière est issue du dernier découpage administratif de 1984. Elle se compose de 07 daïras regroupant 12 communes. Elle est insérée entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud; elle s'étend sur une superficie de 29825 km² pour une population de 164894 soit une densité en moyenne de 5.6 hab/km² (Cf. Figure 1).

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 Gaaloul (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. On distingue trois zones géographiques homogènes :

- une zone steppique constituée par une vaste plaine (74% du territoire de la wilaya) dont l'altitude augmente sensiblement vers le sud (1000 à 1300 m). Elle est caractérisée par la prédominance de l'activité pastorale. D'ouest en est elle couvre l'espace compris entre les reliefs proches de la frontière Algéro-Marocaine et la limite occidentale de la wilaya d'EL Bayadh.

Dans cet espace la majeure partie des eaux de ruissellement sont drainées vers les deux endoréisme que constitue la zone, il s'agit du Chott Rharbi (1317 km²) à l'ouest et du Chott Chergui à l'est (12216 km²). Cependant, d'après CHOISEL M.D., *et al* (1974) in : (HADEID M., (1996) « *l'écoulement est endoréique et en pente extrêmement faible, les oueds ne coulent que pendant les très courtes périodes qui suivent les pluies. De cet écoulement endoréique et sans réseau, sur un sol à végétation espacée, où l'eau se perd d'avantage par évaporation que par infiltration, résulte une salinité des sols, localement dans les dépressions fermées,*

comme les sebkhas (résidus des grandes nappes lacustres), gueltas et daïas (petites cuvettes de dissolution)».

- une zone montagneuse localisée dans la région sud-ouest atteignant les 2000 mètres d'altitude et occupant 12 % du territoire de la wilaya. Il s'agit d'une partie des monts des Ksours¹ et des piémonts de l'Atlas Saharien. Elle est caractérisée par une agriculture de type oasisen.
- une zone présaharienne qui s'étend sur une superficie de l'ordre de 14% de la superficie totale de la wilaya.

¹ Ce sont des massifs montagneux faisant partie intégrante de la chaîne Atlasique saharienne que l'on dénomme les monts des ksours.

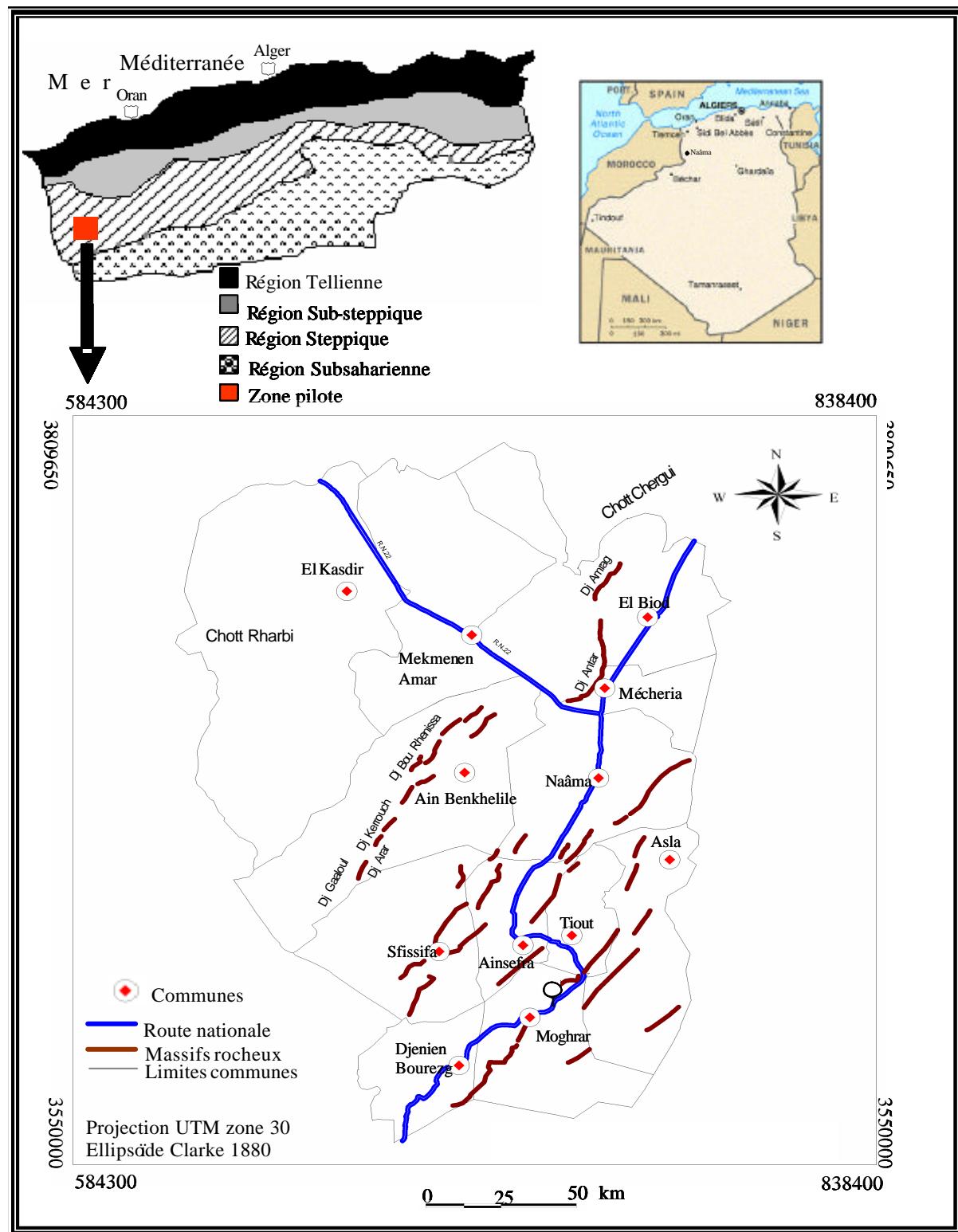


Figure 1: Localisation de la zone d'étude.

1.2. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU PHYSIQUE

1.2. 1. Cadres climatiques : analyse climatique et sécheresse

1.2. 1. 1. Régimes de pluie dans la steppe sud-ouest Oranaise

1.2.1.1.1. Cartes des précipitations

La carte dressée par COUDERC R., (1975) (Cf. Figure 2) illustre que notre zone est bien encadrée entre l'isohyète 200 et 400 mm. Les deux isohyètes suivent les directions des montagnes. L'isohyète 400 se trouve au nord de la région, son tracé suit bien les lignes des monts de Tlemcen, des monts de Daya et les monts de Saïda. Quant à l'isohyète 200 il est au sud et sud-ouest en suivant les monts de Ksour ainsi que les monts (Djebel hafid, Djebel Guetoub El Hamara, Djebel Bou Amoud, Djebel Bet Aroug et Djebel Kerrouch) du sud-ouest.

La figure 2 illustre nettement l'influence du relief sur la répartition des pluies. Les deux isohyètes sont relativement rapprochées à l'ouest et à l'est, où l'on passe rapidement du Tell à la zone aride. Ces deux isohyètes divergent en l'absence des montagnes en créant une vaste plaine au centre de la région. Dans cette zone il faut parcourir plus de 200 km pour passer du Tell aux zones arides. À l'intérieur de cette immense plaine, nous remarquons des isohyètes intermédiaires qui illustrent l'influence de l'exposition et des grandes surfaces salées : Chott Chergui (12216 km^2) au nord-est et Chott Rharbi (1317 km^2) à l'ouest. En se dirigeant vers le sud, nous montons en altitude et les pluies se raréfient. Vu l'épaisseur et la hauteur de la chaîne Tellienne qui sépare la steppe de notre région, l'influence de la mer méditerranéenne est pratiquement absente.

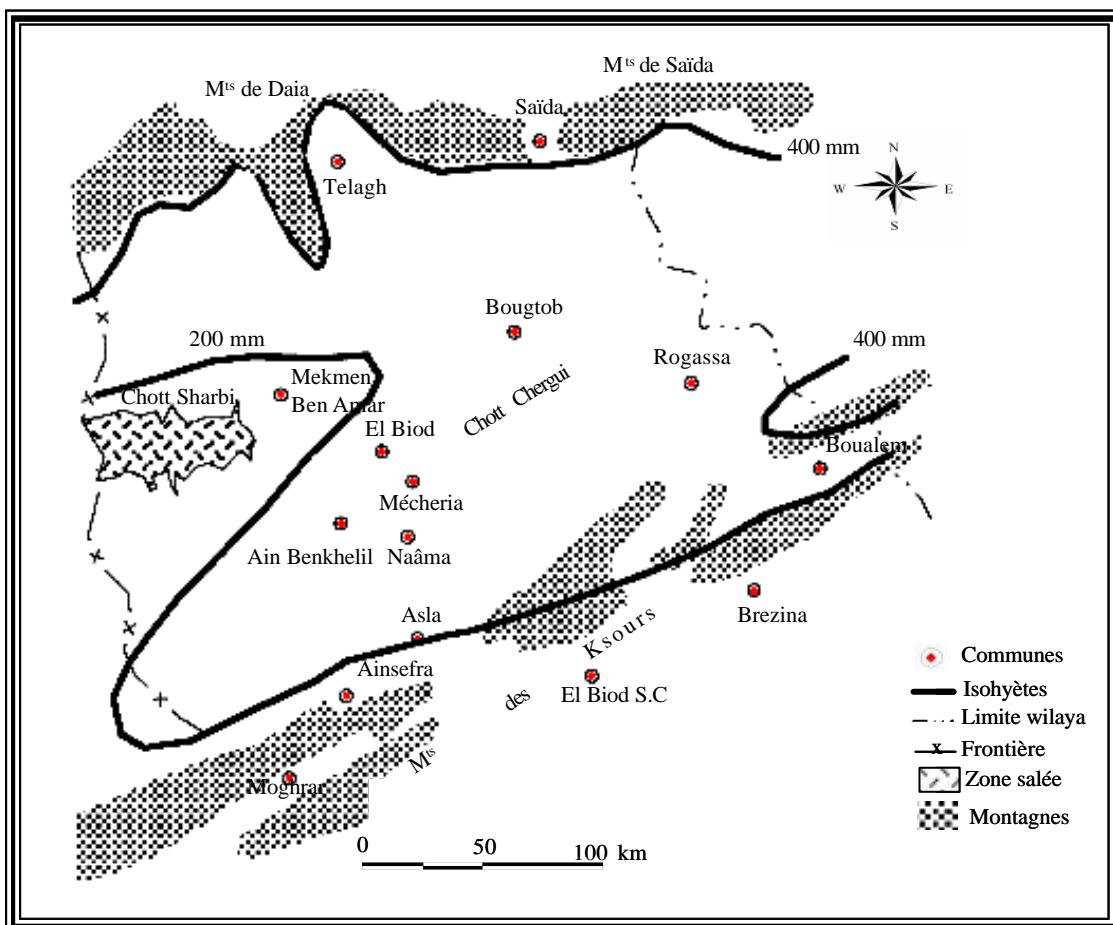
1.2.1.1.2. Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles fluctuent selon une fourchette de 150 à 300 mm par an. Le nord des hautes plaines sud Oranaises est plus arrosé par rapport au sud. De même la pluviosité augmente d'ouest en est (gradient longitudinal : 214 mm par ans à Naâma et plus de 300 mm par ans à El bayadh). Selon NEDJRAOUI N., (ND) ce gradient «est dû à deux phénomènes : à l'ouest, la sierra nevada Espagnole et l'Atlas Marocain agissent comme écran et éliminent ainsi l'influence atlantique, à l'est, les fortes précipitations sont attribuées aux perturbations pluvieuses du nord de la Tunisie».

On utilise généralement la pluviosité moyenne annuelle pour caractériser la quantité de pluie en un lieu donné. La moyenne annuelle de la pluviométrie pour la période de 1970 à 2001 est

de 180.7 mm à Mécheria avec 57 jours de pluie. Elle est de 214 mm avec 58 jours de pluie, et 155.5 mm avec 38 jours de pluie respectivement à Naâma (1990 à 2001) et à Ainsefra (1978 à 2001). Les mois de juillet sont les plus secs (4 mm pour Mécheria et 3 mm pour Ainsefra); mars est le mois le plus arrosé (27.7 mm pour Mécheria et 24,6 mm pour Ainsefra).

Dans cette zone les pluies sont caractérisées par leur irrégularités spatio-temporelle. Celles-ci sont marquées par l'influence présaharienne et les pluies dépassent rarement les 300 mm par an. A titre d'exemple, en 2001, le mois d'août a enregistré 2 mm à Mécheria, et 60 mm sont enregistrés dans la station de Naâma qui se trouve à une distance de 33 kilomètres.



Source : (COUDERC R., 1975).

Figure 2 : Pluviométrie moyenne annuelle dans les hautes plaines sud Oranaises.

1.2.1.1.3. Les régimes pluviométriques

Ce n'est pas le total des pluies qui intéresse l'agropasteur, l'agriculteur et l'éleveur, mais surtout, leurs répartitions dans l'année. Selon (DESPOIS J., 1955) l'étude du régime des pluies est plus instructif que de comparer des moyennes ou des totaux annuels. A cet effet,

nous avons calculé pour la station de Naâma, de Mécheria et de Ainsefra le pourcentage des pluies pour les quatre saisons. Il est préférable que les saisons soient placées dans l'ordre qui intéresse les agropasteurs de la région steppique : Automne commence au premier septembre. Le tableau 1 présente les résultats des pourcentages calculés des pluies durant les quatre saisons dans trois stations : Ainsefra, Naâma et Mécheria de la wilaya de Naâma.

Stations Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne-Hiver
Mécheria : Période 1970-2001	26.70	24.49	38.25	11.62	51.56
Naâma : Période 1990-2001	30.00	19.50	32.00	18.50	49.50
Ainsefra : Période 1978-2001	29.81	22.28	36.96	10.95	52.09

Tableau 1: Pourcentage de pluie durant les quatre saisons de l'année pour les trois stations de la région d'étude Mécheria, Naâma et Ainsefra.

Ce tableau a mis en évidence que le pourcentage moyen des pluies d'été pour la station de Mécheria, Naâma et Ainsefra est significatif. Il est de l'ordre de 11.6% (27 mm) à Mécheria, 18.5% à Naâma (39.8 mm) et de 10.95% (17 mm) à Ainsefra. Ces pluies d'été tombent assez fréquemment sous forme d'averses diluviales 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 S., (1984).

Ainsi, en 1955 des pluies torrentielles accompagnées de grêles se sont abattues sur la ville de Ainsefra provoquant de nombreuses coupures dans la voie ferrée et plus de dégâts à Moghrar où les eaux ont envahi et emporté une partie du village dont l'école. De même, la ville de Mécheria a souvent souffert du phénomène d'inondation causé par les crues diluviales venant surtout du front nord-est du djebel Antar. Ces pluies sont généralement très chargées en sédiments des monts de ksour. Pour enrayer ce problème, des travaux d'aménagements et de reboisements ont été faits par les autorités publiques de la ville le long de la vallée du front

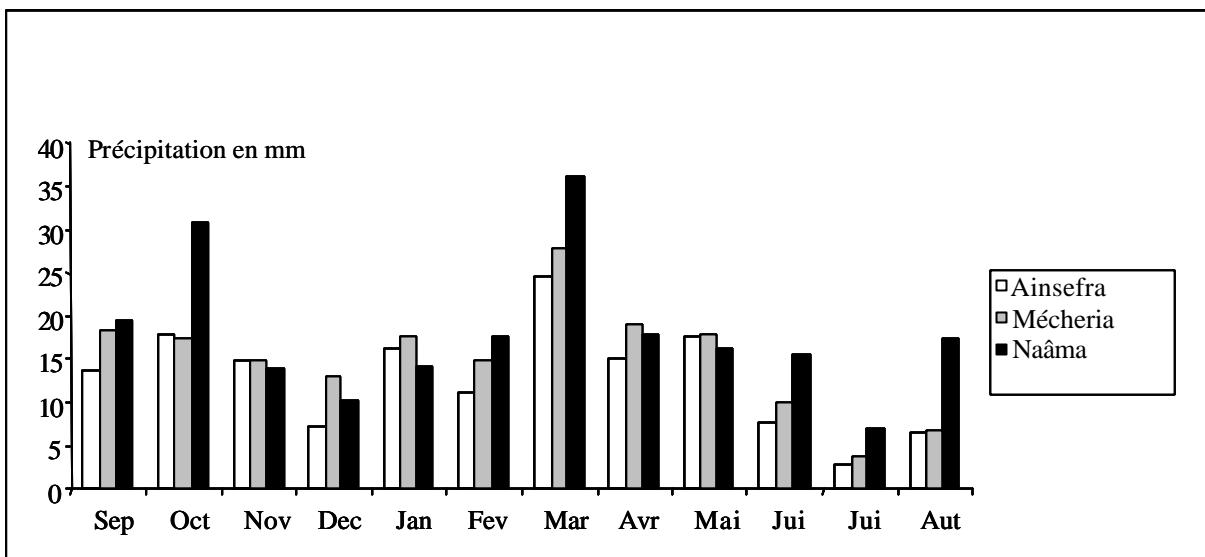
sud-est au nord-est du djebel Antar. De plus, dans le Plan de Développement et D'Aménagement Urbain (PDAU) est proposée la réalisation des canaux de drainage des eaux pluviales à l'ouest et au nord ouest. Toutefois, le côté amont du problème d'inondation reste sans aucun aménagement, alors que la solution passe d'abord par son aménagement et par sa prise en charge dans sa globalité (ANAT., 1998).

En 1991 Ainsefra a reçu 38 mm en juin, en 1996 32 mm toujours en juin; par contre, pendant toute la période d'automne elle a reçu seulement 7 mm. Les 7 mm sont insuffisants pour le démarrage de la période de semence de la culture sèche céréalière et pour la régénération des espèces herbacées. Le même phénomène s'est manifesté durant le passé. À la station de Ainsefra, le pluviomètre a enregistré 63 mm en juin 1899, 42 mm en juin 1924 et 41 mm en juillet 1928. Durant la période humide du XX siècle (1950-1951), la station a enregistré plus de 30 mm pour chaque année au mois d'août.

Cependant, les pluies les plus utiles sont celles de la période printanière pour mûrir les céréales, entretenir les pâturages et augmenter les réserves des sols en eau pour affronter les moments et les jours les plus torrides de l'été. Le pourcentage moyen des pluies du printemps est assez faible, il est de 36.96% (57 mm) pour Ainsefra, 32% pour Naâma (70 mm) et de 38.25% (69 mm) pour Mécheria. Donc, plus en se dirige vers le sud plus les pluies deviennent rares et précieuses.

1.2.1.1.4. Distribution mensuelle des pluies

La variation mensuelle des précipitations est très marquée pour les trois stations. Pourtant Mécheria et Naâma se trouvent au nord des monts de Ksour par rapport à celle de Ainsefra où l'influence des montagnes est très présente. Les grandes dépressions salées Chott Chergui au nord-est, et Chott Rharbi à l'ouest de Mécheria et de Naâma ont des influences non négligeables sur cette variabilité. Le régime mensuel à Mécheria présente un maximum au mois de mars, au mois d'avril et au mois de septembre. A Ainsefra c'est toujours le mois de mars suivi du mois d'octobre et du mois de mai (Cf. Figure 3). Les lames d'eau tombées à Mécheria présentent en moyenne des amplitudes qui varient entre 4 (mois de juin) et 28 mm (mois de mars). Cependant, l'amplitude à Ainsefra, varie entre 2.8 (mois de juillet) et 24 mm (mois de mars). (BENABADJI N. et BOUAZZA M., 2000(a)) expliquèrent cette variation par le passage de dépressions des fronts polaires au début du printemps et par le front des alizés et les pluies orageuses du front, qui tombent sur les chaînons montagneux.



Source : données de la FAO pour la station de Ainsefra et données de l'ONS pour la station de Mécheria.
Figure 3 : Variations mensuelles des précipitations aux stations de Mécheria (1970-2001) et Ainsefra durant la période (1978-2001).

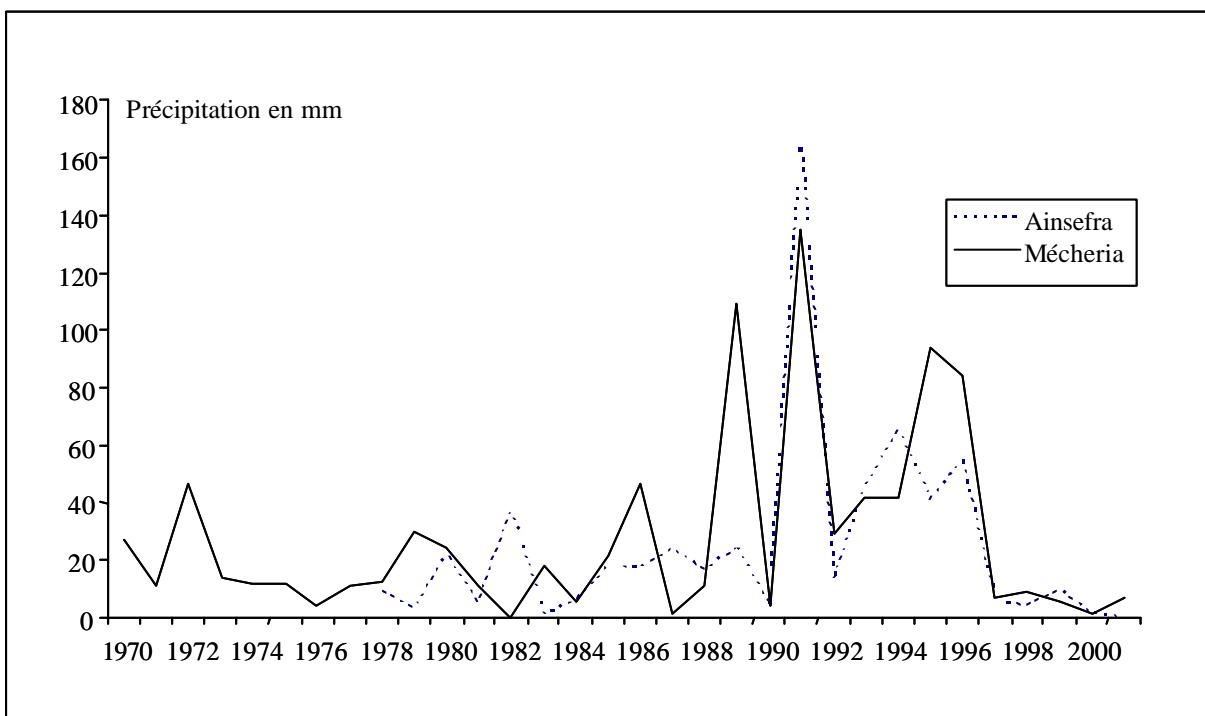
Il a paru judicieux d'analyser les données du mois de mars pour une période de 23 et 32 ans respectivement pour Mécheria et Ainsefra. Faute de disponibilité de données de longue période, la station de Naâma n'est pas prise en compte.

Il est important de savoir que les données climatiques sur la steppe sont rares et présentent soit des anomalies, soit des lacunes. En effet, pour la station de Mécheria nous disposons uniquement d'une série de données de 32 ans couvrant la période de 1970 à 2001. Par contre, les données sur Ainsefra existent mais quelques périodes sont incomplètes notamment celles de 1970 à 1977. Nous avons choisi le mois de mars pour l'analyse de la variabilité mensuelle climatique dans la zone d'étude. Le choix du mois de mars a été justifié du fait que ce dernier est le mois le plus propice pour prononcer s'il s'agit d'une année sèche ou humide. La pluie du mois de mars est considérée comme de l'or pur chez les agropasteurs. Ces pluies sont souvent fines et n'ajoutent pas beaucoup au total (DESPOIS J., 1955). A partir de l'année 1978 les pluies de mars étaient faibles jusqu'en 1989 pour les deux stations. Ceci est expliqué par le fait que cette période fait partie des périodes sèches d'alternances qui ont débuté à partir de 1970. L'étude réalisé par BISSON J. et CALLOT Y. (1990) in : (TAÏBI N., 1997), afin de déterminer le bilan global pour l'activité agricole pour la station d'El Biodh Sidi cheikh durant la période 1970-1985, a montré l'existence des périodes de sécheresses assez marquées et qui sont plus dures que les précédentes de 1944-1948 et 1959-1961. Cette dernière sécheresse s'est manifestée par des précipitations soit trop faibles, soit trop irrégulières dans l'année. Si on regarde bien la figure 4 on s'aperçoit qu'il existe des alternances de périodes

sèches suivie de période humide. Durant notre analyse des données climatiques nous avons relevé deux périodes (1978-1988 et 1997-2001) sèches dont la première a sévi plus de 10 ans.

Durant la période 1978 à 1988 on enregistrait 3mm pour l'année 1979 et 1 mm pour l'année 1983 pour la station de Ainsefra au cours du mois de mars. Dans la station de Mécheria deux années 1982 et 1987 sont marquées par l'absence totale de pluie; les autres années les valeurs de la pluviométrie fluctuent entre 10 et 30 mm.

Effectivement cette dernière sécheresse a des effets néfastes sur le milieu steppique suite à sa longue durée. L'auteur ROGNON P., (1996) considère qu'une année sèche a un effet différent selon qu'elle succède à une autre année sèche ou à une année humide. Dans la station de Mécheria l'année 1989 a marqué la fin de la première période sèche et le début des années normales. Cependant, 1996 signale la fin des années normales, exception faite pour l'année 1992 (année sèche), et le début des années sèches.



Source : données de la FAO pour la station de Ainsefra et données de l'ONS pour la station de Mécheria.
Figure 4 : Variations des précipitations en mars aux stations de Mécheria et Ainsefra durant la période de 1978 et 2001.

1.2.1.1.5. Distribution annuelle des pluies

Après avoir examiné les courbes des précipitations annuelles pour la station de Mécheria il ressort deux phases (Cf. Figure 5). La première phase concerne la période de 1970 à 1985 pendant laquelle nous assistons à une baisse de la pluviométrie annuelle par rapport à la

moyenne. Les Seize années successives ont marqué la plus grande période de sécheresse qui a frappé la région des hautes plaines. Il est fort possible que cette période de sécheresse ait une relation avec les sécheresses qui ont frappé le Sahel à partir des années 1968.

La deuxième phase de 1986 à 2000 est marquée par une remontée vers la normale des pluies après une longue sécheresse. Cependant, deux années (1987 avec 157 mm et 1998 avec 159 mm) ont enregistré des valeurs en dessous de la moyenne annuelle. L'année 1991 est la plus pluvieuse de la série pour les deux stations. Cette année est considérée comme une bonne année du fait que plus de 50% du total est tombé dans la saison printanière.

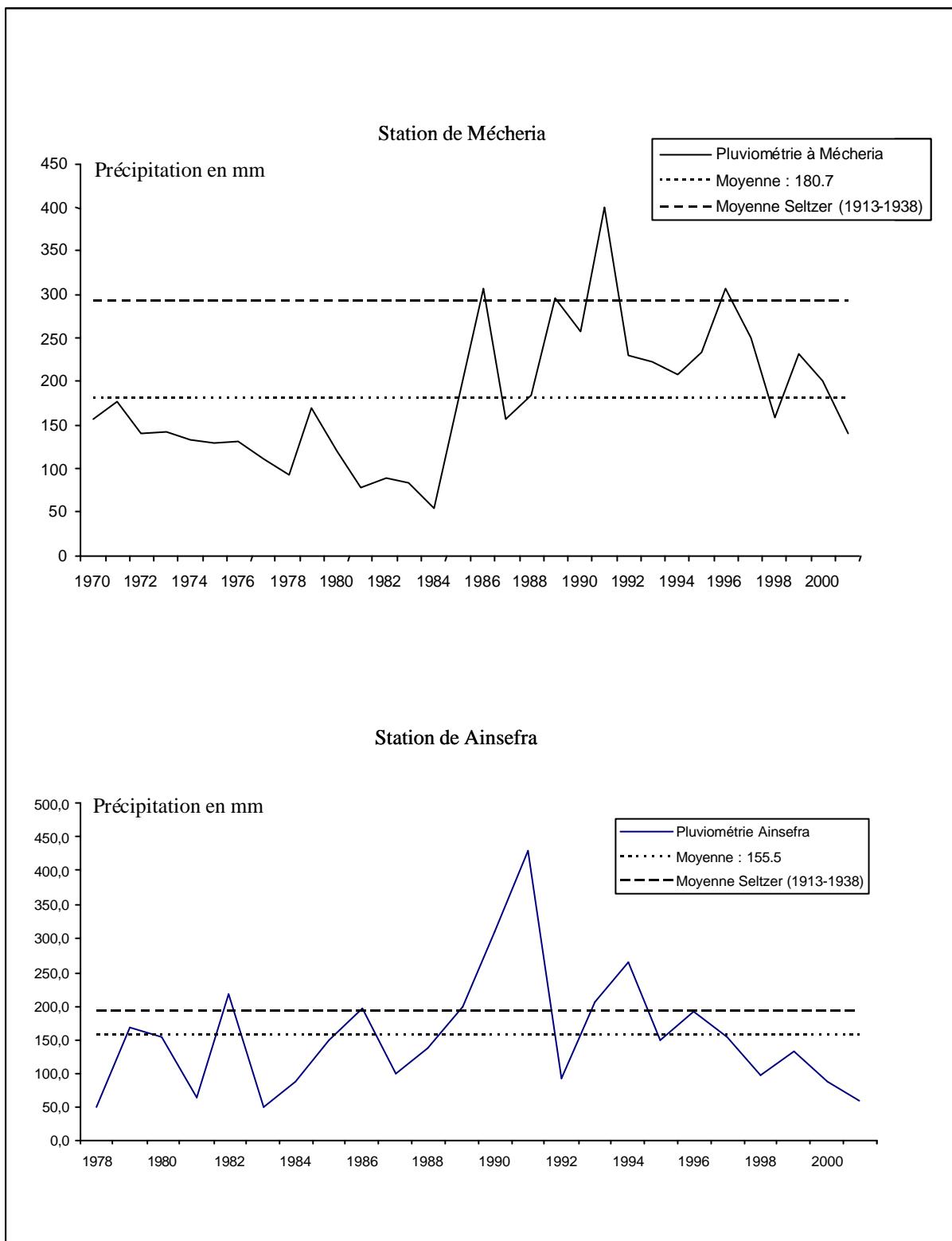
Dans la station de Ainsefra nous avons noté trois phases. La première de 1978 à 1982 est caractérisée par des précipitations variables oscillant entre 49 et 217 mm. La seconde phase de 1983 à 1995 enregistre une tendance plus au moins positive des précipitations moyennes annuelles, quant à la dernière phase de 1996 à 2001 la pluviométrie est à la baisse avec une tendance négative.

L'année 1990 est considérée comme mauvaise année, avec une pluviométrie annuelle de 307 mm à Ainsefra (presque le double du total moyen annuel : 155 mm); 233 mm sont tombés en deux mois (avril et mai), par contre les trois mois d'automne n'ont reçu que 16 mm. Le même phénomène est constaté pour la station de Mécheria durant la même année.

D'après les données de SELTZER P., (1946) les variations des pluies annuelles dans les hautes plaines et l'Atlas Saharien sont moins sensibles par rapport aux régions du nord du pays. Au cours de cette période un écart maximum de 29 mm est enregistré à Mécheria et un écart maximum de 73 mm dans la station Saida appartenant à la région du Tell. Cependant, l'analyse des données pendant la période récente (1970-2001) a révélé que la variabilité des précipitations annuelles est plus accentuée. A cet effet, l'écart maximum est passé de 29 mm à 126.7 mm pour la station de Mécheria et de 12 à 106.5 pour Ainsefra (Cf. Tableau 2).

Période SELTZER (1913-1938)				Période : 1970-2001 pour Mécheria Période : 1978-2001 pour Ainsefra		
Stations	P minimales	P moyennes	Ecart maximum en (mm)	P minimales	P moyennes	Ecart maximum en (mm)
Ainsefra	180	192	12	49	155.5	106.5
Mécheria	264	293	29	54	180.7	126.7

Tableau 2 : Ecarts maximums moyens des précipitations annuelles dans la station de Mécheria et Ainsefra durant la période (1913-1938) et la période (1970-2001).



Source : données de la FAO pour la station de Ainsefra et données de l'ONS pour la station de Mécheria.
 Figure 5 : Précipitations moyennes annuelles aux stations de Mécheria (1970-2001) et Ainsefra (1978-2001).

Il est important de noter que l'écart entre la moyenne des précipitations annuelles entre la période de (1913-1938) SELTZER P., (1946) et la période de 1970 à 2001 dans la station de Mécheria est très grand par rapport à la station de Ainsefra. L'écart est de 112 mm à Mécheria et de 36.5 mm à Ainsefra.

Donc ces dernières années la pluviosité a diminué par rapport aux anciennes périodes. A Mécheria 83% des précipitations annuelles au cours de la dernière période (1978-2001) ont enregistré des valeurs inférieures à la moyenne des précipitations de SELTZER P (1946) (293 mm). Par contre seulement 46% des précipitations moyennes annuelles sont en dessous de la moyenne calculée durant la dernière période (Cf. Tableau 3).

Stations	P moyennes (1913-1938) (mm)	P moyennes (mm) (1978-2001) Ainsefra (1970-2001) Mécheria	% des années recevant		% des années recevant Période (1978-2001) pour Ainsefra Période (1970-2001) pour Mécheria	
			Plus que P moy (1913-1938)	Moins que P moy (1913-1938)	Plus que P moy	Moins que P moy
Ainsefra	192	155.5	33	67	37.5	62.5
Mécheria	293	180.7	17	83	54	46

Tableau 3 : Variations par rapport aux précipitations moyennes durant la période (1913-1938) et la période (1970-2001) pour Mécheria et (1978-2001) pour Ainsefra.

1.2.1.1.6. Irrégularité des pluies

Pour l'analyse du régime pluviométrique entre les deux stations, nous avons eu recours à des calculs sur des données moyennes. Mais ces moyennes ne présentent pas réellement la réalité du terrain. Elles sont utilisées uniquement pour dégager les différences régionales et faire une comparaison de la variabilité interannuelle entre les stations. La période de 1978 à 2001 a été choisie pour comparaison entre les deux stations. La moyenne de Mécheria pour la période (1978-2001) est de l'ordre de 194.4 mm. Elle est passée de 293 à 194.4 mm. Donc elle enregistre un déficit de 33.6% par rapport à celle calculée par SELTZER P., (1946) pour la période de 1913 à 1938. De même, la moyenne de la station de Ainsefra a enregistré une réduction de l'ordre de 19% seulement (Cf. Tableau 4).

Stations	P moyenne annuelle en (mm) (1913-1938)	P moyenne annuelle en (mm) (1978-2001)	Ecart maximum en (mm)	Ecart moyen en %
Ainsefra	192	155.5	143	19
Mécheria	293	194.4	238.7	33.6

Tableau 4 : Écarts maximums moyens des précipitations moyennes annuelles dans la station de Mécheria et de Ainsefra par rapport aux données de SELTZER P., (1946).

L'irrégularité des pluies dans ces deux stations est grande. La moyenne annuelle fluctue entre 54 et 401mm à Mécheria et entre 49 et 430 mm à Ainsefra. Cependant, Le coefficient de variation (CV) est de l'ordre de 0.44 pour la station du nord et 0.57 pour la station du sud. Il est à noter que dans la littérature, il est mentionné par plusieurs auteurs que plus l'étage bioclimatique est aride plus le coefficient de variation est grand.

Nous savons dès le départ que le régime de pluie est irrégulier dans ces régions steppiques. Plusieurs auteurs (BENABADJI *et al.*, 2000 a; DESPOIS J., 1955 et SELTZER P., 1946) qui ont travaillé sur ces zones le confirment dans leurs études. Mais il est important de savoir que pour les agropasteurs, il est fort intéressant de connaître les variations saisonnières des pluies. Pour cela, BOEUF M., (1932) cité par (DESPOIS J., 1955) a utilisé une méthode assez intéressante pour établir, pour la Tunisie entière et sur une période de trente années agricoles (1899 à 1929), le pourcentage des périodes normales, humides, très humides, sèches et très sèches². Il a calculé les fréquences d'apparitions de la pluviosité supérieures ou inférieures à la moyenne.

Le seuil de démarcation entre une saison sèche et une saison humide a été mis en évidence par BAGNOULS et GAUSSEN (1953) in : (LE HOUEROU H.N., 1995). Les mois dont la pluviosité moyenne exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius sont considérés secs. Toutefois, les mois pour lesquels la pluviosité moyenne est égale ou supérieure au double de la température sont considérés comme humides. Cependant, LE HOUEROU H.N., (1995) a fait des remarques et des reproches à cette méthode ($P=2T$) concernant son caractère empirique, arbitraire et contingent des unités de mesure utilisées. En effet, le critère de démarcation est corrélé à un paramètre expérimental plus rationnel. De nombreux chercheurs et scientifiques ont montré que l'évaporation d'un sol non saturé est approximativement égale à 0.35 ETP. De même, DOORENBOS et PRUITT (1979) in : (LE HOUEROU H.N., 1995) ont montré que le coefficient cultural (kc) varie selon les sols et les cultures entre 0.3 et 0.4 ETP.

² Normale (N) une période dont la pluie est de -25% à +25% par rapport à la moyenne.
Humide (H) une période dont la pluie est de +25% à + 50 % par rapport à la moyenne.
Très humide (TH) une période dont la pluie est > à + 50 % par rapport à la moyenne.
Sèche (S) une période dont la pluie est de -50% à - 25% par rapport à la moyenne.
Très sèche (TS) une période dont la pluie est < à - 50% par rapport à la moyenne.

Ainsi, en ce qui concerne notre zone d'étude nous avons fait des calculs pour les trois stations en considérant cette fois une année sèche si la pluviosité (P) est inférieure à 0.35 fois l'évapotranspiration (ETP) et une année humide si P est supérieure à 0.35 fois l'évapotranspiration (ETP). L'interprétation du tableau 5 nous a permis de dire que les saisons d'automne et de printemps présentent le pourcentage des mois déficitaires le plus élevé. Plus de 80% des mois durant la saison d'automne sont considérés comme secs pour les deux stations. Cela a une influence considérablement le démarrage de la croissance de la végétation steppique. Le déficit de la saison printanière est tout à fait remarquable dans la station de Ainsefra. Il est dû à la localisation de la station plus au sud.

	Automne		Hiver		printemps	
Stations	H	S	H	S	H	S
Ainsefra	16.66	83.33	25.00	75.00	19.44	80.56
Mécheria	13.9	86.10	50.00	50.00	33.33	66.67

Tableau 5 : Pourcentages des périodes humides (H) et sèches (S) pour les deux stations de la zone d'étude durant la période (1978-2001).

1.2.1.2. *Températures*

Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat. Dans les hautes plaines sud oranaises, les températures varient normalement dans l'année, élevées en saison estivale et basses en saison hivernale. Le mois de janvier reste le mois le plus froid de l'année et le mois de juillet est le mois le plus chaud pour les stations de la région. La température moyenne maximale est de 35.1 °C et de 37.6 °C à Mécheria et à Ainsefra respectivement.

Les températures deviennent plus contrastées dans la direction nord-sud (Mécheria 15.9 °C, El Biodh Sidi Cheikh³ 17.8°C) et la direction ouest-est (Mécheria 15.9°C et El bayadh⁴ 13.7

³ Station localisée au sud de Ainsefra. L'étage bioclimatique est Saharien à hiver frais (d'après Stewart modifiée) in : (TAÏBI N, 1997).

⁴ Station localisée dans la région d'El bayadh à l'est de Mécheria. À l'époque coloniale cette localité est appelée Geryville. L'étage bioclimatique Semi-aride à hiver froid (d'après Stewart modifiée) in : (TAÏBI N, 1997).

°C.). Les minima d'El Bayadh sont inférieurs à ceux de Mécheria, par contre, les maxima sont supérieurs à ceux de Mécheria.

La gelée intervient dans les mois de l'hiver. À Ainsefra les maximums d'apparition du phénomène sont relevés en décembre et en janvier avec presque de 12 jours de gelées. A Mécheria le maximum tourne autour de 10 jours de gelées. Il est rare que les températures descendent au dessous de -4 °C. Le 02 février 1952 il y a eu une gelée blanche qui a fait des dégâts sur les récoltes à Ainsefra. La même année, le 25 janvier 1952 une tempête a causé la mort d'une femme de plus de 65 ans.

L'amplitude thermique annuelle (M- m) est 33.6°C à Mécheria et de 35.5°C pour Ainsefra.

1.2.1.3. Évapotranspiration (ETP)

Les données mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de la station de Ainsefra sont fournies par la FAO. Les ETP de la station sont estimées à l'aide de la méthode de Pennman-Monteith. Cependant, les données de l'ETP pour Mécheria sont estimées à partir de la méthode de Thornthwaite. La valeur moyenne annuelle est de l'ordre de 1361 mm à Ainsefra, et de 909 mm à Mécheria. Nous avons constaté que l'ETP est nettement supérieure à la pluviométrie ; elle est 15 fois et 7 fois supérieure à la valeur de la pluviométrie à Ainsefra et à Mécheria respectivement. A cet effet, la dominance de l'ETP engendre et/ou favorise le processus de la dégradation du sol & plus particulièrement l'ensablement des terres de cultures et les parcours steppiques.

1.2.1.4. Indice pluviothermique d'Emberger (1955)

La connaissance du climat d'une région nécessite en général la mesure avec une précision tolérable de plusieurs paramètres climatiques (pluviométrie, température, ETP, humidité, vent, etc.). Toutefois, dans la région steppique, nous avons remarqué que les données soit sont manquantes soit présentent des lacunes. A cela s'ajoute le problème du nombre restreint des stations météorologiques totales. Sur toute la wilaya de Naâma on compte seulement trois stations (Ainsefra, Naâma et Mécheria). La station de Naâma est fonctionnelle depuis seulement les années de 1980.

Pour la détermination du type de climat qui règne ces dernières années nous avons eu recours à l'utilisation du quotient pluviothermique d'EMBERGER L., (1955). Ce quotient est

généralement le plus utilisé dans les régions de l'Afrique du Nord (BENABADJI N. et BOUAZZA M., 2000 (b)). Il est défini comme suit :

$$Q_2 = \frac{2000 \cdot P}{M^2 - m^2} \quad (1)$$

Avec :

P : pluviosité moyenne annuelle en mm

M : moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en degré absolu

m : moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en degré absolu

LE HOUEROU H.N., (1995) souligne que ce quotient donne des valeurs sous estimées dans les régions où l'amplitude thermique ($M-m$) est faible. L'application du quotient pluviothermique sur les données climatiques récentes a révélé que la station de Mécheria est classée dans l'étage aride inférieur à hiver frais et la station de Ainsefra dans l'étage aride inférieur à hiver frais.

Les données climatiques de la période ancienne (1913-1938) classent Mécheria dans l'étage aride supérieur à hiver frais et Ainsefra dans l'étage aride inférieur à hiver froid (Cf. Figure 6). Donc il y a une accentuation du climat et un déplacement du sud vers le nord des limites d'aridité. Cette accentuation du climat est due à la régression du tapis végétal suite à une longue sécheresse qui a frappé la région et au phénomène anthropique (défrichement, surpâturage, arrachage des espèces ligneuses, etc.).

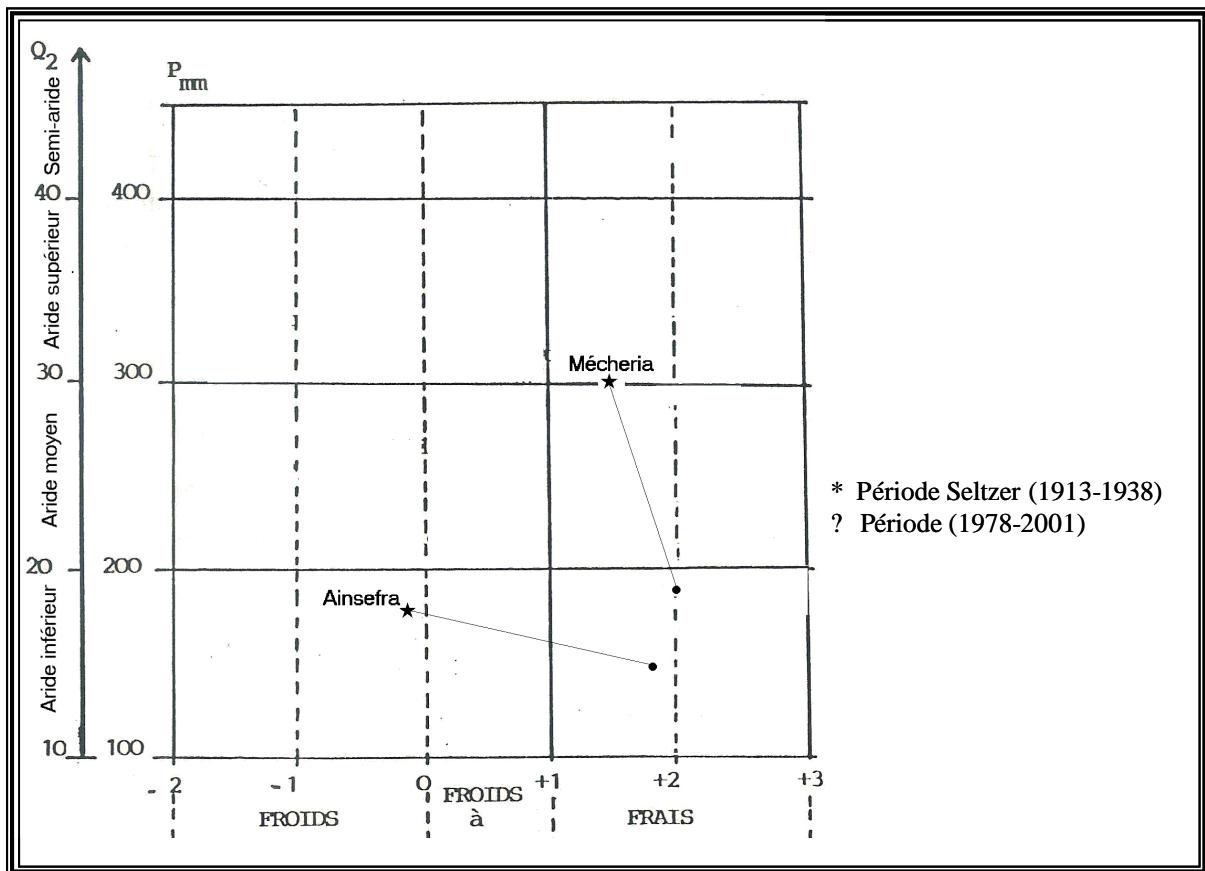


Figure 6 : Climagramme pluviothermique d'EMBERGER

1.2.1.5. Phénomène de la sécheresse dans la steppe sud-ouest Oranaise

La définition de la sécheresse a un lien direct avec les différentes disciplines scientifiques. A cet effet, on parle de sécheresse météorologique lorsque les pluies sont inférieures à la moyenne durant une année ou plusieurs années successives (MAINGUET M., 1995). Mais cette définition ne tient pas compte de la répartition saisonnière de la pluie pendant l'année. Cette répartition est souvent importante dans l'année et plus particulièrement dans les zones arides méditerranéennes. Dans ces zones arides le maximum peut atteindre 5 à 12 fois le minimum. A Ainsefra le maximum annuel de pluie est 7 fois supérieur au minimum. Il est de l'ordre de 3 à Mécheria.

Selon (DESPOIS J., 1955) la sécheresse est un grand fléau d'un pays, le plus fréquent et le plus redouté. Nous ne pouvons pas prononcer ou dire qu'il y a une sécheresse suite seulement à l'insuffisance des pluies totales, mais surtout il faut prendre en compte leur répartition dans l'année, sans oublier les vents chauds et secs (sirocos). Dans cette zone la pluie durant la période Automne et Hiver est primordiale. Cependant, une année est déclarée mauvaise suite

à l'absence totale ou partielle de la pluie durant la période de semence. Toutefois, malgré une abondance de pluie durant l'automne et l'hiver, on risque d'avoir des surprises et des situations inquiétantes, s'il ne pleut pas assez pendant la période de Printemps. En effet, c'est durant cette période que se décide l'avenir des agro-pasteurs. Ces derniers pouvaient ensemencer de vastes surfaces si la période d'Automne et Hiver est déclarée comme période normale. Mais si la période du Printemps est déclarée comme déficitaire la situation sera sans doute désastreuse, car les agro-pasteurs ont beaucoup investi et risqueront même de perdre leurs productions ainsi que leurs bétails. La situation est alarmante malgré l'aide de l'État. Il est important de noter que cette situation tourne en drame quand deux ou trois années sèches se suivent. Lors de la sécheresse de 1970 à 1971 plus de 360 000 quintaux d'orge et de fourrages ont été vendus, à perte aux agropasteurs et aux éleveurs, par l'état afin d'éviter le drame et la décimation totale du cheptel (COUDERC R., 1975).

Durant ces périodes de crises il n'y a pas que les gens de la steppe qui souffrent seuls, mais de même les populations du nord du pays. Les gens du nord n'auront pas les moyens de procurer la viande après les flambées des prix. En effet, la situation devient de jour en jour plus grave et la totalité de la population steppique est menacée soit par la famine soit par l'épidémie. Cette dernière trouve toutes les conditions pour se propager au sein de la population la plus fragile.

Durant les périodes de sécheresse les gens de la steppe sont obligés de fuir avec leurs troupeaux ces zones désertiques en rejoignant les zones du nord du pays. Dans ces zones soit ils trouvent du travail soit ils essayent de nourrir leurs bétails. Cependant, la misère et le nomadisme engendrent un déséquilibre socio-économique entre les gens de la steppe et ceux du Tell. Il est à noter que plus de 90 % de la population algérienne réside dans le nord du pays. A cela s'ajoute le nombre de population qui a fui la steppe.

1.2.1.5.1. Analyse statistique de la sécheresse

Nous avons vu précédemment que la pluviométrie mensuelle fluctue d'une année à l'autre. Cependant, cette fois ci nous nous intéressons aux régimes mensuels et annuels de la sécheresse et à son évolution. D'après MAINGUET M., (1995) «*la sécheresse ne peut être définie seulement par des critères quantitatifs de total pluviométrique annuel, ni de volume écoulé annuel, d'autres paramètres sont à prendre en compte :*

- *la durée de la saison sèche,*
- *la date de commencement de la saison humide,*
- *la sévérité du déficit».*

1.2.1.5.2. Variations mensuelles et annuelles de la sécheresse (période 1978-2001)

Nous avons utilisé toujours le même principe, le mois est considéré comme sec si la pluviométrie (P) est inférieure à 35% de l'évapotranspiration (ETP), pour déterminer les fréquences mensuelles et annuelles du nombre de mois secs pendant la période 1978-2001 dans les deux stations. Le tableau 6 illustre d'une manière assez nette que les fréquences mensuelles de la sécheresse varient de 41.7 à 100%, et de 62.5 à 100% pour la station de Mécheria et Ainsefra respectivement. Les forts pourcentages concernent les mois secs de la saison estivale pour les deux stations. Les mois de juin, juillet et août enregistrent un pourcentage de 100% à Ainsefra. Toutefois, les pourcentages de 100% sont marqués pour le mois de juillet et le mois d'août à Mécheria. Que ce soit à Mécheria ou à Ainsefra en moyenne aucun mois de la série climatique n'échappe à la sécheresse.

Stations		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ainsefra	Nombres	15	18	16	19	23	24	24	24	23	18	19	21
	(%)	62.5	75.0	66.7	79.2	95.8	100	100	100	95.8	75.0	79.2	87.5
Mécheria	Nombres	10.0	16.0	13.0	19.0	21.0	23.0	24.0	24.0	22.0	19.0	18.0	14.0
	(%)	41.7	66.7	54.2	79.2	87.5	95.8	100	100	91.7	79.2	75.0	58.3

Tableau 6 : Fréquence mensuelle de la sécheresse au cours de la période (1978-2001) dans la station de Mécheria et Ainsefra.

De plus, une analyse de suivi de l'évolution pendant l'année du nombre de mois secs au cours du temps a été effectuée (Cf. Tableau 7). Cette analyse révèle que le nombre de mois secs pendant la durée de 24 ans a varié selon une fourchette de 7 à 12 mois secs à Ainsefra, et de 6 à 12 mois secs pour Mécheria. Ainsi, 54% des années à 7, 8 et 9 mois secs sont recensés à Mécheria et 35.3% à Ainsefra. En ce qui concerne les années à plus de neuf mois secs, le pourcentage est de l'ordre 41.7% et 64.7% pour Mécheria et Ainsefra respectivement.

Ainsefra (1978-2001)		Mécheria (1978-2001)	
N° de mois secs	%	N° mois de secs	%
1	0.00	1	0.00
2	0.00	2	0.00
3	0.00	3	0.00
4	0.00	4	0.00
5	0.00	5	0.00
6	0.00	6	4.2
7	5.88	7	8.3
8	11.76	8	25
9	17.65	9	20.8
10	23.53	10	12.5
11	23.53	11	16.7
12	17.65	12	12.5

Tableau 7 : Pourcentage de nombres de mois secs au cours de la période (1978-2001) dans la station de Mécheria et Ainsefra.

La figure 7 montre nettement la variabilité des nombres de mois secs pour les deux stations durant la période 1978 à 2001. Ce nombre oscille entre 6 et 12 mois secs. L'examen de la courbe pour la station Ainsefra amène à distinguer trois périodes :

- une période de 1978 à 1981 marquée par une variabilité du nombre de mois secs oscillant entre 7 et 12 mois secs;
- une période de 1982 à 1996 caractérisée par une tendance à la baisse du nombre de mois secs exceptée l'année 1992;
- une période de 1997 à 2001 caractérisée par un renouveau dans la hausse des nombres de mois secs.

En ce qui concerne la station de Mécheria nous avons distingué à partir du graphique trois phases :

- la première phase de 1978 à 1983 montre une tendance à la hausse du nombre de mois secs;
- la seconde phase de 1984 à 1998 est caractérisée par une variabilité assez nette du nombre de mois secs;
- la dernière phase de 1999 à 2001 illustre une tendance positive du nombre de mois secs.

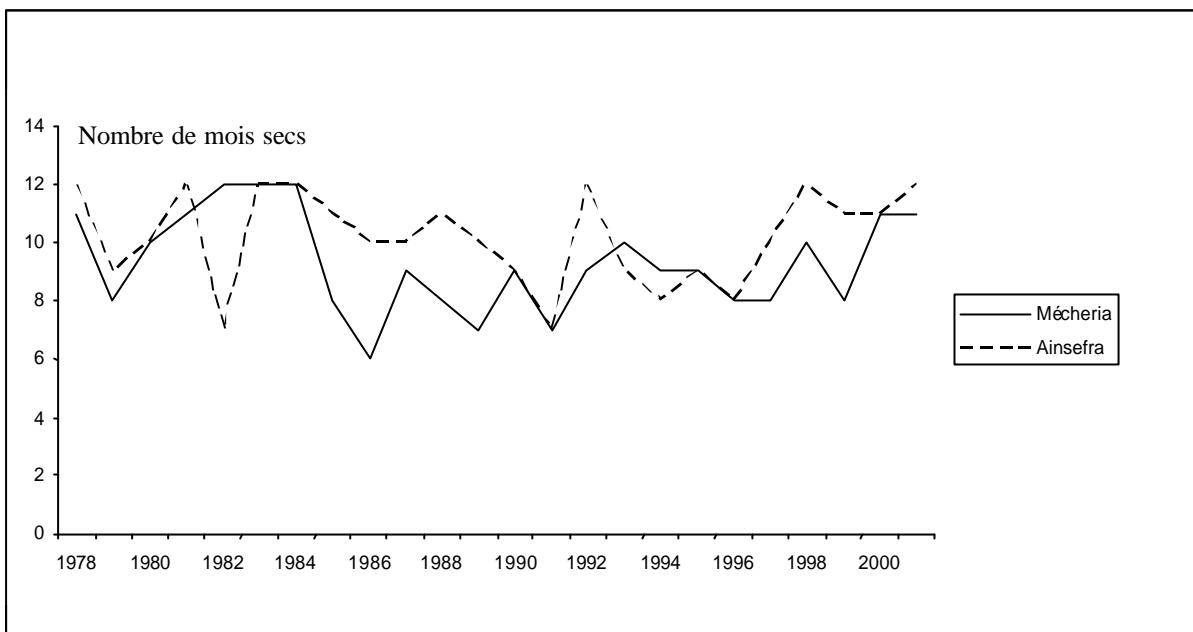


Figure 7 : L'évolution du nombre de mois sec dans la station de Mécheria et de Ainsefra (1978-2001).

1.2.1.5.3. Variations annuelles de la sécheresse au cours de deux périodes (1913-1938) et (1978-2001).

Pour déterminer l'évolution du phénomène de la sécheresse dans le temps nous avons opté pour analyser les données climatiques pour la station de Ainsefra sur deux périodes différentes celles de (1913-1938) et de (1978-2001). Nous avons choisi la station Ainsefra car nous disposons des données climatiques de longues séries pour cette station. Notre approche est basée sur le principe du calcul des fréquences des années présentant un intervalle de 7 à 9 mois secs, et des années à plus de neuf mois secs. Le tableau 8 met en évidence l'évolution et le doublement des années supérieures à 9 mois secs au cours de cette dernière période. Ceci explique qu'au cours de la période (1978-2001) la présence des années de plus de neuf mois secs a doublé par rapport à la période de (1913-1938). Il est à noter que le coefficient de corrélation entre le nombre de mois secs et les précipitations moyennes annuelles est de l'ordre de -88% et de -83% pour l'ancienne et la dernière période respectivement. Le signe négatif signifie que le nombre de mois secs est inversement proportionnel à l'augmentation de la pluviométrie. Ainsi, le coefficient de détermination (R^2) est de l'ordre de 78% pour la période (1913-1938) et de 70% pour la période (1978-2001); ce qui permet de dire qu'à Ainsefra il y a 70 à 78% des années de fortes précipitations avec un nombre faible de mois secs. Mais, même avec cette corrélation il existe des années qui échappent à cette règle. L'année 1990 enregistre 9 mois secs avec une moyenne annuelle de 307 mm (le double de la

moyenne annuelle calculée pour toute la période de 1978 à 2001). Quant à l'année 1996, 8 mois secs sont relevés avec une moyenne annuelle de 191 mm. Le même scénario est remarqué pendant la période de 1913 à 1938. L'année 1930 avec une moyenne de 108 mm (inférieure à la moyenne annuelle calculée sur 26 ans : 192 mm) présente 09 mois secs. Toutefois, 08 mois secs sont recensés dans l'année 1938 avec une moyenne de 234 mm. Ce paradoxe entre l'année 1930 et 1938 ainsi qu'entre 1990 et 1996 est expliqué par la mauvaise répartition de la pluie au cours de l'année. A titre d'exemple 76% du total annuel sont concentrés seulement en deux mois (avril et mai) de l'année 1990, et 47% sont tombés en un seul mois d'avril de 1938.

Selon EL DJIHAD M.D., (2003) ceci : « *est dû qu'au cours d'une année en enregistre un nombre faible de mois sec; la raison en est que la plus part des mois sub-secs ont connu des précipitations à peine supérieures au double de leurs températures* ». L'année la plus pluvieuse de 1991, avec une moyenne annuelle de 430 mm, enregistre 7 mois secs. C'est toujours la mauvaise répartition au cours de l'année qui fait que les mois secs ne sont pas compatibles avec le total pluviométrique. Le même auteur considère que le nombre de mois secs, durant la même année, est conditionné par la mauvaise répartition et non pas par la valeur des précipitations annuelles. A cet effet, nous avons considéré qu'il est judicieux de suivre l'évolution de la sécheresse pendant les périodes sèches et humides, durant deux périodes (1913-1938) et (1978-2001) pour pouvoir mieux comprendre ce phénomène.

STATION AINSEFRA			
Période SELTZER (1913-1938)		Période (1978-2001)	
Années entre 7 et 9 mois secs (%)	Années de plus de 9 mois secs (%)	Années entre 7 et 9 mois secs (%)	Années de plus de 9 mois secs (%)
62	33	35.29	64.71

Tableau 8 : Pourcentage des années à 7,8 et 9 mois secs et des années de plus de 9 mois secs au cours des périodes (1913-1938) et (1978-2001) dans la station de Ainsefra.

1.2.1.5.4. Variations saisonnières de la période sèche au cours du temps

1.2.1.5.4.1. Variations de la saison estivale période : (1913-1938) et (1978-2001)

La sécheresse est d'autant plus accentuée lorsque le nombre de succession des mois secs pendant l'année est grand. Cependant, si cette succession de mois secs dure pendant plusieurs années, l'impact sur le milieu naturel ainsi que sur la végétation steppique induit des conséquences plus ou moins catastrophiques. Cette catastrophe se manifeste dans ce milieu aride de la manière suivante par :

- la salinisation de la couche arable par effet de remontée capillaire et destruction des agrégats constituant le sol;
- la régression du tapis végétal suite à la diminution et au dessèchement des réserves hydriques du sol ;
- la diminution de la perméabilité du sol suite à la formation au niveau du sol de la pellicule de glaçage ;
- le processus d'érosion éolienne favorisé par la régression de la végétation steppique et les pressions exercées par l'homme sur les ressources pastorales;
- l'augmentation de l'albédo de surface qui engendre la formation des mouvements de subsidences qui empêchent la formation des nuages.

Notre analyse séquentielle effectuée au cours de la saison estivale (Mai à octobre) pour les deux périodes montre que le pourcentage de 6 mois secs successifs a presque quadruplé (Cf. tableau 9). Il est passé de 19% pour la période SELTZER (1913 à 1938) à 70.83% au cours de cette dernière période. Cette analyse confirme bien le travail de DJELLOULI et DAGET (1993) in : (ROGNON P., 1996). Ces auteurs ont montré, dans la steppe sud oranaise et plus précisément dans la région de Mécheria et dans la région de Saïda plus au nord, un accroissement de la saison sèche de deux mois au cours de deux périodes (périodes : 1913-1938 et 1978-1990). La saison sèche est passée de 8 à 10 mois secs. De même, BENABADJI N. et BOUAZZA M., (2000 (a)) ont mis en évidence, suite à une analyse effectuée sur des données climatiques pendant deux périodes différentes (1913-1938 et 1970-1990), que le quotient pluvio-thermique (Q2), de six stations représentatives de la région oranaise (Algérie occidentale), a subi un déplacement significatif vers la droite. Ce déplacement signifie une augmentation de la valeur des températures moyennes minimales « m ». De plus, ils ont remarqué aussi que les étages bioclimatiques de certaines stations sont modifiés. À titre

d'exemple, la station de Mécheria est passée de l'étage bioclimatique aride supérieur à hiver frais à un étage aride moyen à hiver frais.

Donc, ces dernières années nous assistons effectivement à des périodes sèches plus au moins dures par rapport aux périodes précédentes (1926-1930, 1935-1939 et 1944-1948).

STATION AINSEFRA			
Période SELTZER (1913-1938)		Période (1978-2001)	
Nombre de mois sec	(%)	Nombre de mois sec	(%)
1	0.00	1	0.00
2	9.52	2	0.00
3	9.52	3	0.00
4	28.57	4	4.16
5	33.33	5	25.00
6	19.05	6	70.83

Tableau 9 : Pourcentages de successions de mois secs durant la saison estivale (mai à octobre) à Ainsefra pour les deux périodes.

1.2.1.5.4.2. Variations de la saison humide période : (1913-1938) et (1978-2001)

D'après notre analyse des données climatiques nous avons constaté, pendant la saison humide et durant la période (1978 à 2001), que les années de succession de 6 mois secs sont multipliées par deux par rapport à la période de (1913-1938). Durant l'ancienne période œ sont les années de 2 mois secs successifs qui présentent le pourcentage le plus élevé 33% contre 20% pour ces dernières décennies (Cf. Tableau 10).

STATION AINSEFRA			
Période SELTZER (1913-1938)		Période (1978-2001)	
Nombre de mois sec	(%)	Nombre de mois sec	(%)
1	9.52	1	12.50
2	33.33	2	20.83
3	9.52	3	12.50
4	23.81	4	12.50
5	9.52	5	8.33
6	14.29	6	33.33

Tableau 10 : Pourcentages de successions de mois secs durant la saison humide (Novembre à avril) à Ainsefra pour les deux périodes.

1.2.1.6. *Changement climatique : analyse et synthèse*

Dans le passé, notre planète a subi des changements climatiques importants au cours des périodes de glaciations du quaternaire. Ces changements sont liés principalement à des facteurs astronomiques notamment :

- «*l’obliquité de l’axe des pôles par rapport au plan de l’orbite terrestre varie cycliquement de 3° sur une durée d’environ 40 000 ans. Cette variation engendre, des pôles jusqu’aux latitudes moyennes, des saisons d’autant plus contrastées que l’obliquité est importante,*
- *l’excentricité de l’orbite terrestre varie périodiquement sur 100 000 ans. Bien entendu, la partie d’orbite à parcourir loin du soleil est importante. A ce moment là, l’insolation moyenne annuelle décroît»* (VIGNEAU, 2000) in : (LOUBIER J.C., 2004).

Aux phases glaciaires de l’Europe correspondent en méditerranée et en Afrique du nord des phases inter-pluviales chaudes et sèches, parfois arides. Des noms locaux ont été donnés aux divisions du quaternaire du Maroc de la méditerranée et de l’Europe occidentale (BOUABDALLAH H., 1991) (Cf. Figure 8).

Pouvons-nous accepter que les périodes de sécheresse enregistrées ces dernières années soient directement liées aux changements climatiques par l’augmentation des gaz à effet de serre ou seulement la continuité de la fluctuation non régulière du climat ? Si cela est vrai comment

peut-on expliquer les sécheresses qui apparaissaient avant l'ère industrielle où la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère était nettement plus faible qu'actuellement.

Il vrai que toute la communauté scientifique prévoit une augmentation inexorable de la température au cours des cent prochaines années. Le Groupement Intergouvernemental d'Etude du Climat (GIEC) a proposé une augmentation de température entre +1.5° et +5.8° sur la base des modélisations numériques et en fonction des différents scénarii retenus (LOUBIER J.C., 2004). Cependant, aucun modèle numérique, même les Modèles Généraux du Climat (GCM), n'a été présenté qui permette de mettre en relation l'évolution de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre avec la périodicité des sécheresses qui ont frappé le Sahel et les zones arides du Maghreb et d'autres régions dans le monde. Le caractère global de ces modèles ne permet pas de déceler les phénomènes qui se manifestent sur des zones plus restreintes. Les meilleurs modèles utilisent une cellule de 1° ce qui correspond à une zone de dimension (12345 km²) à l'équateur. Alors qu'en réalité à l'intérieur le climat peut varier considérablement. Nous avons vu au cours de ce chapitre que la pluviométrie est variable pour les deux stations (Mécheria et Naâma) distantes de seulement 33 km.

Malgré ces changements climatiques importants, l'être humain a pu résister et continuer d'exister. Cela n'empêche pas de dire que les changements climatiques engendrent des conditions socio-économiques très graves sur la population mondiale et plus précisément celles qui habitent les régions vulnérables (Zones arides et désertiques). La steppe des hautes plaines sud Oranaises n'échappe pas à ce constat. Dans cette zone l'analyse climatique effectuée sur les régions de Mécheria et de Ainsefra a révélé des fluctuations entre périodes humides et sèches épisodiques et surtout les périodes sèches qui ont débuté à partir de 1970. Depuis 1970, à Mécheria 83% des années ont enregistré des valeurs de précipitation inférieures à la valeur moyenne annuelle durant la période de 1913 à 1938. Ces fluctuations climatiques qui existaient de tout temps et ne peuvent pas donner une explication à elles seules à la progression de la dégradation du sol qui se manifeste par l'avancée du sable sur les terrains de parcours et agricoles de la wilaya. La végétation steppique (et en particulier l'alfa) est tout à fait adaptée à la sécheresse, mais avec les mutations socio-économiques qu'a connu la région ainsi que les conditions récentes d'exploitation des parcours, une telle fluctuation entraîne un déséquilibre durant laquelle la demande en fourrage dépasse largement les disponibilités (AIDOUD A., 1993). Les activités de plus en plus destructrices de l'homme sur le milieu engendrées par l'augmentation de la population plus l'utilisation des techniques

employées sans discernement, sont certainement les causes principales des progrès de la dégradation des terres. «*C'est l'homme qui crée le désert, le climat n'est qu'une circonstance favorable*», disait LE HOUEROU H.N., (1959).

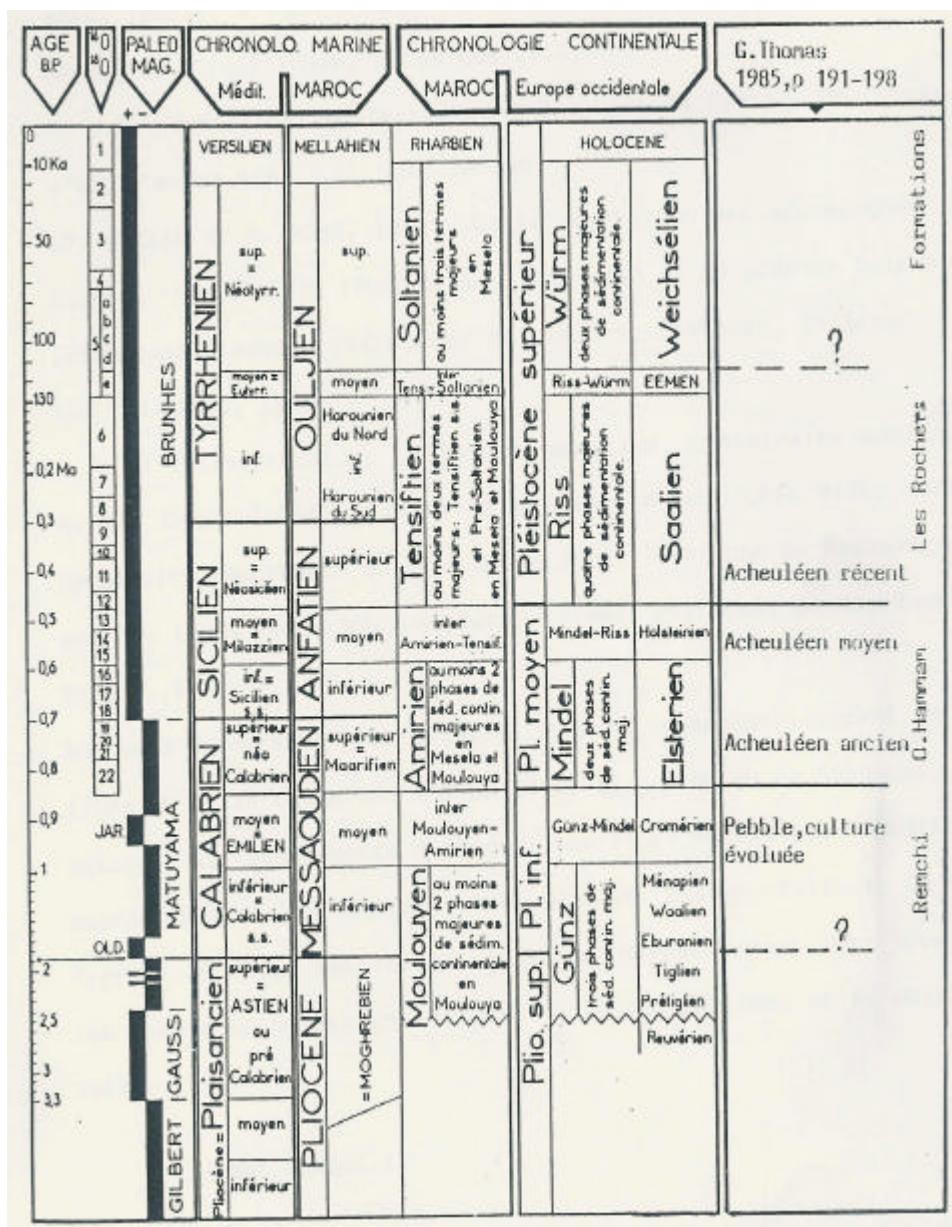
Cependant, il est vrai de dire que le climat a seulement favorisé l'extension de la dégradation dans ces zones déjà fragilisées suite aux différentes actions destructrices de l'homme. D'ailleurs cette constatation est confirmée par le travail de SHERBROOKE W.C. et PAYLORE P. (1973) : «*Short term weather patterns induced by uncertain rainfall and followed by cyclic droughts from which marginal areas may not recover if subjected to continued attempts at intensive use in a dry year or succession of dry years* ».

Une étude dendroclimatique sur des cernes de deux cents cèdres réalisée dans la région ouest Marocaine a montré que le Maghreb n'était pas à l'abri des longues sécheresses persistantes qu'a connu le Sahel (ROGNON P., 1996). Cette étude a mis en évidence que la sécheresse a varié énormément :

- deux sécheresses accentuées mais isolées ont été révélées au cours du XVème siècle,
- une sécheresse de longue durée a été enregistrée sur la période (1520-1552) au cours du XVIème siècle,
- pendant le XVII siècle vingt sept sécheresses ont été enregistrées. Ces sécheresses ont été de courte de durée (un an à deux ans).

Plus récemment la France a connu deux épisodes climatiques. Une période chaude est enregistrée entre le XIème siècle et XIIIème siècle suivi d'une période foide au cours du XVIIIème siècle. Selon (LOUBIER J.C., 2004) cette dernière période est appelée « *le petit âge glaciaire où l'on a vu découper le vin à la hache en place de grève* ».

L'apparition de ces sécheresses avant la naissance de la révolution industrielle témoigne que ce phénomène est beaucoup plus lié aux facteurs astronomiques et que l'augmentation du CO₂ n'a qu'amplifié le processus.



Source : (BOUABDALLAH H., 1991)

Figure 8 : Nouvelle proposition chronologique du quaternaire

1.2.2. Cadre géologique

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d'une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques. La zone d'étude s'organise autour de deux grandes unités structurales qui se succèdent du nord au sud : les hautes plaines sud oranaises et l'Atlas Saharien constitué par les monts des Ksours.

1.2.2.1. Stratigraphie des hautes plaines sud-ouest oranaises

Sur le plan stratigraphique les hautes plaines sud cranaises sont formées par un matériel sédimentaire du mésozoïque transgressif, sur un socle primaire qui affleure à la faveur de cassures.

Le Trias est représenté par des argiles gypsifères et salines rouges, violettes ou multicolores, surgissant brusquement au sein de formations plus récentes à la suite de phénomènes liés au diapyrisme. Il apparaît en certains points très localisés et au niveau des dépressions.

Le Jurassique est essentiellement calcaro-dolomitique supportant des grès psammitiques et des argiles versicolores, (série de passage du Jurassique au Crétacé) il occupe les reliefs des hautes plaines tels que le djebel Antar, djebel Amrag et djebel Hafid. On note la formation des sédiments gréseux de la fin du Jurassique jusqu'à l'Albien. Le Cénomanien montre un faciès marneux et marno-calcaire d'une épaisseur ne dépassant pas les 100 mètres. Le Turonien : la série marine du Crétacé se termine par de puissants bancs calcaires pouvant dépasser 150 mètres d'épaisseur, le Sénonien débute par des conglomérats auxquels succèdent des argiles, il se termine par des bancs de gypse.

Le Quaternaire est représenté par des sédiments recouverts de débris de roches, d'alluvions, de calcaire lacustre et d'apports éolien (Cf. Tableau 11).

1.2.2.2. Stratigraphie de l'Atlas Saharien

L'Atlas Saharien occidental est une chaîne plissée orientée sud-ouest nord-est. Cette chaîne est formée d'anciens anticlinaux ou synclinaux de structure simple, n'ayant subi que la phase de plissement de l'Eocène, puis le soulèvement du Pliocène supérieur.

Les Monts des Ksours sont prolongés à l'ouest par le haut Atlas Marocain, tandis que à l'est ils se poursuivent par djebel Amour au centre et par les monts de Ouled Nails à l'est.

La stratigraphie des Monts des Ksours présente une série relativement complète allant du Trias au Turonien. Les formations sédimentaires sont constituées par le Mésozoïque et se présentent comme suit :

- le Tiras représenté par des argiles gypso-salines contenant des basaltes. Cette formation est très rare et elle apparaît seulement au niveau de djebel Melah et djebel Bou Lerhad;

- le Jurassique inférieur est formé de calcaires dolomitiques et de dolomies du Lias en alternance avec des marnes et des calcaires marneux du Dogger. On rencontre cette formation au niveau de quelques djebels de l'Atlas Saharien. La partie ouest des monts des ksours est dominée par le Jurassique moyen et supérieur à faciès gréseux et argileux (dépôts détritiques);
- le Crétacé prédomine dans la partie est de l'Atlas Saharien. L'Albien présente un faciès d'alternance entre les grès siliceux jaunâtres et les argiles versicolores. Le Cénomanien est constitué par de dépôts marins à faciès marneux et argil gypseux. Quant au Turonien il est formé de calcaires dolomitiques avec peu de marnes intercalaires;
- le Tertiaire continental est caractérisé par des formations détritiques récentes qui occupent les dépressions de l'Atlas Saharien.

1.2.2.3. Tectonique

DJEBAILI S., (1984) a résumé la tectonique de la zone d'étude de la manière suivante : « *les formations mésozoïques ont été plissées avec énergies au cours des phases tertiaires. Il s'agit de plis anticlinaux à flancs redressés et à voûte plate. L'orientation ouest-sud-ouest des axes structuraux est généralement respectée. Les synclinaux qui séparent les anticlinaux sont à fond plat. Ce style de plis est probablement dû au décollement au niveau du Trias marno-gypsifère et à l'intrusion de celui-ci dans les anticlinaux*

 ».

AGES GÉOLOGIQUES		FACIÈS		OBSERVATIONS	
QUATERNNAIRE		<ul style="list-style-type: none"> -Alluvions anciennes des oueds (galet + sable + limons anciens) -Alluvions récentes (sable + argiles) -Calcaire lacustre -Accumulation sableuse récente 		<ul style="list-style-type: none"> -Accumulation sous forme de dunes de sable au nord-ouest du djebel Antar, à l'est du djebel Amrag, au sud-ouest de sebkhat en Naâma 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Alluvions anciennes des oueds (galet + sable + limons anciens) 		<ul style="list-style-type: none"> -Remplissage des aires déprimées dans l'atlas Saharien. -Lits d'oueds. -Fond des dépressions fermées 	
TERTIAIRE	NÉOGENE	Pliocène	<ul style="list-style-type: none"> - Limons du plioquaternaires - Conglomérats et limons fins 	Dans plusieurs endroits dans l'atlas saharien. Les limons peuvent être remobilisés par le vent.	
		Miocène	<ul style="list-style-type: none"> - Conglomérats. - Grès et limons rougeâtres. - Calcaires. 	Bordures des chotts. les grès peuvent en s'altérant libérer des particules de sables	
	PLEOGENE	Oligocène	<ul style="list-style-type: none"> - Grès rouges fins. - Calcaires. - Marnes rouges sableuses. 	Les grès rouges et les marnes sableuses peuvent alimenter le stock sableux	
		Eocène	<ul style="list-style-type: none"> - Marnes. - calcaires et grès à intercalations marneuses. - marnes avec des lentilles gypsifères. 	Les piémonts nord de l'Atlas saharien. Seules les grès à intercalations marneuses peuvent libérer du sable.	
SECONDAIRES	CRÉTACÉ	Supérieur	Sénonien	- Marnes gypseuses	Peuvent libérer du sable
			Turonien	- Calcaires dures.	Ne donnent pas de sable.
			Cénomanien	- Marnes et marno-calcaires	Ne donnent pas de sable.
		Inférieur	<ul style="list-style-type: none"> - Barrémien et l'Albien Continental intercalaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Grès à sphéroïdes 	Peuvent libérer du sable
	JURASSIQUE	Malm	<ul style="list-style-type: none"> - Valenginien 		Le nord et le sud de l'Atlas saharien.
			<ul style="list-style-type: none"> - Grès et des bancs Calcaro-dolomitiques. 		Nord-ouest du djebel Antar. Seules les grès peuvent libérer du sable.
		Dogger	<ul style="list-style-type: none"> Calcaire à lumachelle. Grès et argiles versicolores. 		Djebel Mekhter.
		Lias	<ul style="list-style-type: none"> - Calcaire dolomitique - Dolomies. 		Djebel Souigua, djebel Melah et djebel Antar.
	TRIAS	<ul style="list-style-type: none"> - Marno-gypseuse - évaporite et salin et roches vertes. 			- Jalonnes les grands accidents tectoniques dans les hautes plaines et les monts des ksours.

Source : (MAHBOUBI B., 2002)

Tableau 11 : La couverture sédimentaire des hautes plaines oranaises.

1.2.3. Cadre géomorphologique

La géomorphologie est considérée comme une expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques. Ainsi, les principaux cycles climatiques du Quaternaire ont donné à la région steppique une physionomie particulière en relation avec la nature du substrat géologique et la tectonique d'ensemble.

Nous nous sommes basé sur les travaux de TRICART (1969); POUGET M. (1971 et 1980) in : (KADI-HANIFI-ACHOUR H., 1998) et DJEBAILI S. *et al.*, (1982) afin de distinguer d'une façon générale les principales unités géomorphologiques qui composent la wilaya de Naâma. Spatialement la wilaya est constituée par un ensemble d'unités différentes du point de vue de leur forme structurelle, leur genèse, leur lithologie et leur morphogenèse. Cependant, ces entités sont issues de l'interaction de processus physico-chimique (thermoclastie, actions éoliennes et de processus hydriques) exercée sur les matériaux géologiques et lithologiques. Les principales unités géomorphologiques de la wilaya peuvent être énumérées comme suit (Cf. figure 9) :

- les reliefs;
- la plaine sud oranaise et surfaces plus ou moins planes;
- les dépressions et les accumulations éoliennes.

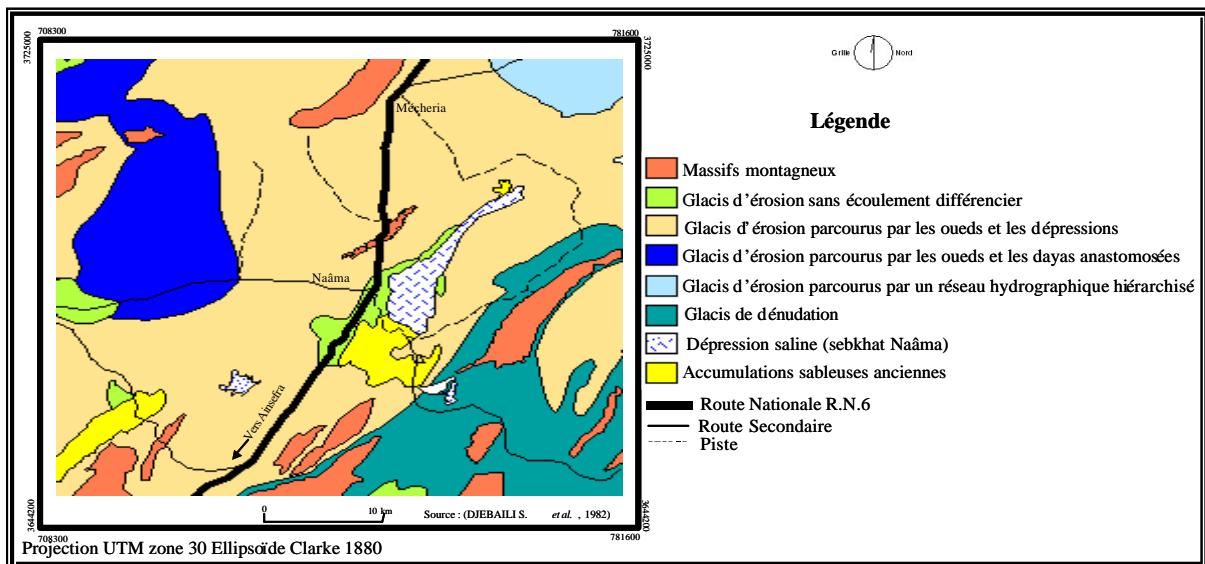


Figure 9 : Carte géomorphologique de la région centre de la wilaya de Naâma.

1.2.3.1. Les reliefs

Les djebels de la zone d'étude se présentent sous forme d'ensembles massifs à structures complexes et plus ou moins allongées et étirées suivant l'axe général du plissement sud-ouest nord-est. Ces structures sont généralement liées à la tectonique, à la lithologie et à l'érosion. Elles sont constituées de roches dures (calcaire, calcaire dolomitique et grès) d'âge Jurassique dont la pente des versants est généralement forte. Parmi ces structures plissées il importe de citer l'anticlinal d'âge Jurassique culminant à 2136 m de djebel Morhad d'orientation sud-ouest nord-est. Il a été affecté par un accident tectonique ayant provoqué un décalage de continuité dans sa partie sud-ouest (cuvette de Mekhizéne). Un autre anticlinal plus septentrional correspond au djebel Antar, petit chaînon avancé de l'Atlas Saharien à tracé en forme d'arc de cercle ouvert vers le nord-ouest et dont l'altitude n'atteint pas les 2000 mètres (REMAOUN K., 1998).

1.2.3.2. La plaine sud oranaise et surfaces plus ou moins planes

La majeure partie de l'espace de la wilaya est occupée par une plaine plus ou moins plane dans l'altitude augmente sensiblement vers le sud (1000 à 1330m). Elle est truffée de nombreuses petites cuvettes de dimension et d'origine différentes (Sebkha, Dayas, cuvettes hydro-éoliennes dénommées localement Mekmene, oglat ou haoud) dans lesquelles se perd un réseau hydrographique endoréique à éléments courts et inorganisés. Elle est couverte par une épaisse dalle calcaire lacustre d'âge poste miocène. Depuis le Quaternaire des alluvions anciennes constituées de galets, de sables, d'argiles et d'alluvions récentes contenant des sables et des argiles couvrent cette dalle calcaire.

1.2.3.3. Les dépressions

Les eaux de ruissellement empruntent les lits d'oueds à fond plat largement encaissé pour s'accumuler finalement dans des dépressions endoréiques. Dans cette zone nous distinguons les dépressions salées (Chott Chergui, Chott el Rharbi, Sebkat en Naâma) et les dayas et les mekmenes où s'accumulent les eaux de surfaces non salées.

Les dayas sont de petites dépressions peu profondes. Les sols de dayas sont généralement plus profonds par rapport aux glacis encroûtés et ils sont occupés par l'armoise blanche (*Artemisia herba Alba* : Chih). Toutefois, la céréaliculture trouve sa place dans ces dépressions ainsi que sur les rebords. Elles sont mises en culture après avoir été défoncées ou routées pour rompre

la croûte. Les chotts et les sebkhas sont des dépressions salées où l'on rencontre une steppe à halophytes.

L'agglomération de Ainsefra se trouve encaissée dans une vallée entre djebel Aissa au nord et djebel Mekter au sud. Cette dépression s'étend sur une longueur de 30 km et une largeur de 24 km et elle est drainée par l'oued Breidj. Une seconde dépression (Faidjet el Betoum) occupe le fond d'un couloir montagneux orienté sud-ouest nord-est entre les deux massifs montagneux parallèles djebel Aissa à l'est et djebel Morhad à l'ouest.

1.2.3.4. Les formations et accumulations éoliennes

En fonction de la nature et de l'âge du dépôt POUGET M., (1971) distingue les trois formes d'accumulation sableuses suivantes :

- les formes d'accumulations anciennes, à matériau éolien représenté par les champs de dunes formés aux piémonts des djebels. Nous rencontrons ce type de formations dans le nord ouest de Mécheria et dans les chaînons montagneux des monts des ksours. Au nord de Mécheria et plus précisément à l'extrémité septentrionale de djebel Antar un champ de dunes s'est formé de la même orientation que djebel Antar. Cependant, dans les monts des ksours des champs de dunes sont fréquents et ils se localisent surtout dans les piémonts nord de l'Atlas saharien. D'après la carte géologique CORNET A. et DELEAU P., 1951) et les cartes topographiques de la zone, plusieurs accumulations sableuses peuvent être citées :
- un champ de dune est localisé dans la partie nord du djebel Morhad d'orientation sud-ouest nord-est. il s'étend sur une longueur de 26 km et 3km de largeur;
- un autre champ de dune est formé sur le piémont nord de djebel Bou Amoud avec une dimension moins importante que le champ précédent;
- à Ainsefra il existe un cordon dunaire piégé sur le piémont nord de djebel Mekter. Au sud de celui-ci un autre cordon s'est formé dans le piémont nord de djebel Boulerhfad
- les formes d'accumulation anciennes, à matériau éolien gypseux qui comprennent l'ensemble des accumulations qui sont présentes sur les bordures du chott Chergui et sur les bords sud et est de sebkhat Naâma;
- les formes d'accumulations récentes sont fortement liées d'une part, aux régimes des fréquences des vents efficaces, à la nature des substrats géologiques et à la nature des obstacles (touffes de végétations, chaînons de montagnes, bloc, reg, remblais de carrière,

etc.) responsables de leur formation d'autre part. Donc on retrouve autant de formes d'accumulation qu'il y a de types d'obstacles responsables au freinage de la vitesse du vent. A la rencontre du vent aux différents obstacles, la capacité de transport de sable diminue et le dépôt des particules prend naissance. Dans la zone de Naâma on retrouve la plus part des formes d'accumulations sableuses fixes ou mobiles. Selon leur volume et leur morphologie six types d'accumulations peuvent être distingués sur le terrain. Le tableau 12 illustre une typologie des édifices éoliens en fonction de leur dimension et de leur mobilité. Il est important dans ce qui suit de définir ces édifices éoliens rencontrés dans la zone d'étude.

Épaisseur en (cm)	Accumulation fixée Par la végétation steppique	Accumulation mobile
< 20		Voile de sable
10 à 50	Micro-Nebkha	
> 100	Nebkha	
> 100		Barkhane
> 100		Cordons dunaires
> 100		Cordons Barkhanoides

Tableau 12 : Caractéristiques des édifices éoliens de la wilaya de Naâma.

1.2.3.4.1. Voile sableux

C'est le dépôt de sable en forme de voile sur des surfaces couvertes d'obstacles. L'épaisseur du voile varie entre 1 mm et 1 m (RISER J., 1988).

1.2.3.4.2. Nebkha

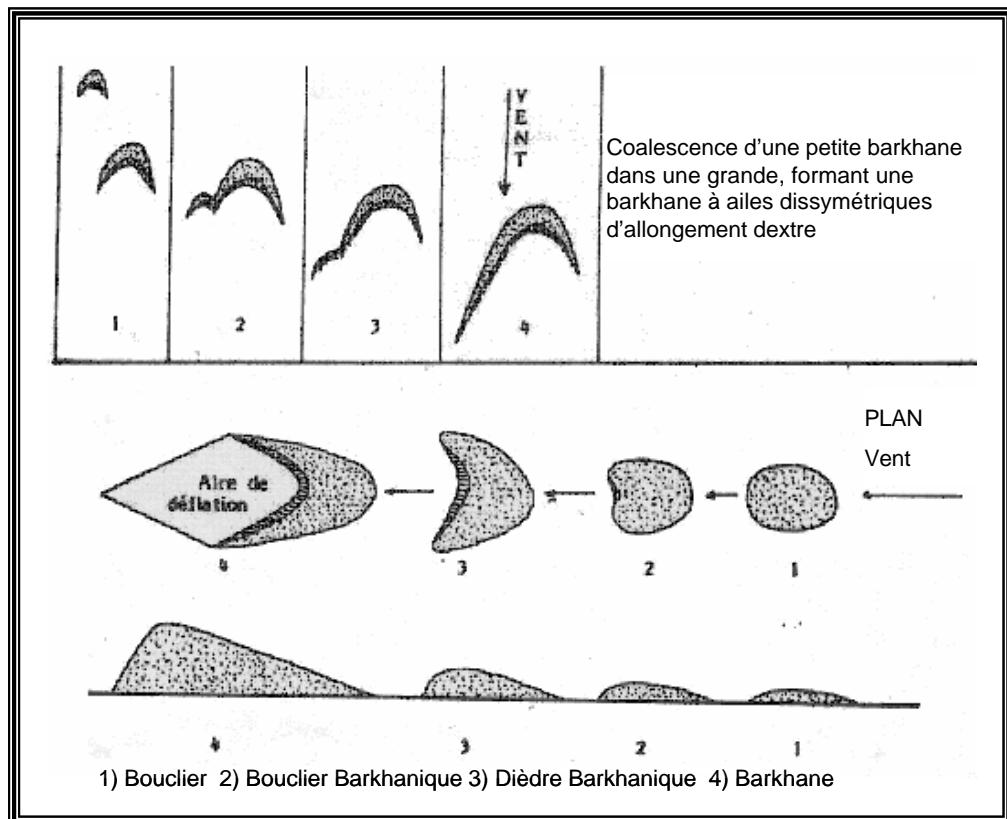
CALLOT Y., (1987) la définit comme étant une forme éolienne presque universelle que l'on retrouve dans d'autres matériaux que le sable. Elle est formée après un piégeage de sable sous un obstacle fixe. Nous avons rencontré un exemple de nebka piégée au nord-est de djebel Antar et dans la commune d'El Biad et de Ain Benkhelile. Selon la dimension de la nebka et de l'obstacle qui la fixe FLORET C. et PANTANIER R., (1982) distinguent les nebkas fixées par les arbustes épineux (*Zizyphus lotus*) et pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur et de diamètre, et les micro-nebkas fixées par des chameaphytes et des graminées steppiques.

1.2.3.4.3. Barkhane et cordons barkhanoïdes

La barkhane est définie comme un édifice éolien ayant la forme d'un croissant, à concavité sous le vent possédant un versant raide d'éboulement suivi d'une aire de déflation (Cf. Figure 10). C'est une forme d'accumulation sableuse liée à un régime de vent suffisamment stable et qui est par conséquent très mobile. La barkhane constitue un excellent véhicule de transport de sable qui migre dans sa totalité suivant la direction du vent. Sa taille est très variable et sa dynamique reste la même jusqu'à un certain seuil de taille qui l'empêche de migrer en totalité. Dans ces conditions elle devient une source d'exportation de sable pour des barkhanes plus petites. Sa vitesse de déplacement dépend de la morphologie du terrain sur laquelle elle se déplace et de sa dimension. Cette forme d'accumulation est la plus menaçante pour l'ensablement, car la barkhane se forme uniquement à partir d'un sable en mouvement et qui s'accumule uniquement en forme de barkhane (CALLOT Y., 1987). Un ensemble de barkhanes coalescentes forme un cordon barkhanoïde.

1.2.3.4.4. Bouclier

Le bouclier est une forme dunaire embryonnaire de taille variable. Selon BENALLA M. *et al* (2003) cette forme se localise dans des espaces où le bilan sédimentaire entre l'apport et le départ des sables reste stable. Dans la wilaya de Naâma nous avons rencontré des boucliers isolés à l'extrême septentrionale du djebel Antar. Ces dépôts récents viennent renforcer l'ancienne dune localisée dans le flanc nord-ouest du même djebel. Cependant, l'apparition des accumulations sableuses en forme de boucliers révèle qu'il s'agit bien d'une zone favorable à la formation de nouvelles barkhanes.



Source : (CALLOT Y., 1987).

Figure 10 : Évolution du bouclier à la barkhane vraie

1.2.3.4.5. Cordons dunaires

Durant la mis de l'année 1930 le musé de Peabody de l'université Havard à proposé des travaux de recherches archéologiques sur la vallée de Jeddido dans le nord de l'Arizona. A cet effet, Hack J.T., (1960) est engagé de travailler sur les formations de dunes dans cette région. En 1941 il a défini trois types préliminaires de dunes : (1) dunes longitudinales orientées parallèles au vent dominant, (2) dunes transversales orientées perpendiculaires au vent, et (3) dunes paraboliques dont sa concavité est exposée au vent.

Nous n'avons pas trouvé des dunes paraboliques sur le terrain, cela peut être dû à la morphologie du terrain qui ne favorise pas la formation d'un tel édifice. Quant aux dunes longitudinales elles se sont formées après avoir été piégées dans les cluses (Ainsefra) ou par les versants à exposition nord-ouest. Il importe de signaler que les barkhanes en se fusionnant peuvent donner naissance à un véritable champ dunaire transversal.

1.2.4. Cadre édaphique

La nature des sols et leur répartition sont en étroite relation avec les unités géomorphologiques. Une plus grande superficie est occupée par les sols calcimagnésiques (Cf. Figure 11).

1.2.4.1. *Sols calcimagnésiques*

La classe de sols calcimagnésiques occupe la majeure partie de la zone d'étude. Elle est représentée par plusieurs types de sols : les rendzines, sols bruns calcaires et sols bruns calciques, sols à encroûtement gypseux. Ces sols occupent les glacis du Quaternaire ancien et moyen.

1.2.4.2. *Sols minéraux bruts*

Les sols minéraux bruts sont représentés par les sols minéraux bruts d'érosion, les sols minéraux bruts d'apport alluvial et les sols minéraux bruts d'apport éolien.

- Sols minéraux bruts d'érosion : sont situés sur de fortes pentes où les couches superficielles sont constamment entraînées empêchant ainsi la formation du sol. Le couvert végétal est très peu significatif avec toutefois quelques reliques de chêne vert (*Quercus ilex*) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*).
- Sols minéraux bruts d'apport alluvial : Se rencontrent au niveau des oueds importants. Ils présentent une texture sableuse, une forte charge caillouteuse et leur profondeur est variable.
- Sols minéraux bruts d'apport éolien : Ils sont constitués de sable et de dunes plus au moins mobiles. Ces sols sont occupés par une végétation psammophile à *Aristida Pungens* et *Arthropodium Scoparium*.

1.2.4.3. *Sols peu évolués*

La classe de sols peu évolués est composée par :

- Les sols peu évolués d'érosion sur roche mère dure (calcaire et gré) ou tendre (marnes), présentant une proportion élevée d'éléments grossiers, une forte charge caillouteuse et un faible taux de matière organique (<2%);

- Les sols peu évolués d'apport alluvial occupent particulièrement les zones basses (zone d'épandage, daïa, chenaux d'oued). Ces sols représentent la majeure partie des terres mises en culture.

1.2.4.4. Sols halomorphes

Ils se localisent au niveau des zones de dépressions (Chott et sebkha) et des zones d'épandage des principaux oueds. Ces sols se développent sur des matériaux alluviaux à texture sablo-limoneuse, et ils se repartissent en auréoles autour des chotts et des sebkhas et en bas des glacis. Leur couvert végétal bien qu'homogène dans l'ensemble varie selon leur degré de salinité et leur taux d'humidité. Quant la salure est trop importante la végétation se compose d'espèces hyper-halophytes (*Halcnemum strobilaceum*). Toutefois, lorsque cette salure diminue on rencontre un couvert végétal halophile qui se compose de (*Salsola Vermiculata*, *Attriplex Halimus* et *Suaeda fruticosa*).

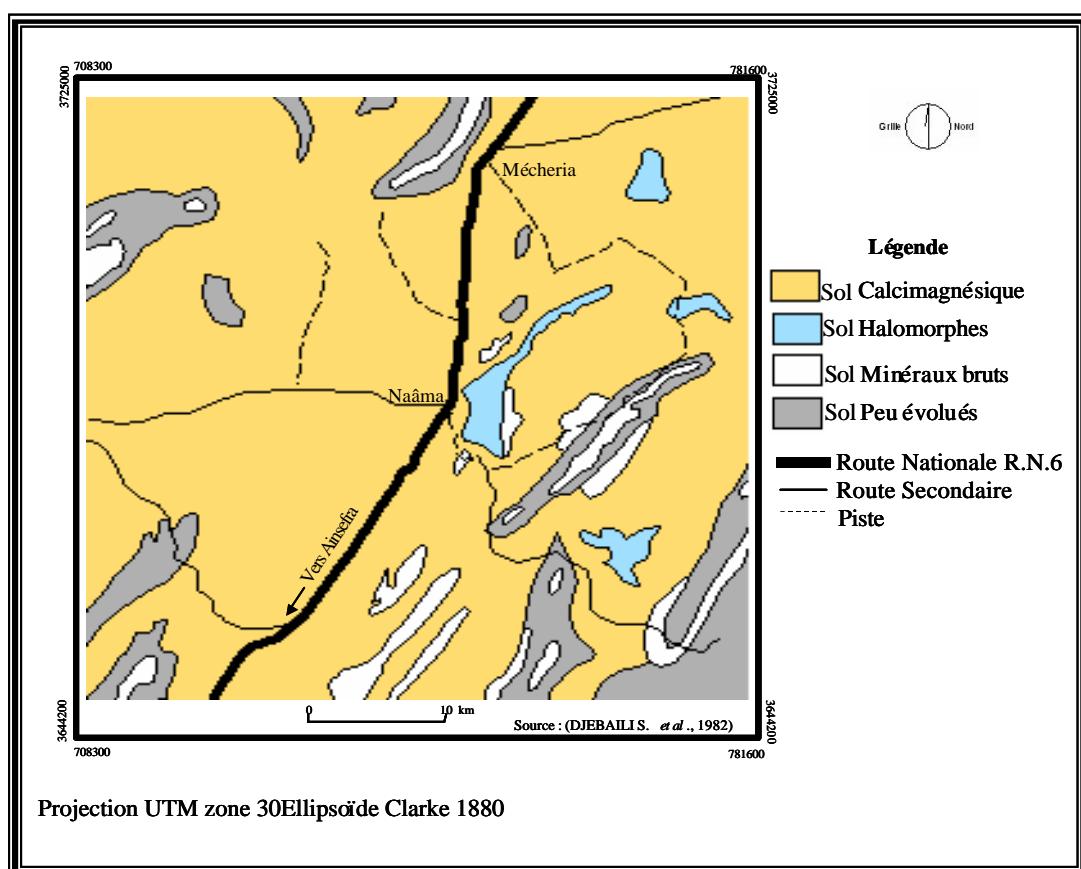


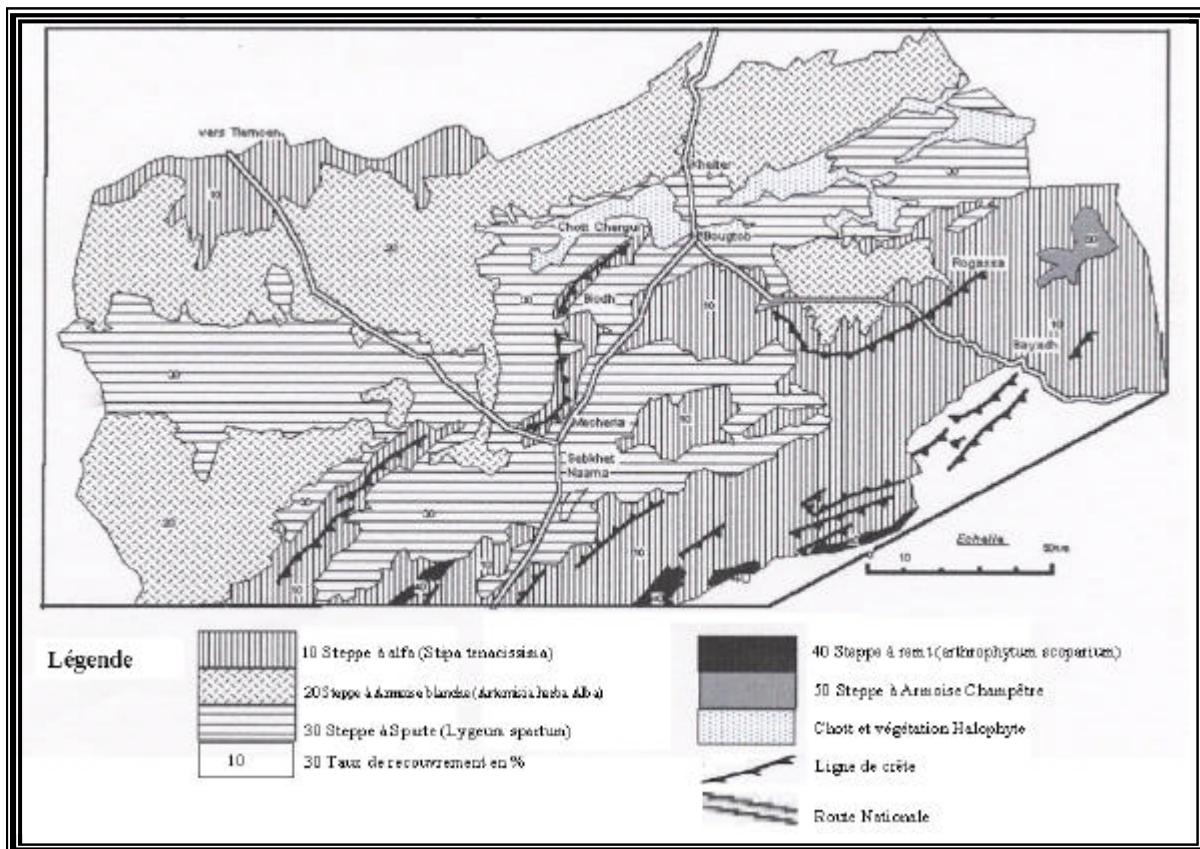
Figure 11 : Carte pédologique de la région centre de la wilaya de Naâma.

1.2.5. Végétations steppiques

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

La végétation naturelle de la zone d'étude est caractérisée par une physionomie de steppe sauf dans les montagnes où subsistent les restes de 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 (Cf. Figure 12) :

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



Source : (AIDOUD A. et TOUFFET J., 1996).

Figure 12 : Répartitions des principales steppes de la zone d'étude

1.2.5.1. Steppes à alfa (*Stipa tenacissima*)

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 A. et TOUFFET J. 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. Cette steppe couvre 4 millions d'hectares sur les Hauts-Plateaux, de la frontière marocaine à la frontière tunisienne; à l'ouest, elle déborde jusque dans le Tell, atteignant le littoral; au centre, elle couvre quelques milliers d'hectares dans le Sahara. Selon (NEDJRAOUI D., 1981) la production de l'alfa peut atteindre 10 tonnes de matière sèche par hectare (MS/ha) mais la partie exploitable est de l'ordre de 1000 à 1500 kg MS/ha. Sur le plan pastoral elle est qualifiée par la plus part des auteurs (NEDJRAOUI D., 1981; AIDOUD A. et TOUFFET J., 1996; ABDELGUERFI A. et LAOUAR M., 1996 et KADI HANIFI ACHOUR H, 2000) comme une espèce médiocre et de faible valeur énergétique (0.3 à 0.5 UF⁵/kg MS)

⁵ Unité Fourragère

L'alfa joue un rôle très important dans le maintien du sol et de sa protection contre le phénomène de l'érosion éolienne et les accumulations de sable au cours des périodes de sécheresses et de déficit hydrique du sol. La plus part des travaux de recherches réalisés dans la steppe ont confirmé la régression spectaculaire de l'alfa (NEDJRAOUI D., 1981; DJEBAILI S., 1984; LE HOUEROU H.N., 1995; AIDOUD A. et TOUFFET J., 1996; ABDELGUERFI et LAOUAR M., 1996; KADI HANIFI ACHOUR H, 2000; BENSAID et SMAHI Z., 2003). Pourtant l'alfa a pu résister à la fois à la pression anthropique et aux aléas climatiques. L'exploitation de l'alfa remonte à 1870 où furent expédiées 42000 tonnes vers l'Ecosse. Ainsi, dix ans plus tard l'exportation atteignait les 80000 tonnes et elle s'établissait autour de 110000 tonnes dans les années qui précédèrent la guerre (BLOTTIERE M.J. ND).

1.2.5.2. Steppe à armoise blanche : Chikh (*Artemisia herba alba*)

L'armoise 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 ou moins limoneux ou sur un sol argileux dans les fonds des dépressions non salées (BOUABELLAH H., 1991).

1.2.5.3. Steppe à spart (*Lygeum spartum*)

Le sparte est une espèce qualifiée de médiocre sur le plan pastoral comme l'alfa. Seules les jeunes pousses et ses inflorescences sont broutées par les ovins. Sa valeur énergétique (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.

1.2.5.4. 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 répondues sont : Atriplex halimus, Atriplex glauca, Suaeda fruticosa et Frankenia Thymifolia.

1.2.5.5. Steppe à psammophites

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 repartit également dans les dépressions salées. On distingue des steppes graminéennes à Aristida Pungens et Thymellaea Microphyla et des steppes arbustives à retama (raetam).

Chapitre 2 : CHANGEMENTS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET ANALYSE MULTICRITÈRE.

En vue d'élucider les actions anthropiques de la dégradation du sol et de l'ensablement dans la zone steppique, ce chapitre a pour objectif de poser quelques repères historiques et socio-économiques pour une meilleure compréhension de la société dans la steppe algérienne en général et, proposer une méthode d'analyse multicritères pour repérer spatialement les zones les plus vulnérables aux pressions de la population.

Pour ce faire, nous nous sommes basé sur :

- les travaux d'auteurs bien plus compétents que nous dans l'analyse du processus de la disparition du nomadisme et de l'évolution de la sédentarisation des pasteurs dans le temps et dans l'espace, notamment les travaux de (BOUKHOBZA M., 1982 et 1992);
- les données des 4 RGPH (Recensements Généraux de la population et de l'Habitat) et les principaux projets de développement de la région (la loi sur l'APFA, le PDAU);
- l'analyse multicritères basée sur une combinaison linéaire pondérée.

2.1. POPULATION

2.1.1. Un bref historique. Limitation de l'espace des transhumances et déséquilibre de la vie nomade

Loin de se résumer à une somme de mouvements dont les seules différenciations résulteraient de leur amplitude ou de leur objet (mouvement des troupeaux, mouvements de populations, activités commerciales), le nomadisme est surtout, un genre de vie, une "vision du monde" ayant ses particularités et sa propre logique.

Mise à part leur rôle de guerriers dans l'histoire, les nomades ont rarement fait l'objet de recherches anthropologiques ou socio-économiques de nature à les définir dans l'exercice de la production matérielle et culturelle à laquelle ils participent.

En limitant géographiquement les nomades à l'Algérie, selon de nombreuses estimations de la population, à la veille de la colonisation, la population nomade représentait les deux tiers du peuplement du pays. Cette population contrôlait et exploitait directement ou non la quasi-totalité du plat-pays.

L'image que donne BERQUES J., (1974) in : (BOUKHOBZA M., 1982) à propos de « *la vie bédouine qui s'insinue dans tous (les) membres de l'organisme maghrébin* » semble parfaitement refléter la situation de l'Algérie en ce premier tiers du 19^{ème} siècle.

En définissant les différentes populations par le degré de leur attachement au sol, PRENANT A., LACOSTE Y., et NOUCHI A., (1966) in : (BOUKHOBZA M., 1982), ont qualifié de

semi-sédentaires les habitants du littoral et de la frange Nord des Hautes plaines, de semi-nomades les pasteurs des Hautes plaines et de nomades ceux qui faisaient le va-et-vient entre le Nord et le Sud et dont l'activité essentielle était l'élevage.

C'est sans doute en raison de la grande mobilité des pasteurs et agro-pasteurs qu'est née l'illusion savamment entretenue par les promoteurs de la colonisation, selon laquelle l'Algérie était un pays en friche et quasiment vide, un pays sans maître. Cette idée de vide apparent a été utilisée comme l'une des armes les plus efficaces pour déposséder les tribus telliennes de la quasi-totalité de leurs terres (dépossession au profit de la colonisation pour des raisons de non culture). Etant le maître de tout cet espace, le nomade va incarner le principal obstacle au progrès de la colonisation, d'où la nécessité de le «*ligoter dans des liens administratifs*» (GAUTIER E. F., 1964) in : (BOUKHOBZA M., 1982) Sinon, le chasser pour se substituer à lui.

Durant la période précoloniale les nomades pratiquaient des déplacements à grande échelle entre le Sahara et le Tell. En été le déplacement se faisait du sud vers le nord à la recherche des meilleurs pâturages. Il s'agit de la célèbre Achaba. Les nomades passaient des accords avec les tribus du Tell pour l'utilisation des chaumes et d'autres pâturages. En hiver les nomades et agro-pasteurs se dirigeaient vers le sud jusqu'à Mzab et Timimoun en suivant les grands oueds issus des monts des Ksours pour s'approvisionner en dattes (Azib). Ces transhumances continues des troupeaux à la recherche des pâturages et des herbes du sud vers le nord caractérisent le plus, l'élevage Algérien. Les nomades pratiquaient ces déplacements pour des raisons à la fois climatiques et commerciales. Toutefois, en dehors des déplacements vers le nord (Achaba) et vers le sud (Azib), les transhumances des nomades sont difficiles à connaître, tant sont divers et mal connus les principes qui les régissent (GUILLERMOU Y., 1990).

Depuis des siècles les nomades pratiquaient ces transhumances pour exploiter d'une manière harmonieuse et rationnelle les richesses que leur offre la nature (sol et végétation). Pouvons-nous dire que les nomades connaissent bien les lois de la reconstitution assurée par la nature ? Nous pensons qu'au fil des temps les nomades ont acquis un certain savoir faire pour instaurer un équilibre agro-économique dépendant du travail de l'homme suivant la tendance des aléas climatiques. Effectivement, «*une reproduction déficitaire ou insuffisante conduit à un déséquilibre agro-économique qui trouve sa sanction immédiate et directement perceptible*

dans la dégradation du couvert végétal puis dans l'érosion des sols et enfin dans la désertisation. » (MONTCHAUSSE G., 1972).

Durant l'occupation, les colons occupaient jusqu'aux franges méridionales du Tell les terres de parcours. Ces terres ont été transformées en parcelles de céréalicultures de faible rendement. Ainsi, tous les principes socio-économiques de la société agro-pastorale ont été bouleversés et même détruits. De plus, les activités socio-économiques se sont gravement déséquilibrées après avoir eu la rupture des échanges entre le nord et le reste du pays. Cette occupation a eu des conséquences néfastes sur les tribus nomades. Ces dernières se trouvent dépossédées de leur pouvoir politique après avoir dépouillées d'une partie ou de la totalité de leurs moyens de productions (Terre et cheptel).

«...La colonisation du Tell a donné lieu à une dépossession aussi bien des éleveurs du nomadisme que des paysans. Les uns et les autres ont été contraints à se fixer sur les terres pauvres qu'ils ont soumises à une exploitation systématique et prolongée. La réduction des aires de pâturage au fur et à mesure des progrès de la colonisation a entraîné le recul dans le Tell de l'élevage nomade et sa disparition complète dès le début des années 20. Dès cette période le gros du nomadisme en Algérie a été éliminé » (BOUKHOBZA M., 1982).

Eu même temps, les différents découpages de l'espace, les scissions des tribus (notamment après l'insurrection du Cheikh Bou Amama et Ouled Sidi Cheikh) (COUDERC R., 1979) ont engendré un déséquilibre et une rupture de la vie sociale et économique des nomades. La communauté tribale a été cassée et les règles communautaires d'organisation se sont relâchées. Ainsi, l'exploitation du domaine steppique est devenue un champ libre de toute entrave pour tout le monde (CÔTE M., 1983).

Tous les facteurs ont été réunis (déplacements restreints des troupeaux, sédentarisation progressive, dissolution des biens collectifs) pour que les nomades quittent le mode de vie pastoral pour aller se sédentariser en premier lieu autour des centres urbains (Mécheria et Ainsefra).

2.1.2. Situation administrative. L'impact du découpage administratif sur la dégradation des parcours

Notre terrain d'étude correspond administrativement à la wilaya de Naâma. La wilaya de Naâma est issue du dernier découpage administratif institué par la loi 84-09 du 04 février

1984. Avant cette date, cet espace était lié administrativement à la wilaya de Saïda. La wilaya de Naama se compose de 7 daïras et de 12 communes.

Après l'indépendance en voulant instaurer une “*intégration, une homogénéisation et un encadrement adéquat pour l'ensemble des régions du pays*”, l'État algérien a procédé à plusieurs découpages administratifs.

La steppe sud-oranaise n'a pas été profondément touchée par le découpage de 1963. Toutefois, celui de 1985 a complètement remanié la steppe en créant deux nouvelles wilayas Naâma et El Beiadh auparavant liées à la wilaya de Saïda.

Ce découpage instauré sans concertation aucune et, sans tenir compte des réalités sociales, économiques et culturelles locales a engendré des incidences majeures au sein de populations qui étaient autrefois unies et issues de la même tribu. Nous citons à titre d'exemple le conflit antagoniste et irreductible qui régnait entre les deux centres urbains Mécheria et Ainsefra pour acquisir le statut de chef lieu de wilaya. L'État s'est obligé de modifier son projet de découpage initial en imposant une nouvelle solution territoriale : le choix de Naâma- la toute petite agglomération située presque au milieu de l'axe reliant les deux villes- comme chef lieu de la nouvelle wilaya créée.

Pour répondre à la question de l'impact des décisions politico-administratives sur la dégradation des parcours, de ce fait sur le déséquilibre environnemental dans cet espace, deux volets peuvent être évoqués :

1. Le premier concerne la hiérarchie de l'armature spatiale. Sur le plan spatial l'Etat a fait passer les agropasteurs et les éleveurs d'un système de grande dimension basé sur les limites tribales à un système fermé et fractionné en unités administratives dirigées par les “pouvoirs” locaux.
2. Le second concerne l'aspect fonctionnel de la vie pratique des habitants. Sur le plan fonctionnel l'application et la mise en œuvre du découpage n'a pas été toujours facile. Les “pouvoirs” locaux ont subi des contraintes d'ordre social. Les populations ont toujours nié ces limites administratives et gardent dans leur esprit les pratiques de leurs ancêtres et les relations qu'ils entretenaient avec d'autres espaces.

Même si « *C'est la commune qui est tenue d'initier toutes actions et toutes mesures propres à favoriser et impulser le développement d'activités économiques en relations avec sa vocation*

et ses potentialités.» (Loi n° 90-08 relative à la commune); les communes restent étroitement liées à leurs chef lieu de wilaya. Les pouvoirs locaux ont dû mal à gérer leurs espaces, à promouvoir le développement et à assurer le bon déroulement de leurs missions.

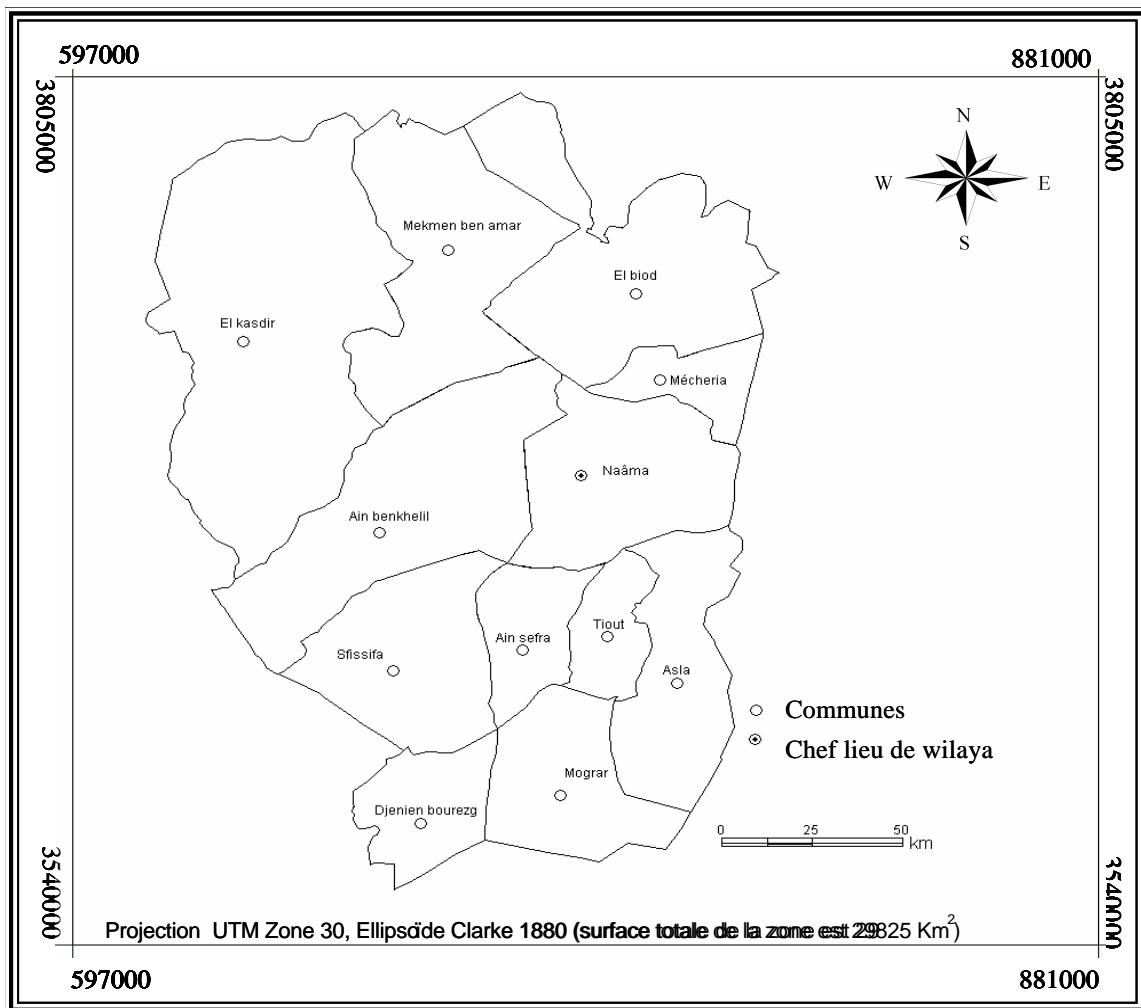


Figure 13 : Découpage administratif de la wilaya de Naâma.

Le découpage administratif de 1984 a fait ressortir des communes inégales en matière de superficie et de population.

Les élus de certaines communes dont la superficie est importante (de ce fait, les parcours sont importants et la population est réduite) ont dû mal à maîtriser l'étendue de leur territoire communal et à effectuer le contrôle de leurs parcours investis par le cheptel des autres communes ou d'autres régions. La commune de Kasdir, dont la superficie est 08 fois plus grande que celle de Mécheria, présente une population 08 fois moindre que la population de la commune de Mécheria.

2.1.3. Situation démographique

2.1.3.1. L'évolution de la population

Pour l'immensité de l'espace, la rigueur du climat et d'autres contraintes naturelles, la région steppique de la wilaya de Naâma ne présente pas un milieu naturel favorable à un peuplement dense.

À la fin de l'année 2003 la wilaya de Naâma comptait 184 900 habitants¹.

	1966	1977	1987	1998	Taux accroiss (%) (1966-1977)	Taux Accroiss(%) (1977-1987)	Taux Accroiss(%) (1987-1998)
POP Agglomérée	23827	47946	83967	114837	6.56	5.76	2.89
POPéparse et Nomades	38678	34101	29733	47958	-1.14	-1.36	4.44
Population Totale	62505	82047	113700	164894	2.5	3.32	3.44

Source : RGPH 1966, 1977

Tableau : 13 : Évolution de la population sédentaire et nomade dans la wilaya de Naâma.

Durant la période entre les RGPH 1966 et 1977 la population totale de la wilaya (des communes) s'est accrue à un taux annuel moyen de 2.5%. Ce taux reste faible par rapport au taux d'accroissement annuel moyen national qui était de l'ordre de 3.21%. Cette faible tendance à l'accroissement dans cette zone au cours de cette période est expliquée par le fait que cette région était marginalisée et défavorisée à l'encontre des autres wilayas du nord du pays. Une marginalisation qui est à l'origine des migrations de la population à la recherche de meilleures conditions de vie.

Entre les RGPH de 1977 et 1987 la population s'est accrue à un taux d'accroissement annuel moyen de 3.32%. Durant cette période le taux d'accroissement est légèrement supérieur au taux d'accroissement annuel moyen de la population nationale qui était de l'ordre de 3.08%. Toutefois, nous considérons que ce taux d'accroissement reste faible si nous prenons en compte la création d'une nouvelle entité administrative en 1984, la Wilaya de Naâma. Cette structure administrative- par ces structures, ces équipements et son budget-, a sans doute pu créer des moyens considérables (emploi, mise en œuvre de programmes gouvernementaux

1. Estimation Département de Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPAT), wilaya de Naâma.

spécifiques) dont les retombées sur les populations de la région ne peuvent être que bénéfiques.

Entre les RGPH de 1987 et 1998 : le taux d'accroissement annuel moyen de la population reste stable par rapport à la période précédente (3.44%). Toutefois, le taux d'accroissement annuel moyen de la population nationale est inférieur par rapport aux autres périodes précédentes. Il est de l'ordre de 2.09%.

L'évolution quantitative de la population durant les trois périodes reste faible par rapport à la dimension spatiale de la zone (92% de la superficie totale de la Belgique). Cette évolution ne présente pas une singularité particulière par rapport aux autres régions de la steppe algérienne. Pour une meilleure approche, l'étude de l'évolution de la population par dispersion géographique s'avère indispensable.

2.1.3.2. Sédentarisation et regroupement de la population.

Le regroupement de la population autour des centres urbains avait commencé au moment de l'occupation française. Et depuis nous assistons à une réduction de l'effectif de la population nomade.

Le regroupement d'une grande partie de la population nomade fût réalisé au cours de la guerre de libération nationale (1954-1962). En 1957, près du tiers du pâturage de la région était inexploitable après édification d'un barrage miné et électrifié le long de la bande frontalière Marocaine. De plus, tous les nomades furent regroupés auprès des centres urbains. Selon (COUDERC R., 1975) dans l'arrondissement de Mécheria 15 regroupements furent réalisés de 2000 habitants environ chacun. A cet effet, les grands centres urbains enflèrent. De 1848 à 1960 la population de Mécheria passa de 5121 à 11848.

Le regroupement effectué par l'armée française a touché près de 400 000 personnes dans les régions steppiques, soit l'écrasante majorité de la population (CORNATON, 1967) in : (GUILLERMOU Y., 1990).

L'analyse des données des recensements de 1966, 1977, 1987 et 1998 indique une tendance à l'agglomération de la population.

En 1966, la population agglomérée qui représentait 38% de la population totale de l'ensemble des communes de la wilaya et passée à 58% en 1977, puis à 74% en 1987, pour se stabiliser, pratiquement à 72% environ par la suite.

Une tendance à l'agglomération, particulièrement dans les deux centres de Mécheria et Ainsefra : plus de 60% de la population totale y réside sur une superficie n'excédant pas 7% de la superficie totale de la wilaya.

	Pop. urbaine 1966	Pop. urbaine. 1977	Tx accoi 77/66 (% an)	Pop.urb. 1987	Tx accroï 87/77 (%/an)	Pop. Urb. 1998	Tx accroï 98/87 (%/an)
Mécheria	11781	21295	6.09	39145	6.27	52159	2.91
Ainsefra	8 426	14786	5.78	23799	4.87	33600	3.50
Naâma	968	997	0.29	2374	9.06	6991	11.4
Pop. urbaine	21175	37078	5.76	65318	5.82	92750	3.56

Source : armature urbaine ONS 1987, 1998.

Tableau 14 : Évolution de la population urbaine, 1966-1998.

Selon les données des RGPH, la population nomade passe de 61.8% en 1966 à 20% en 1987 (Cf. Tableau 15). L'évolution reste stable pour la dernière période du recensement de 1998.

Périodes	1966		1977		1987		1998	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
Population Nomade	38678	61.90	34101	41.60	22853	20.00	33319	20.20

Source : ONS 1966, 1977, 1987 et 1998.

Tableau 15 : Évolution de la population nomade dans la wilaya de Naâma entre 1966 et 1998.

La sédentarisation des nomades autour des centres urbains, la réduction des aires de parcours et la sédentarisation du cheptel sur place a engendré des conséquences néfastes sur la végétation steppique.

2.1.3.3. La répartition spatiale de la population

La répartition spatiale de la population sur l'ensemble de la wilaya n'est évidemment pas homogène. Mécheria (54627 habitants y compris les nomades avec une densité de 70 hab./km²) et Ainsefra (36577 habitants y compris les nomades avec une densité de 33 hab./km²) regroupent plus de 56% de la population totale sur une superficie inférieure à 7%

de la superficie totale de la wilaya, alors que la densité de population dans le reste des communes est extrêmement faible. Plusieurs communes ont des densités de 1 à 4 hab./km².

La répartition spatiale de la population dans la région de Naâma présente deux sous-ensembles régionaux distincts :

1. un espace qui se singularise par une tendance à l'agglomération dans les deux communes de Mécheria et Ainsefra. Ainsi, l'espace occupé est relativement développé où se trouvent concentrés :
 - les principales infrastructures de communication : routes nationales RN6 et la RN22, le chemin de fer, télécommunications et aérodrome de Mécheria;
 - les services sociaux : centres de santé, écoles, cliniques etc;
 - les services spécialisés : banques, assurances, coopératives agro-pastorales, etc
2. le reste de la région (excepté la commune de Naâma) constitué par le monde rural, peu peuplé et marginalisé, souffre de nombreux dysfonctionnements.
 - l'absence d'activité économique de services pour résorber un chômage chronique qui touche en plus grande partie les jeunes (taux de chômage de l'ordre de 17%);
 - les voies de communication sont dégradées et l'accessibilité à des zones agricoles s'avère difficile;
 - une économie basée sur l'élevage extensif ovin et l'agriculture céréalière, largement pénalisée par les conditions climatiques;
 - et une dégradation des ressources naturelles (sol végétation) par l'avancée du sable.

En 1966 la plus part des communes abritaient plus de 70% de population nomade. Lors du recensement de 1998 en compte seulement une commune de plus de 70% de la population nomade, il s'agit de la commune Kasdir.

Ce sont les communes frontalières et les communes loin des axes de communication qui ont le plus préservé la vie nomade.

2.1.3.4. Évolution de la population dans la zone éparses

En terme de dispersion géographique, la wilaya de Nâama comprend 12 Agglomérations Chef Lieux de communes (ACL), 3 Agglomérations Secondaires (AS) et la Zone Eparse (ZE) entre les différentes agglomérations.

L'évolution la plus importante de la population entre les différents RGPH concerne la zone éparse. Cette dernière a connu un accroissement phénoménal avec un taux d'accroissement annuel moyen de 7.10%. Sa population a été multipliée par 2.13 depuis 1987.

Cette évolution ne peut être expliquée que par le fait que la plus grande partie des nomades traditionnels sédentarisés ont préféré se fixer loin de la ville en zone éparse.

Parfois des pasteurs sans terres s'installent en zone éparse contre leur gré. Cela est dû :

- à l'incapacité de l'économie urbaine à faire face à la demande d'emploi et à répondre aux besoins élémentaires des nomades obligés à se fixer ;
- les difficultés, voire la crainte, qu'éprouvent ces anciens nomades à s'insérer dans un système de relations strictement citadines auquel ils sont soumis malgré eux depuis déjà fort longtemps et l'espoir sans cesse réellement de reconstituer une partie du troupeau perdu (pour se rehausser à leurs propres yeux et aux yeux des autres à la hauteur des anciens pasteurs sédentarisés ayant bénéficié de meilleures conditions d'installation) limitent forcément l'attrait de la ville;
- l'étrangeté des nouvelles relations villes-nomades, étrangeté reflétée par le comportement des éleveurs qui, ayant perdu terre et troupeau, choisissent l'isolement et se fixent à l'extérieur des agglomérations urbaines ou semi-urbaines.

Effectif dispersion	Nombre en 1987	(%)	Nombre en 1998	(%)	Indice = 100 en 1987 Évolution 1987/1998
ACL	80375	70.70	114837	69.6	143
AS	3592	3.15	2099	1.27	58
ZE	6880	6.05	14639	8.87	212.70
Nomades	22853	20.10	33319	20.20	146.00
Total wilaya	113700		164894		145

Source : RGPH de 1998

Tableau 16 : Répartition de la population par dispersion entre 1987 et 1998 dans la wilaya de Naâma.

Lors des RGPH 1987 et 1998, la population nomade a augmenté tout en gardant le même pourcentage par rapport à la population totale des communes de la wilaya. C'est la population de la zone éparse qui a le plus augmenté.

Communes	Population éparsse 1987	Population éparsse 1998	Taux d'accroissement de la population éparsse entre 87-98
Ain Ben Khelil	343	934	9.53
Ain Sefra	1152	1364	1.55
Asla	1047	1157	0.91
Djenien Bourezg	220	327	3.67
Elbiodh	229	1018	14.53
Kasdir	895	679	-2.48
Mecheria	218	767	12.12
Meckmen Ben Amar	800	148	-14.22
Moghrar	462	652	3.18
Naama	815	1261	4.05
Sfissifa	703	1249	5.36
Tiout	788	850	0.69

Source : RGPH de 1987 et 1998

Tableau 17 : Taux d'accroissement de la population éparses des communes de la wilaya de Naâma entre 1987 et 1998.

L'accroissement de la population éparses n'est pas la même dans l'ensemble des communes de la wilaya. El Biodh et Mechria ont enregistré des taux 14.53% et 12.12%, tandis que Meckmen Ben Amar a perdu de la population en zone éparses (avec un taux de -14.22%).

Sédentarisés les anciens nomades continuent leurs pratiques agropastorales. De nombreuses parcelles ont été défrichées pour pratiquer une céréaliculture ou/et une culture fourragère et subvenir aux besoins alimentaires des hommes et des troupeaux.

Avec les sécheresses et tout en sachant que les rendements peuvent être médiocres, les agropasteurs continuent à cultiver. Si l'année s'avère bonne ils profitent de quelques quantaux de blé ou d'orge et si l'année est déclarée mauvaise, ils laissent paître leurs troupeaux sur ces terrains cultivés. Toutes ces pratiques ont des conséquences néfastes sur les ressources naturelles du milieu steppique fragile. Ainsi, ces dernières années on assiste à une dégradation alarmante de la steppe et dans des endroits irréversible.

2.2. ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES. L'AGRICULTURE ET L'AGROPASTORALISME

Sur le plan des activités économiques dans la wilaya de Naâma, ces dernières années, le secteur primaire a connu un recul important face au secteur du tertiaire.

Entre les RGPH de 1966 et 1977, 78% des occupées étaient dans le secteur primaire, suivi de loin par le secteur tertiaire avec 14% des occupés.

Entre les RGPH de 1977 et 1987, on assistait à la croissance remarquable du tertiaire et la chute du secteur primaire.

La diminution des occupés du secteur primaire est expliquée par les sécheresses qui sévissaient depuis les années 1970 et les problèmes qu'a connu le monde pastoral.

De nombreux projets pour la restructuration et la réhabilitation de la steppe Algérienne (Code pastoral, la révolution agraire en 1974, Programme spécial wilaya : PSW) -qui ont vu le jour au cours de cette décennie (1977-1987)- ont attiré une partie de la population au secteur primaire.

La dernière décennie entre les RGPH 1987 et 1998 est marquée par le retour du secteur primaire et une croissance du secteur tertiaire.

Toutefois, le taux de chômage représente plus de 20% de la population active sur toutes les communes de la wilaya.

L'agence locale de l'emploi a enregistré une demande de 11360 postes de travail au 31 décembre 2004, or l'offre n'a pas dépassé les 15725 emplois entre emploi permanent et temporaire pour une période de 20 ans (1984-2004) (**WILAYA DE NAÂMA, 2004**).

Pour pallier les différents problèmes des communes steppiques défavorisées, les décideurs ont choisi de relancer le secteur de l'agriculture afin :

- d'assurer l'autosuffisance alimentaire du cheptel;
- de relancer l'activité agricole en déclin et en nette récession;
- de créer des postes d'emplois aux jeunes afin de résorber le chômage;
- de freiner l'émigration intra-région et inter-région et de fixer la population.

secteurs d'activités	Nombre en 1998	%	Nombre en 2005	%
Agriculture	9480	29,44	11004	28,23
BTP	6365	19,77	7539	19,34
Industrie	1040	3,23	1169	3,00
Service	2409	7,48	4530	11,62
Administration	8234	25,57	8236	21,13
Autres secteurs	4668	14,50	6500	16,68
Total	32196	100	38978	100

Source DPAT.

Tableau 18 : Répartition des occupés par secteur d'activité.

2.2.1. L'agriculture dans les hautes plaines sud-ouest oranaises

Les terres steppiques de la région de Naâma sont beaucoup plus destinées au pastoralisme qu'à l'agriculture en sec ou en irrigué. D'ailleurs, DAGET P.H. et GORDON M., (1995) l'ont confirmé « *Le pastoralisme en tant qu'activité est le moyen le plus efficace pour utiliser les ressources sur les terres sèches ou marginales. En temps normal, les pasteurs nomades sont souvent mieux nantis que les agriculteurs sédentaires. Ils peuvent déplacer leurs bêtes pour suivre les pluies ou les conduire aux pâturages saisonniers établis. Mais ils sont souvent les premières victimes du stress environnemental prolongé, par exemple la sécheresse* ».

Vu l'état de dégradation de l'écosystème steppique ces dernières années, les parcours ne peuvent plus assurer une production fourragère suffisante pour satisfaire les besoins de la population à l'échelle nationale dans la production de la viande rouge.

La steppe qui ne devrait plus nourrir que 2 millions de brebis en accueille cinq fois plus : le parcours n'assurerait plus que 10 % des besoins du cheptel recensé (ABDELGUERFI A. et LAOUAR M., 1996). Face à cette situation les agropasteurs ont eu recours à la complémentation en défrichant de plus en plus des terres de parcours pour subvenir aux besoins de leur troupeau. Ce qui accentue l'état de dégradation de l'écosystème steppique.

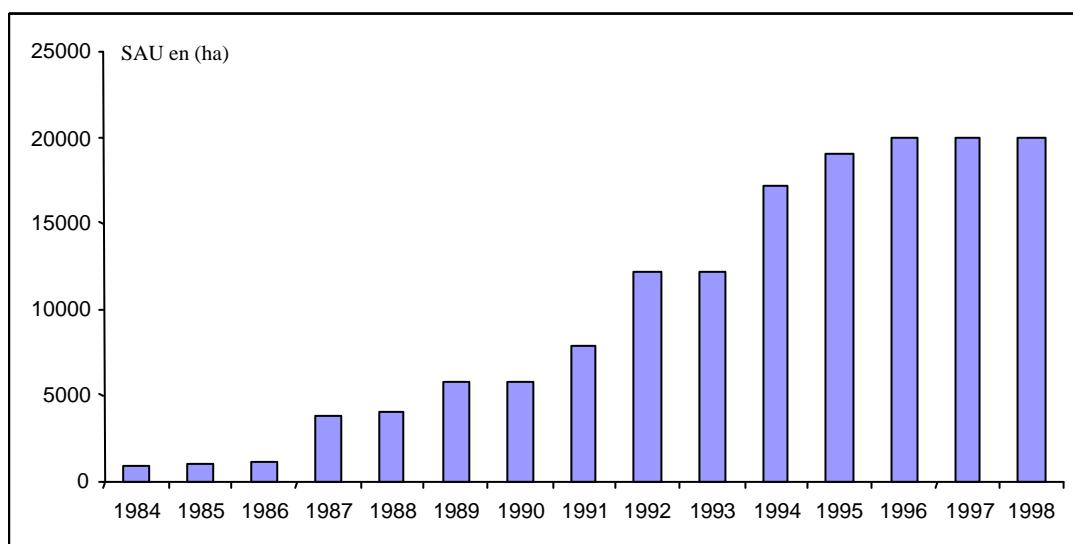
2.2.1.1. La Surface Agricole Utile (SAU)

La Surface Agricole Utile (SAU) représente 0.7% de la surface totale de la région. Depuis 1990 jusqu'en 2002 la SAU a enregistré une hausse de 20000 hectares, soit 1667 hectares par an. La hausse de la SAU est due essentiellement à la mise en valeurs des terres de parcours initiée dans le cadre de la loi de L'APFA (Accession à la propriété Foncière) suite à la progression des sédentarisations et des semi-sédentarisations.

Il est important de noter que le chiffre de la SAU déclaré par la Direction des Services Agricoles de la wilaya est sous estimé, car les populations pratiquent de façon illégale les défrichements et les labours de terrasses, de glacis et des dayas au détriment des parcours steppiques.

Une grande partie des terres mises en valeurs se localise dans la commune de Ain Benkhelile. Cette commune occupe une position centrale dans l'espace Mécheria Naâma et une position d'épicentre dans l'espace Sfissifa, Forthassa et Mekmene Ben Amar. Elle dispose des ressources hydriques non négligeables qui permettent le développement des périmètres irrigués.

À l'échelle de la wilaya, la SAU a connu une progression plus ou moins régulière. La figure 14 illustre que dans cette région les surfaces cultivées ont connu une nette progression à partir de l'année 1984. Date à laquelle les collectivités locales de la wilaya ont procédé à l'application de la loi 83-13 du 13 août 1983 portant sur l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA).



Source : DSA de La wilaya de Naâma

Figure 14 : Évolution de la SAU (en ha) de la wilaya de Naâma.

Les contraintes naturelles ainsi que l'aridité du climat font que l'agriculture en sec occupe la plus grande partie de la SAU. Les cultures herbacées viennent en premier lieu avec un pourcentage de 64% de la SAU, les vignes et les plantations n'occupent que 4% de la SAU, plus du tiers de la SAU sont des terres en repos.

Spéculations	Superficies en (ha)	Superficies en (%)
Cultures Herbacées	12515	64.3
Terres au repos	6095	31.3
vignes	101	0.5
Plantations	759	3.9
Total	19470	100

Source : DSA, 1999

Tableau 19 : Répartition de la SAU, 1999.

La surface irriguée ne représente que 15% de la SAU. 44% des terres irriguées sont destinées à la production des maraîchages et 29% sont utilisées dans la production des fourrages et des céréales. La céréale et le fourrage vont être utilisés comme aliment de complément pour le bétail. L'arboriculture, culture introduite représente 24% et 3% sont affectées à la vigne.

Spéculations	Superficies en (ha)	Superficies en (%)
Céréales	435	14.10
Maraîchages	1351	43.7
Fourrages	458	14.8
Cultures fruitières	760	24.6
Vignes	86	2.80
Total	3090	100

Source : DSA, 1999

Tableau 20 : Surfaces des cultures irriguées, 1999.

La faible proportion de la surface irriguée confirme le caractère extensif de l'agriculture en sec dans cette région. Bien que les rendements obtenus sur les terres labourées (7 quintaux par hectare²) soient faibles, l'extension des labours ne cesse de s'étendre de façon alarmante, en conséquence cela ne fait qu'augmenter les risques de dégradation des parcours steppiques.

² Données statistique de l'année 2001 fournies par la Direction des Services Agricoles de la wilaya de Naâma.

La pratique de l'agriculture avec des techniques inadaptées au milieu, déjà fragilisé par les actions conjuguées des aléas climatiques et des phénomènes anthropiques, renforcent de ce fait le risque de dégradation.

2.2.1.2. *Mise en valeurs des terres par l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (A.P.F.A)*

La loi 83-13 du 13 août 1983 portant sur l'Accession à la Propriété Foncière Agricole APFA ouvre droit à «*toute personne physique jouissant de droit civiques ou toute personne morale de statut coopératif, de nationalité Algérienne, peut acquérir des terres agricoles ou à vocation agricole dans les conditions fixées par la loi; moyennant le dinar symbolique, les candidats doivent fournir des dossiers aux services compétents*» (JOURNAL OFFICIEL N°83-13, 1983).

À ce titre, cette loi a ouvert des possibilités d'investissement et d'exploitation des terres arch³, à tous les citoyens y compris, les détenteurs de fonds et de capitaux urbains complètement étrangers à la steppe. BEDRANI S., (1993) et CHASSANY J.P., (1994) in : (BOURBOUSE A., 2000) considèrent que «*C'est une appropriation officielle des terres du domaine public, mais qui s'inscrit dans un climat hostile et dont les résultats sont très décevants : investissements inadaptés, systèmes non durables, etc... ».*

L'accès à la propriété foncière agricole (APFA) oblige les bénéficiaires à travailler et mettre en valeur leurs parcelles agricoles au bout de cinq années moyennant le dinar symbolique. En premier lieu, le bénéficiaire recevait deux arrêtés de cession, le premier l'autorise à faire des travaux de mise en valeur et comporte une condition résolutoire. Le second permet de lever la condition résolutoire et procéder au transfert de propriété après un constat positif de la mise en valeur de la terre après cinq années de travail. Toutefois, si le constat est jugé négatif un arrêté est établi pour annuler l'accès à la propriété.

Depuis octobre 1984 l'APFA est exécutée dans la wilaya de Naâma. Les attributions des terres ont été opérées soit à l'initiative des collectivités locales au sein des périmètres, soit à l'initiative des candidats hors périmètres.

³ *terres arch*, terres anciennement collectives de statut à présent domanial depuis la révolution agraire, mais qui restent fortement revendiquées par les ayants droits d'origine.

Depuis 1984, 21 055 hectares ont été attribués dont 7 537 hectares seulement sont mis en valeur pour 6300 bénéficiaires. Les terrains attribués hors périmètres représentaient 90% des terres affectées à l'APFA, les superficies mises en valeurs atteignaient 6653 hectares au profit de 5666 bénéficiaires. Les périmètres ont mobilisé une superficie de 1445 hectares pour 884 hectares mis en valeurs seulement au profit de 634 bénéficiaires (WILAYA DE NAÂMA, 2004).

Il est à noter que dans la région seulement 36% des terres attribuées dans le cadre de l'APFA ont été mises en valeur. Ce taux ne représente même pas la moitié de la superficie accordée à l'APFA. Ce faible taux s'explique selon les responsables de la wilaya de Naâma par :

- l'insuffisance de la ressource hydrique mobilisée dans le cadre de l'APFA;
- l'absence des études hydrogéologiques;
- l'absence du soutien financier des jeunes agriculteurs après leur insertion professionnelle suite à la loi 90-143 du 22 mai 1990;
- le manque de main d'œuvre qualifiée;
- la mauvaise foi de certains bénéficiaires dont le souci est l'octroi de l'arrêté de cession supposé donner droit à la propriété de la parcelle;
- l'éloignement des zones agricoles par rapport aux lieux de résidence des bénéficiaires;
- et l'augmentation des frais de l'électricité et du gasoil pour le pompage de l'eau.

Durant cette opération plusieurs superficies de parcours ont été défrichées et défoncées (défonçage de la croûte calcaire) pour les mettre en cultures (Cf. Photo 1).



Photo 1 : Défonçage de la croûte calcaire dans une zone située à l'est de Mécheria.

Il est vrai que l'APFA a engendré une demande considérable de main d'œuvre saisonnière et temporaire dans le secteur agricole. 6300 emplois ont été créés pour une superficie de 21055 hectares, soit 18% de la population active de 1987.

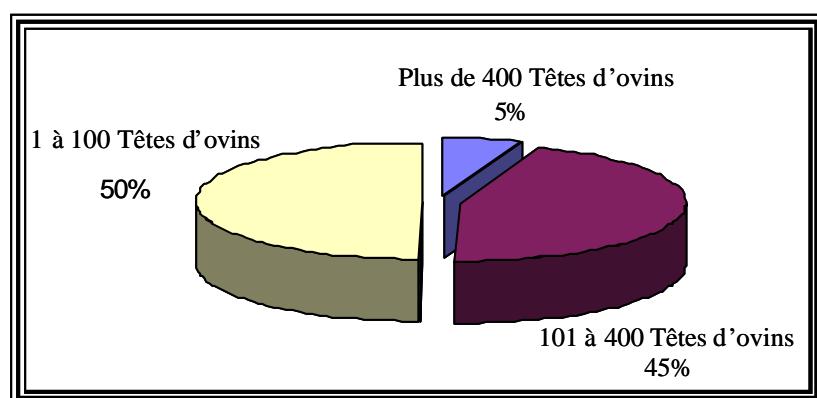
Même si le taux de chômage a baissé, l'APFA est-elle une politique ou une stratégie de développement durable ? Est-ce que les collectivités locales ont pris au sérieux toutes les contraintes naturelles -ensablement, disponibilité des eaux souterraines- qui pouvaient limiter la réussite de l'opération ? Des éléments de réponse seront donnés dans les chapitres 3 et 4.

2.2.2. L'agropastoralisme et utilisation de l'espace

La sédentarisation des nomades, le développement des activités tertiaires et secondaires et les moyens mis en œuvre par l'État pour la dynamisation des régions steppiques, n'ont pas fait disparaître pour autant l'activité pastorale et plus particulièrement l'élevage ovin. Ce dernier reste même la principale ressource économique de la wilaya.

Dans la wilaya de Naâma l'activité pastorale est dominante. En 1998, le cheptel ovin représente 92.3% de l'effectif total du cheptel de la wilaya. Le plus grand nombre de têtes est détenu par la classe des petits éleveurs (1 à 100 têtes), la classe des gros éleveurs ne détient que 5% de l'effectif total (Cf. Figure 15). Ces gros éleveurs contrôlent également les circuits de commercialisation des produits de l'élevage et de l'agriculture (TAIBI A.N., 1997).

Les petits éleveurs se sont sédentarisés faute de ne pouvoir subvenir aux besoins de leurs troupeaux.



Source : D.S.A de la wilaya de Naâma, 1998.

Figure 15 : Distribution du cheptel ovin selon le mode d'appropriation chez les agropasteurs de la wilaya de Naâma, 1998.

Cependant, nous assistons ces dernières décennies à des modifications profondes dans les modalités d'élevage pratiquées par les éleveurs.

2.2.2.1. Les systèmes d'élevage

Des mutations profondes ont touché les systèmes d'élevage sur plusieurs aspects :

A. la régression des organisations coutumières et le développement des inégalités sociales :

Nous assistons au développement de l'individualisme et à l'inégalité sociale. *Le sens du collectivisme de tribu et du collectivisme familial fait place de plus en plus à un courant d'individualisme égoïste qui réduit la coopération à mesure pourtant qu'elle s'avère nécessaire.»* (COUDERC R., 1975). Sur les terres de parcours collectifs, le système d'organisation est basé actuellement sur la loi du plus fort. Les gros éleveurs utilisent tous les moyens (camions, citernes mobiles, campement en altitude et annexion de parcours, etc.). Ce qui fait émerger de ces communautés, «*une classe d'individus puissants dont les intérêts se tournent vers l'extérieur et qui ne voient dans les règles coutumières qu'un frein à leur expansion. »* (BESSAOUD *et al.*, 2000).

B. Une mobilité restreinte et un redécoupage de l'espace pastoral :

Comme l'Achaba a été presque détruite au cours de la colonisation et impossible après l'indépendance, il existe toujours du déplacement inégal relativement limité.

Les semi-nomades pratiquaient le pastoralisme non loin des agglomérations et à proximité des surfaces de cultures et des points d'eaux aménagés par les pouvoirs locaux. Les déplacements saisonniers des troupeaux vers les pâturages sont réduits et obéissent à des règles et des considérations économiques.

Actuellement les déplacements des éleveurs ont changé de nature. La motorisation par camion Gak a bouleversé l'espace pastoral.

Dans son article, KHALDOUN A., (2000) a montré comment des éleveurs de la région sud de Tlemcen⁴ (Ouled Nhar, Cheraga, Gheraba) et Hmyan de Mécheria amenaient leurs troupeaux en camions à des endroits les plus propices aux pastoralismes. Avec ces moyens de locomotion aucune zone n'est épargnée de l'exploitation excessive par les éleveurs.

Même les endroits dépourvus de points d'eaux sont exploités, les éleveurs emportent avec eux des citernes sur les camions pour l'abreuvement du bétail. La motorisation a engendré des conséquences de dégradation et son extension sur des grandes zones loin des agglomérations.

⁴ zone située au nord ouest de la wilaya de Naâma

Plus grave encore, en plus du pâturage quotidien, dans leurs déplacements les éleveurs ramassent, voir arrachent les plantes fourragères pour les vendre en ville.

Lors de nos enquêtes de terrain en décembre 2004, nous nous sommes entretenus avec les éleveurs de la région de Mécheria et de Naâma. Ces derniers nous ont expliqué que certes, l'État a équipé chaque commune de points d'eaux pour l'abreuvement des cheptels mais, l'accès à ces points d'eau reste gratuit pour ceux qui disposent dans leurs camions d'une pompe gasoil pour pomper l'eau sinon, les autres éleveurs sont obligés d'acheter des bacs de gasoils (c'est le cas dans la commune de Sfissifa, le prix du gasoil est de 15 DA le litre) pour s'approvisionner en eau. Il est important de signaler qu'excepté les grandes agglomérations situées le long de l'axe routier R.N.6 il n'existe aucune station d'essence dans certaines communes.

En ce qui concerne l'arrachage des plantes, ces éleveurs nous ont confirmé cette pratique dangereuse. Pourtant, les éleveurs sont bien conscients que l'alfa n'est une graminacée qui ne se régénère pas après son arrachage. Malgré cela, ils l'arrachent et la préparent avec leurs savoirs faire pour la vendre dans les souks hebdomadaires dans les grandes agglomérations comme complément pour le bétail. Le ramassage devient une activité très lucrative. Ces pratiques sont interdites dans le code pastoral, mais qui protège la steppe dont le statut juridique reste flou jusqu'à présent ?

Ce qui fait que, grâce aux moyens mis en œuvre, une minorité d'éleveurs est favorisée pour s'assurer une puissance économique et sociale considérable. Ces éleveurs ne cessent d'augmenter le nombre de leurs cheptels qui exercent une surcharge pastorale sur le milieu naturel sans se soucier de sa dégradation.

Pouvons nous dire, que les moyens mis en œuvre par l'État sans études sérieuses et approfondies impliquant les populations concernées du monde pastoral, ont contribué à la dégradation des parcours et a fragilisé encore plus un milieu naturel déjà fragile ?

Pourtant, le code pastoral de la révolution agraire prévoit une redistribution « *juste et efficace* » des principaux moyens de productions agricoles sur l'ensemble du territoire national. Pour une gestion harmonieuse et efficace de la steppe, ce code incite les différents pasteurs à acquérir auprès de leur commune une carte qui précise les zones où ils sont admis à conduire leur troupeau.

Mais, cette manière de gestion oblige les gros éleveurs à réduire le nombre de troupeau. Ce qui n'est pas dans leur intérêt immédiat.

Au printemps de 1976, les gros éleveurs ont organisé une longue grève, ils ont arrêté d'approvisionner les abattoirs des grandes villes (Alger, Oran, Annaba, etc.) en viandes rouges. A cet effet, la révolution agraire n'a pas eu lieu et la remise en cause dans les années quatre-vingt entraîne l'abandon de sa troisième phase pastorale (GUILLERMOU Y., 1990).

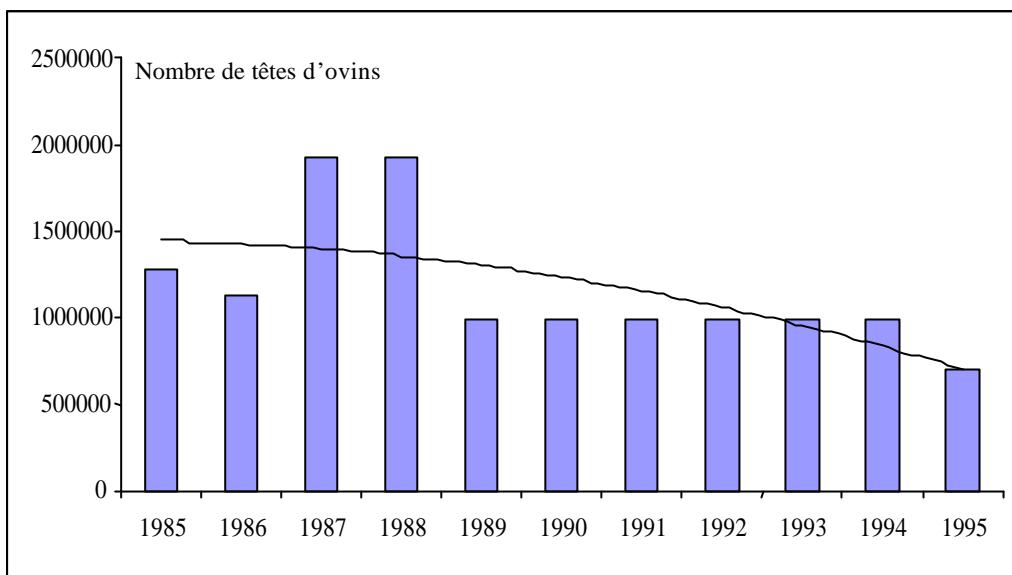
C. Nouvelles stratégies d'élevages. Le recours à la complémentarité :

Les espaces les plus défavorables à l'agriculture en sec ne permettent pas la complémentarité suffisante en denrée alimentaire (orge et le blé) pour le bétail en pleine croissance. Cet état de fait oblige les agropasteurs à trouver d'autres moyens pour s'assurer en cas de disette. La plus part du temps les agropasteurs ont recours à la complémentarité. Cette pratique s'est étendue à tous les éleveurs mais reste commandée par le rapport de prix kg vif de viande/ kg d'orge qui varie de 15 à 20 (BESSAOUD O. *et al.*, 2000).

D. Introduction des bovins :

Ces dernières années, suite à l'analyse des données statistiques, nous avons constaté une décroissance du cheptel ovin. En 1987 on comptait 1 922 270 ovins contre 821 850 en 1998. Toutefois, l'élevage bovin connaît une croissance positive de l'ordre de 29.6%. Le nombre de bovins est passé de 8940 à en 1990 à 35400 en 1999.

La régression du cheptel ovin et la croissance du bovin sont expliquées par le fait, qu'une partie des éleveurs ont substitué leurs cheptels ovins par des bovins (Cf. Figure 16). Cette pratique est tout à fait nouvelle dans cette région et d'ailleurs dans toute la zone steppique «pays du mouton». Selon la TAD, (2000) l'évolution des bovins s'explique par les aides et l'effort de l'Etat dans l'investissement et l'importation de fourrage de complément et de race bovine afin de développer l'élevage bovin. Cette pratique semble bien convenir à certains éleveurs sédentaires pour tirer plus de profit (lait, viande, défaut de gardiennage).



Source : Le ministère de l'agriculture (1995)

Figure 16 : Évolution du cheptel ovin dans la wilaya de Naâma de 1985 à 1995.

2.2.2.2. Les parcours steppiques

Les pacages et les parcours steppiques de la zone d'étude couvrent une superficie estimée à 2 550 348 hectares, soit 86% de la surface totale wilaya. Auparavant, Ils caractérisaient la principale ressource fourragère pour l'alimentation des cheptels ovins et caprins. Plusieurs auteurs (Le HOUÉROU H.N., 1985; MELZI S., 1993; AIDOUD A., 1994 et BEDRAN I S., 1995) in : (ABDELGUERFI A. et LAOUAR M., 2000) affirment que les ressources naturelles des parcours ont baissé. Actuellement ces surfaces de parcours n'assurent même pas les 10% du besoin énergétique du cheptel.

Dans le passé l'exploitation des parcours était focalisée uniquement sur les espèces les plus développées et le cheptel partitionné en plusieurs unités pour éviter la concentration d'un nombre important au même endroit. Cet équilibre entre les anciens nomades et la steppe a été rompu. Actuellement, nous assistons à une exploitation irrationnelle qui s'exerce sur un grand nombre d'espèces steppiques, même les racines des graminées et des ligneux sont exploitées.

Lors de nos enquêtes de terrain, des agropasteurs nous ont confirmé les pratiques illégales et interdites par le code pastoral de 1975 concernant l'arrachage de l'alfa et des ligneuses qui sont devenues courantes et de plus en plus lucratives.

Ces pratiques amènent une dégradation souvent totale du couvert végétal sous forme d'auréoles qui s'étendent au fur et à mesure que la végétation steppique se raréfie.

À cela s'ajoute l'extension anarchique de la céréaliculture en dehors des zones traditionnellement réservées à cet effet notamment les zones d'épandages, les dayas, Mekmene et les zones de recueillement des eaux de pluies et de ruissellement.

Ainsi, l'extension de la céréaliculture, la mise en valeur et l'accès à la propriété foncière entraînent une surcharge sur les parcours et par conséquent un surpâturage et une régression des ressources génétiques (ABDELGUERFI A. et LAOUAR, 1996).

Le tableau 21 illustre les principaux parcours de la zone d'étude qui se répartissent par commune et par unité géomorphologique.

Communes	Plaines à encroûtement calcaire (ha)	Plaines à affleurement rocheux (ha)	Piémonts (ha)	Zones d'épandages (ha)	Dépressions salines (ha)	Soles ensablées (ha)
Ain ben khelil	295460	1097	45581	12019	0	0
Ainsefra	21931	11879	20229	2860	0	2293
Asla	112348	10329	30035	9308	0	4193
Djenienbourezg	27071	1109	5521	0	0	0
El biod	332015	0	13208	1482	0	0
Kasdir	534745	0	10161	8674	87020	0
Mekmen Ben Amar	295796	0	0	606	19194	0
Mécheria	43911	0	606	29289	1103	0
Moghrar	54097	12061	22481	0	0	7055
Naâma	196090	100	17892	12646	1138	0
Sfissifa	100311	52929	18611	4193	358	1628
Tiout	34751	2973	12741	1911	1805	3504
Total	2048526	92477	197066	82988	110618	18673

Source : BNEDER d'Oran, 1987.

Tableau 21 : Répartition de la surface des parcours par commune et par unité géomorphologique de la wilaya de Naâma.

2.2.2.3. L'indice de charge

Pour donner un ordre de grandeur de l'ampleur de la concentration des cheptels en continu sur les parcours nous avons appliqué une approche intégrant des données physiques (surface et état des parcours) et socio-économiques (nombre de cheptel par commune) pour

l'établissement d'un paramètre appelé «Indice de charge⁵» (BENSAID A. et SMAHI Z., 2003).

En effet, BOUKHOBZA M., (1982) estime que cet indice est un bon indicateur pour juger le degré de dégradation des parcours. Le même auteur révèle qu'il y a un équilibre pastorale si cet indice est inférieur ou égal à 0.25 têtes par hectare. Il y a surpâturage dès que cet indice est supérieur à la norme, c'est à dire qu'il y a une forte pression sur les parcours donc risque de dégradation. Dans le cas contraire, la pression sur les parcours est moins intense. La norme de 0.25 têtes à l'hectare traduit un nombre de 4 hectares pour un ovin.

Cet indice est très variable dans le temps, il dépend de plusieurs facteurs notamment : la pluviométrie, la production matière fourragère et son appétence et de la fluctuation de l'effectif du cheptel. Le potentiel de la charge pastorale est plus faible durant une sécheresse que pendant une période humide. L'estimation de la valeur minimale de cet indice nécessite des études et des enquêtes de terrain approfondies et des données statistiques fiables sur le nombre du cheptel. Les indices de charges relatives à la période de 1987 et 1999 sont illustrés sur le tableau 22.

Communes	Indice de charge 1987	Indice de charge 1999
Ain Benkhlike	0.64	0.80
Ainsefra	1.26	1.49
Asla	1.48	1.61
Djenien Bourezg	0.17	0.17
El Biod	0.74	0.99
Kasdir	0.50	0.60
Mekmene Ben Amar	1.20	1.58
Mécheria	0.78	1.00
Moghrar	0.46	0.49
Naâma	0.50	0.71
Sfissifa	0.52	0.64
Tiout	1.13	1.28
Total	0.78	0.95

Tableau 22 : Évolution de l'indice de charge durant la période de 1985 et 1999.

⁵ Cet indice est estimé par la formule suivante : IC=[Nombre de cheptel (ovin)] / [Surface des parcours (ha)]. Le nombre de cheptel est converti en équivalence ovine (01 Bovin = 01 Camelin = 05 Ovin = 05 Caprin) d'après l'Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT).

L’analyse du tableau montre des indices de charges supérieurs à la norme pour l’ensemble des communes et pour les deux périodes excepté la commune Djenien Bourezg. Dans cette commune l’effectif du cheptel n’est pas important par rapport aux autres communes, nous enregistrons un pourcentage de 1.4% par rapport au nombre total.

L’indice de charge moyen pour l’ensemble de la zone est d’environ 0.78 têtes par hectare, soit trois fois supérieur à la norme.

Pour l’année 1999, nous enregistrons un chiffre plus élevé de l’ordre de 0.95 têtes par hectare. Il est important de signaler que nous nous sommes basé dans le calcul de cet indice uniquement sur des données statistiques sur les éleveurs et nous avons considéré que ces derniers restent uniquement à l’intérieur de leurs communes. En réalité, nous savons que les éleveurs se déplacent d’une commune à une autre par voie de locomotion.

Il est très difficile de savoir l’itinéraire emprunté et les lieux exacts de pâturage. D’après nos observations sur le terrain en décembre 2004 sur l’état de dégradation des parcours, l’indice de charge est en augmentation.

Même en ignorant le nombre d’éleveurs qui faisaient paître leurs troupeaux hors leurs communes, l’indice de charge reste élevé et indique qu’il y a un risque de surcharge dans la plus part des communes.

Toutefois, cet indice reste un bon moyen à utiliser pour déclencher l’alarme et élaborer des stratégies de conservation et de préservation des parcours steppiques (Cf. Figure 17).

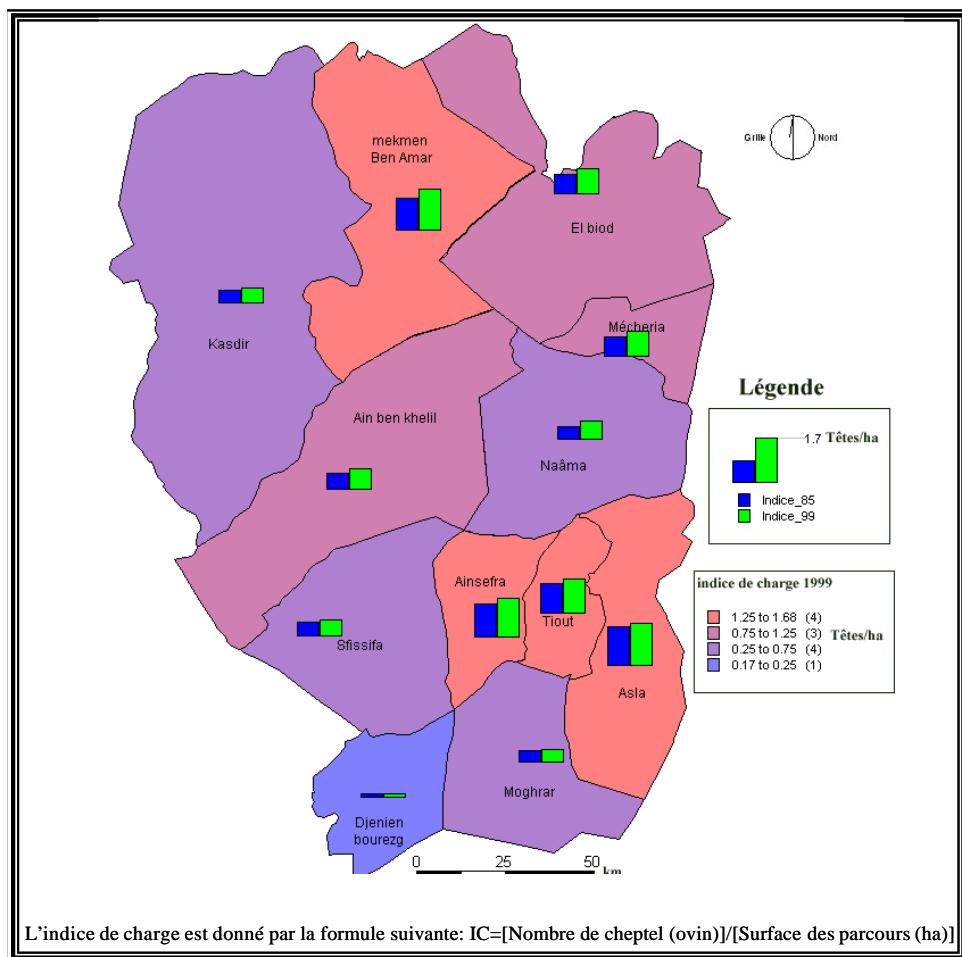


Figure 17 : Indice de charge pour l'année de 1985 et l'année 1999.

2.3. PRESSION DE LA POPULATION SUR LE MILIEU STEPPIQUE

La gestion des terres de parcours sur une région de grande étendue est une opération délicate voire complexe. Dans ces régions l'identification et la localisation des zones d'interventions prioritaires du point de vue dégradation des parcours s'avèrent indispensable.

L'influence de la population et sa répartition dans l'espace sur le milieu naturel steppique est une évidence. La nouvelle version de la théorie Malthusienne révèle qu'une population trop importante (taux de croissance élevé) dégrade l'environnement et les moyens de sa production agricole (Production fourragère, sol). La population (ou du moins une partie d'elle) migre lorsque la famine la menace en déplaçant le problème dans d'autres régions. Dans la « *tragédie des communs* », Hardin (1968) in : (LOCATELLI B., 2000) avance « *qu'un monde fini ne peut supporter qu'une population finie : quand la population augmente, les biens, les ressources ou les produits alimentaires par habitant diminuent jusqu'à atteindre zéro* ».

Plusieurs études à l'échelle mondiale montrent que le dépassement de la capacité de charge⁶ engendre une dilapidation des ressources naturelles et détruis la planète (RAMADE, 1987) in : (LOCATELLI B., 2000).

Durant nos enquêtes de terrain, nous avons constaté ces dernières années des dégradations alarmantes des parcours steppiques. Des dégradations qui se manifestent par :

- l'avancée du sable dans presque la totalité des 12 communes de la wilaya,
- l'absence quasi-totale des graminées, l'alfa (*Stipa tenacissima*) et l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*),
- et une extension accélérée et non étudiée du tissu urbain dominé par de l'habitat individuel.

Concernant l'extension des tissus urbains :

La politique de sédentarisation des nomades n'a pas été accompagnée par des programmes d'habitat pour la nouvelle population. Ce qui a fait que les nomades arrivés en ville - particulièrement à Ainsefra, Mécheria et Naâma- se sont installés en périphérie sur des terrains qui n'ont pas fait l'objet d'études d'impacts.

De même, le Plan Directeur d'Aménagement et d'urbanisme (P.D.A.U) n'a pas pris en considération tous les facteurs qui peuvent influencer le bon déroulement de l'urbanisation. Les contraintes naturelles (ensablement, inondation, remontée du sel et dégradation des parcours) et leurs incidences ont été négligées.

Plus grave encore, le PDAU a même préconisé le développement de la ville de Naâma à hauteur de 35000 habitants d'ici 2015, soit presque 7 fois le volume actuel, sans autant mesurer les implications sur le plan spatial ni sur le plan de la satisfaction des besoins de la population.

Pourtant, les pouvoirs publics étaient bien informés, des scientifiques et chercheurs les ont sensibilisés sur la fragilité du milieu steppique. Dans son discours à Saïda en mai 1970, Le Ministre Monsieur TAYEBI LARBI a déclaré que : «*la superficie des parcours des hautes plaines steppiques constitue un patrimoine non négligeable pour l'approvisionnement du pays en viande ovine et en laine. Or ce patrimoine est en dégradation constante*».

⁶« Elle se définit comme la population maximale que peut supporter indéfiniment un écosystème donné sans dégrader les ressources renouvelables. A l'origine concept de biologiste, la notion de capacité de charge traduit le postulat malthusien selon lequel à un niveau de technologie donné et compte tenu des ressources disponibles dans un espace fermé, la population ne peut dépasser une certaine limite.» (LOCATELLI B., 2000).

AÏDOUD A. *et al.*, (1996) ont mis en évidence la dégradation alarmante qui a affecté le milieu steppique et plus particulièrement les changements du couvert végétal durant ces dernières décennies. Les mêmes auteurs prouvent qu'en moins de dix ans entre 1983 et 1990 dans les hautes plaines, de grandes étendues de steppes denses d'alfa ont été dilapidés. 1.2 Millions d'hectares ont été dégradés : 700000 ha de peuplements clairs dans lesquels l'alfa a complètement disparu et près de 500000 ha de nappes denses dans lesquelles la biomasse verte de l'alfa est passée en moyenne de 1750 à moins de 100 KgMS/ha.

En décembre 2004, quand nous avons sillonné la zone, l'alfa a complètement disparu de la région de Naâma et l'ensablement gagne du terrain en se dirigeant vers les agglomérations, excepté dans les zones frontalières mises en défens, la partie ouest (la bande⁷ frontalière avec le Maroc)

Nous savons qu'évidemment, la population n'est pas répartie de manière homogène dans les Agglomérations Chef Lieu, les Agglomérations Secondaires et de la Zone Eparse de la wilaya. Le manque de données à références spatiales sur la répartition précise de la population sur toute la zone d'étude ne permet pas l'identification exacte des zones soumises à de fortes pressions démographiques.

D'un autre côté, les moyens couramment utilisés pour la cartographie de la végétation et du sol sont basés sur l'utilisation des données de terrain associées aux photographies aériennes. Vu l'étendue de la zone d'étude ($\sim 30000 \text{ km}^2$) nous ne pouvons pas envisager une étude sur la pression exercée par la population sur les ressources naturelles en utilisant uniquement les photographies aériennes.

A cet effet, le recours au moyen de l'information géographique (SIG) et à l'analyse multicritères des données s'avère nécessaire.

2.3.1. Modélisation et analyse multicritère

La modélisation des données qui peuvent influencer la présence ou l'absence d'une population à un endroit par rapport à un autre est complexe. Dans ce genre de problématique on est souvent confronté à des situations d'ordre décisionnel de nature multicritères.

C'est ainsi, que l'analyse multicritère (AMC) doit son émergence à la nécessité de disposer d'une aide pour trouver, de façon plus transparente, des compromis dans une situation de choix complexe.

⁷ Cette bande est protégée par l'armée nationale.

VINCKE, (1989) in : (DAOUD B.H., 1997), a ainsi défini l'aide multicritère: «*L'aide multicritère à la décision vise, comme son nom l'indique, à fournir à un décideur des outils lui permettant dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte*».

L'établissement de la carte de pression démographique a nécessité d'utiliser une analyse multicritère basée sur la méthode d'agrégation complète⁸. C'est une procédure d'évaluation multicritère basée sur une combinaison linéaire pondérée des informations relatives aux différents critères pour produire un indice d'évaluation unique.

L'analyse multicritère a pour but de qualifier l'adéquation pour une utilisation du territoire en aires de très forte pression humaine, de forte pression, de moyenne pression et de faible pression humaine, c'est l'ultime opération du processus décisionnel. Cette méthode s'intègre dans un concept communément appelé Système d'Aide à la Décision à Référence Spatiale (SADRS).

L'utilisation de la technique d'agrégation complète requiert l'emploi des critères (facteurs et contraintes) qui renforcent ou réduisent la pertinence d'une alternative particulière avec l'activité considérée; ils peuvent être exprimés sur une échelle de mesure continue par exemple, on pourra estimer que plus la pente du terrain est faible plus les pressions humaines seront fortes.

La modélisation et l'analyse multicritère des données ont été utilisées pour mettre en évidence et localiser spatialement les zones les plus vulnérables vis à vis de la pression démographique. Une telle modélisation doit être simplifiée. Il est quasiment impossible de considérer tous les facteurs socio-économiques qui influencent la répartition de la population dans la zone steppique.

L'étape la plus importante pour la modélisation (Cf. Figure 18) des données est celle qui consiste à identifier les différents critères (facteurs et contraintes) susceptibles d'être pris en considération par l'AMC. L'identification des critères est basée sur la considération des caractéristiques de la steppe et des conditions géographiques.

Après concertations avec les techniciens travaillant dans des organismes nationaux (DSA, HCDS, DCF), nous avons choisi cinq critères à savoir :

- 1) la proximité du réseau routier, 2) la pente, 3) la proximité d'une agglomération de chef lieu

⁸ Cette méthode est déjà programmée dans le logiciel IDRISI.

de commune, 4) la proximité d'une ressource en eau, 5) les contraintes (Zone de défense, dunes anciennes, zone classée site RAMSAR).

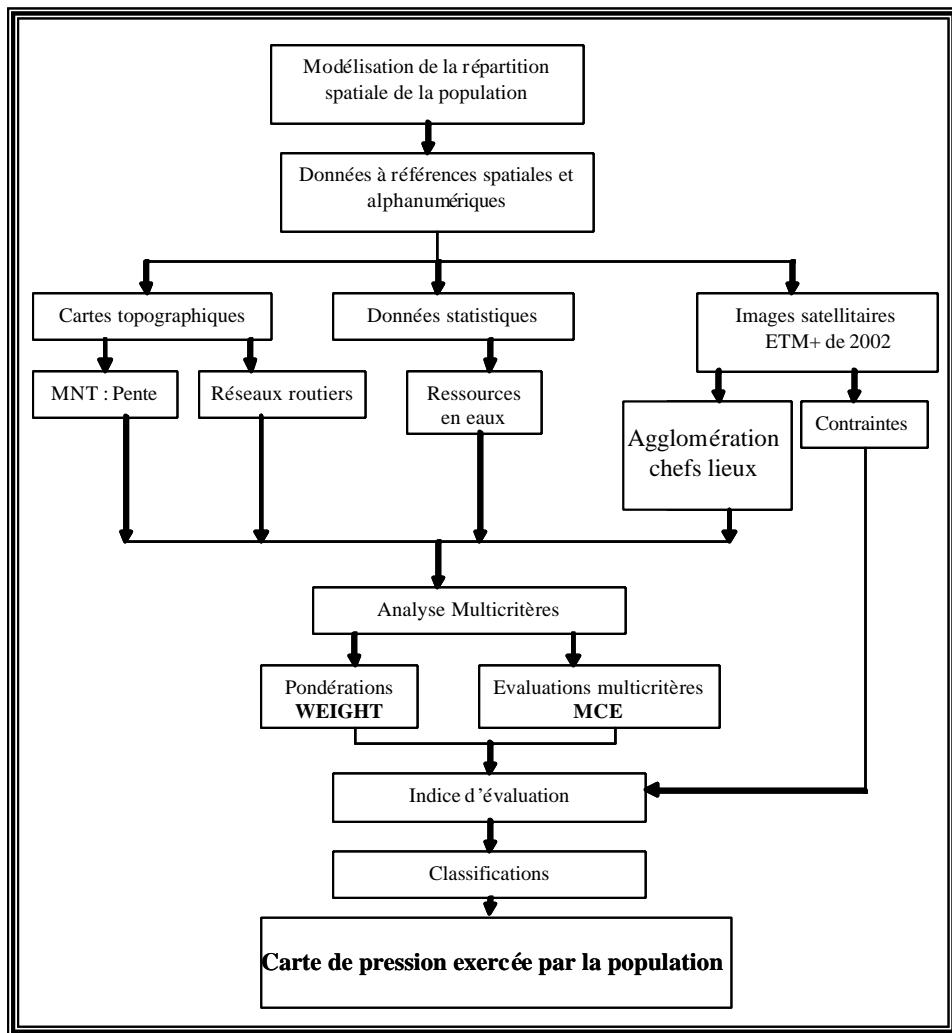


Figure 18 : Les étapes de la modélisation.

2.3.2. Les Variables prises en compte

Cinq critères ont été choisis. Toutefois, chaque critère potentiel est défini comme une partie intégrante de l'espace présentant des caractéristiques homogènes. Ces zones homogènes peuvent être composées d'une ou plusieurs sous zones homogènes.

2.3.2.1. *La variable proximité du réseau routier*

Une grande partie de la population nomade a préféré se sédentariser pas loin des axes de communications : la RN6, la RN22 et la RN47. Ces axes routiers permettent aux populations de s'approvisionner aux agglomérations les plus proches.

Les agropasteurs se dirigent chaque mercredi vers le Souk hebdomadaire de bestiaux pour vendre leurs troupeaux. Ce souk constitue un lien privilégié pour les éleveurs des hautes plaines Oranaises.

L'éloignement des éleveurs par rapport aux voies de communications induit sans doute un surcoût proportionnel à la distance de transport de leurs troupeaux. Ces dernières années, la plus part des éleveurs possèdent des moyens de locomotion (camion Gak et Toyota) ;

La proximité par rapport aux réseaux routiers est un facteur de grande importance. Entre autre, elle permet de faciliter tous les efforts employés par les pouvoirs politiques pour alphabétiser la population rurale. Au niveau de la wilaya de 1985 à 2004 le secteur de l'éducation a connu un rythme de développement en matière d'infrastructures avec un taux de 110% pour l'enseignement primaire, de 220% pour le moyen et 400% pour le secondaire. (bilan wilaya de Naâma).

Il n'existe aucun modèle théorique permettant de modéliser la répartition de la population par rapport aux axes routiers. Faute de modèle, nous avons proposé d'utiliser les techniques de l'analyse spatiale. Lors de cette analyse les données cartographiques devraient représenter au mieux les critères dans l'évaluation multicritères. L'optimisation de la carte de proximité de la route, a nécessité l'emploi de certaines opérations sur la base de données. Le réseau routier ainsi que les pistes existantes depuis l'époque coloniale ont été obtenus après une digitalisation de plusieurs cartes topographiques à l'échelle 1 : 200 000.

Toutefois, ces cartes sont anciennes (1957) et les routes ne sont pas mises à jour. Pour pallier ces problèmes, nous avons eu recours à l'utilisation des images spatiales (ASTER et ETM+) pour mettre à jour la cartographie du réseau routier. Ce dernier a été ensuite rasterisé pour appliquer le module DISTANCE du logiciel IDRISI sur cette image. La figure 19 illustre la carte des distances par rapport aux axes routiers.

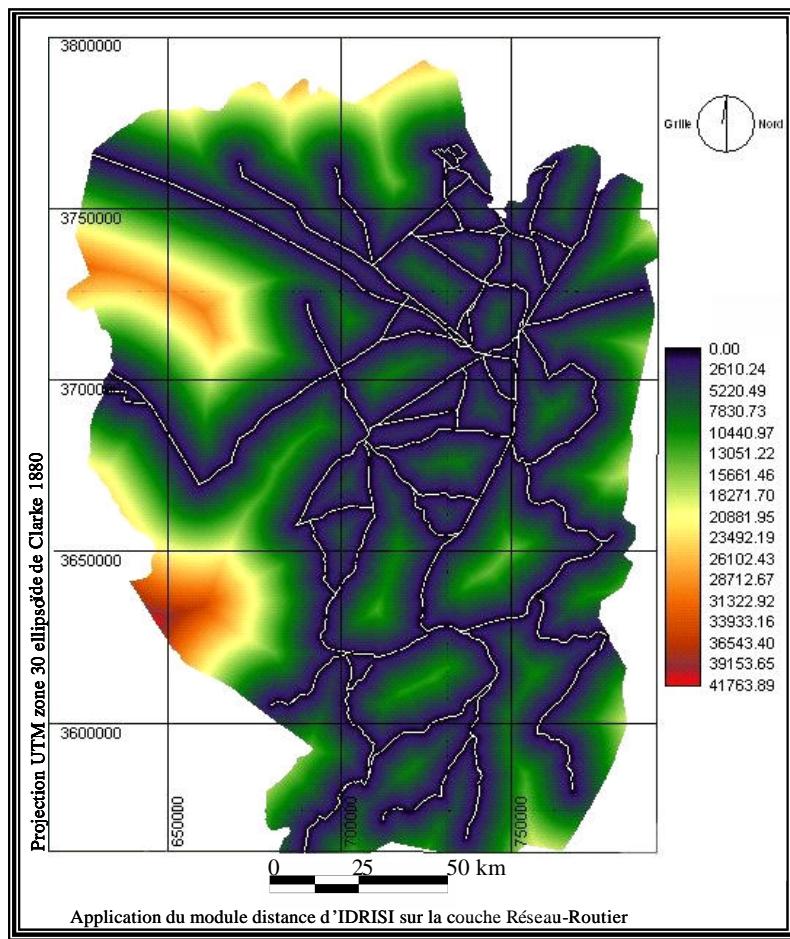


Figure 19 : Carte des distances (en mètre) par rapport au réseau routier.

2.3.2.2. *La variable pente*

La pente du terrain est un paramètre important à prendre en compte pour la modélisation de la répartition spatiale de la population. Les zones accidentées sont moins propices à l’agropastoralisme (axé difficile pour le cheptel) et à la construction des maisons. La variable pente est une donnée endogène qui est dérivée directement à partir du modèle numérique d’altitude (MNA). Ce dernier a été obtenu par digitalisation des courbes de niveaux de plusieurs cartes topographiques à l’échelle 1 : 200 000. Le fichier ainsi obtenu, est représenté en mode vectoriel. Cependant, nous avons procédé à la conversion de ce fichier en mode raster afin d’interpoler les données d’altitudes. C’est le module INTERPOL⁹ qui a été utilisé pour l’interpolation. Le pas de la résolution choisi est de 30 mètres afin d’avoir la même résolution que celles des images satellitaires TM et ETM+ de Landsat. Le M.N.A de la région d’étude ainsi obtenu présentait quelques irrégularités dues à l’interpolation. Un filtre passe

⁹ Module d’interpolation dans le logiciel IDRISI

bas a été effectué sur l'ensemble de l'image en utilisant l'élément structurant d'ordre 3. Cette technique affecte à chaque pixel la médiane de ses huit pixels voisins les plus proches.

De plus, pour éviter les effets de bord, nous étions amené à travailler sur des surfaces plus grandes que celle de la zone d'étude. Il suffit ensuite d'appliquer un masque pour ne laisser que les espaces concernés par la zone de travail. Enfin, la pente est calculée par le module Slope d'IDRISI sur le M.N.A (Cf Figure 20).

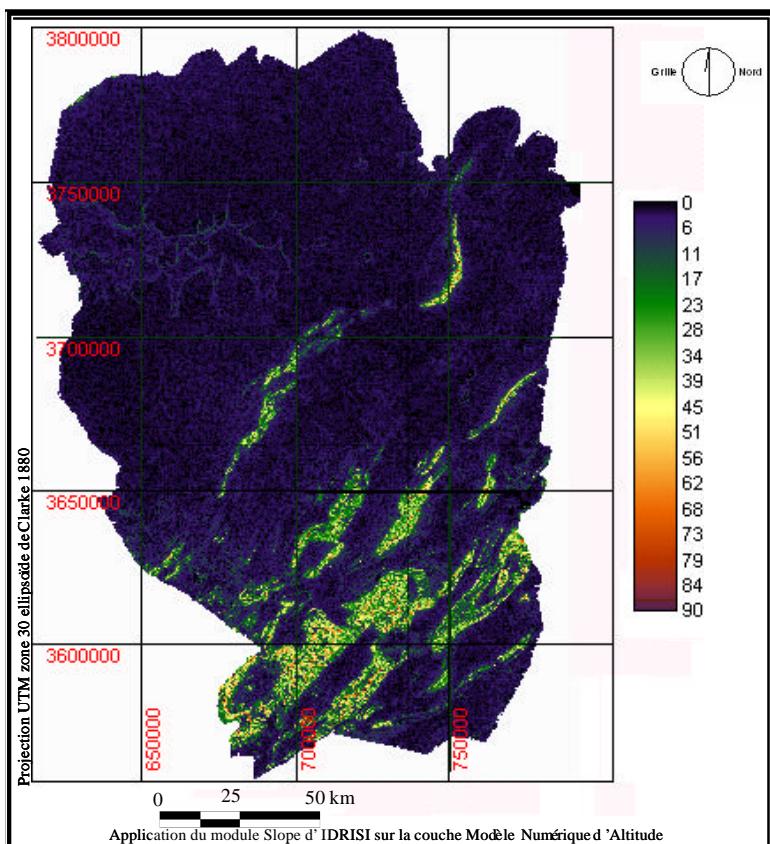


Figure 20 : La carte des pentes (en %) de la région de Naâma.

2.3.2.3. *La variable proximité d'une agglomération de chef lieu de commune (ACL).*

Ces dernières années on remarque qu'il y a une forte concentration autour des grandes agglomérations. La ville de Mécheria concentre 34% de la population totale et 22% est concentrée dans la ville de Ainsefra.

Les sécheresses qui sévissent depuis les années 1970, les invasions acridiennes, le phénomène de sédentarisation amplifié par la crise du pastoralisme ont incité la population de se diriger vers les centres urbains les plus attractifs.

Le mode de vie traditionnel n'est plus supporté par la population rurale, une plus grande partie d'entre elle a préféré se sédentariser autour des agglomérations. « *On voit apparaître en régions steppiques des systèmes de production bipolaires steppe/petites villes, qui révèlent de nouvelles stratégies chez les agro-pasteurs, très conscients de l'importance d'avoir un pied en ville où l'avenir de la steppe se décide : c'est le lieu du marché et des tractations, des artisans et des réparations, de l'école et du dispensaire, des services techniques et des prébendes.* » (BESSAOUD O. et al., 2000).

La modélisation des aires d'influence de chaque agglomération est complexe. En fait, il existe plusieurs types d'aires d'influences que peut exercer une agglomération sur ses habitants et sur d'autres populations. En effet, chaque service, chaque type de commerce détermine autour de lui sa propre zone d'influence.

Nous avons considéré uniquement le paramètre proximité autour de l'agglomération pour la modélisation de la répartition de la population. Les différentes agglomérations de chef lieu de wilaya ont été cartographiées à partir des images satellitaires récentes. Ensuite nous avons utilisé les mêmes techniques énumérées précédemment pour définir les aires de proximités (Cf. figure 21).

2.3.2.4. La variable proximité d'une ressource en eau

Partout dans le monde, comme dans la steppe Oranaise où les conditions naturelles sont rudes, la présence de l'eau présente une substance fondamentale pour le maintien de la population. Elle est aussi une composante de grande importance pour toute action de développement agropastoral et la régularisation des mouvements de la population et sa répartition dans l'espace. De plus, c'est de l'accessibilité des points d'eaux que dépend en grande partie l'intensité de l'exploitation du pâturage.

La wilaya de Naâma renferme de grandes potentialités hydriques. Toutefois, ces potentialités sont très peu exploitées et leur volume de stockage demeure inconnu. Jusqu'à présent il n'y a aucune étude hydrogéologique pour dresser un bilan exact, afin de savoir les limites de réserve d'eau souterraine pour tirer un réel profit et dégager une stratégie appropriée pour sa protection.

La totalité de la zone est alimentée par les ressources souterraines. Selon le rapport établi par l'Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire ANAT, (1998) le volume mobilisé est évalué à 366 l/s.

Jusqu'à présent les pouvoirs locaux pompent l'eau de la réserve des nappes phréatiques pour alimenter les grandes agglomérations, l'irrigation des parcelles agricoles et l'abreuvement des cheptels. Il est important de savoir qu'en Algérie 75% des ressources renouvelables sont concentrées sur seulement 6% du territoire littoral. Cet état de fait, en absence d'un contrôle bien prudent, peut engendrer à terme un déséquilibre et un déficit hydrique à l'échelle de la région. N'est il pas judicieux de demander aux experts en la matière de dresser un bilan détaillé à long terme pour ne pas déstabiliser toute une population en cas de disette ?

La moindre rupture hydrogéologique peut conduire à :

- un rabattement du niveau piézométrique de la nappe;
- un risque de salinisation des eaux de cette nappe par les eaux salées de la sebkha ;
- un bouleversement au près de la population à la recherche de l'eau dans d'autres régions voisines.

Les eaux de surface sont collectées dans les bas-fonds (Daya, Oglat, Mekmene). Mais ces eaux ne durent pas longtemps à cause de la forte évaporation. Les oueds sont caractérisés par un écoulement temporaire et endoréique. Ils sont secs une grande partie de l'année (6 à 10 mois) et soumis en hiver et parfois en été à des crues irrégulières survenant après une averse brutale. D'ailleurs à Ain benkhile il existe un lac (Oglat ed Deïra) qui dure 3 mois dans l'année. Ce lac est classé comme réserve naturelle.

Cependant, pour la modélisation de la répartition de la population, trois ressources ont été considérées (Cf. Tableau 23 et Figure 22) :

Ressources	Captage	Effectif en (%)
Eau potable (AEP)	Nappes phréatiques	32.3
Eau d'irrigation	Nappes phréatiques	24.4
Eau d'abreuvement	Nappes phréatiques	9.8
Abandonné	Nappes phréatiques	33.5

Source : DSA de la wilaya de Naâma.

Tableau 23 : Les ressources d'approvisionnement en eau de la wilaya de Naâma.

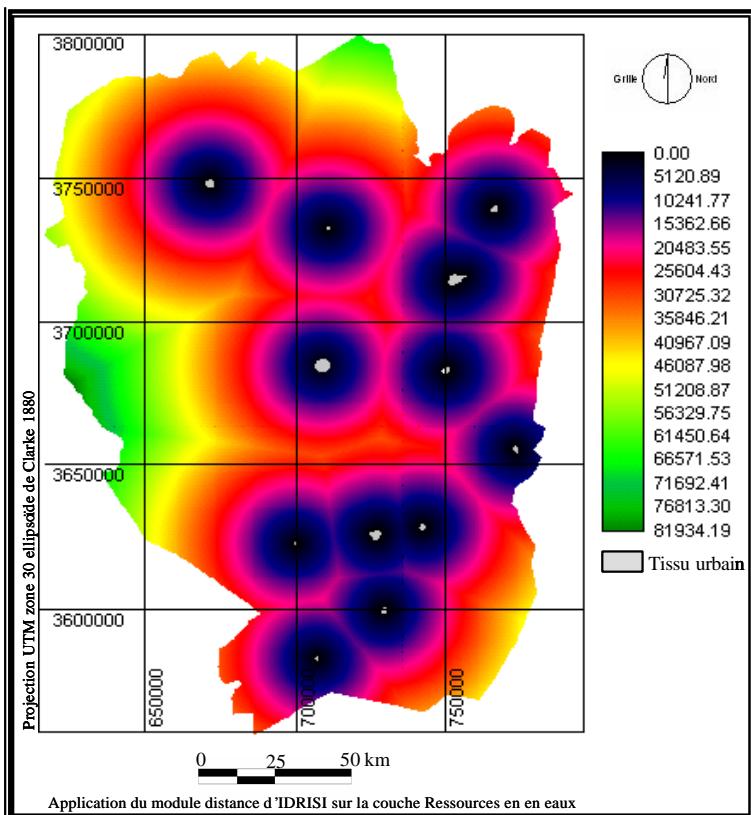


Figure 21 : Carte des distances (en mètre) par rapport aux agglomérations chefs lieu de la wilaya de Naâma.

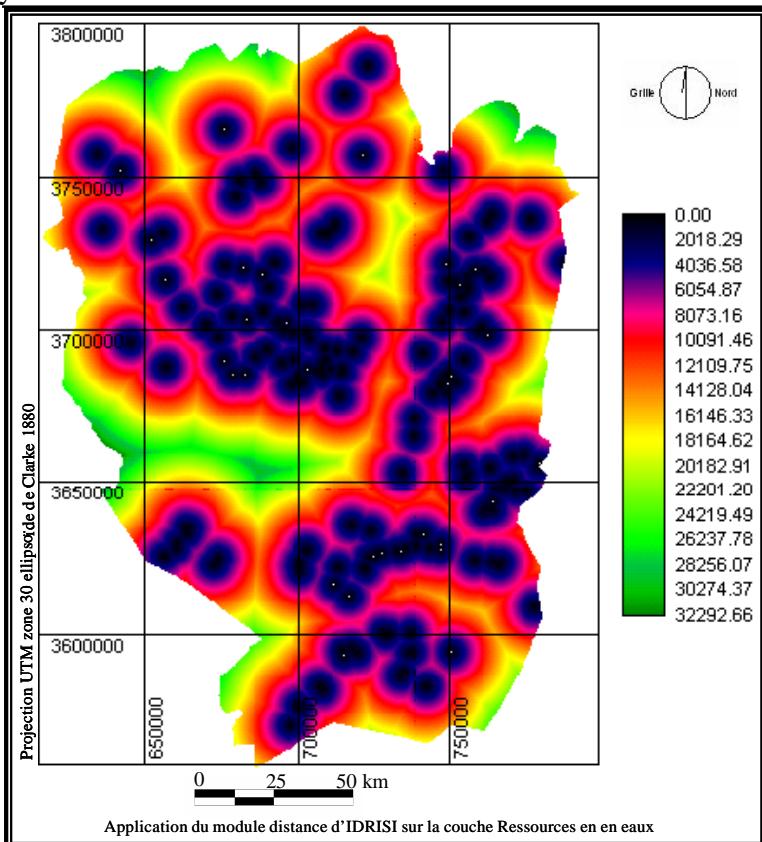


Figure 22 : Carte des distances (en mètre) par rapport aux ressources en eaux.

2.3.2.5. *Les contraintes*

Les contraintes ont pour but de limiter les alternatives considérées. Elles sont exprimées sous forme d'une couche codée en binaire (0 et 1). La valeur 0 est affectée aux zones exclues du travail, tandis que celles potentiellement exploitables sont codées avec la valeur 1.

Dans notre cas quatre contraintes ont été considérées (Cf. Figure 23) :

- lacs (Oglat ed Deïra) et la zone salée de (Chott Rharbi) : ces zones considérées comme inondables sont défavorables au peuplement;
- les anciennes dunes : ces accumulations sableuses ne favorisent pas le groupement des populations à l'intérieur du territoire;
- la réserve naturelle dans la zone frontalière avec le Maroc. Cette réserve est protégée par les collectivités locales. D'ailleurs, l'occupation permanente de l'armée algérienne aux postes de frontières interdit l'incursion de toutes tribus étrangères à la zone;
- la pente : nous avons considéré qu'une zone est jugée défavorable à toute installation de populations si celle-ci se trouve sur une pente supérieure à 25%.

L'image de contraintes est sous forme booléenne (la valeur 0 est affectée à l'intérieur des zones de contraintes et 1 à l'extérieur de celles-ci). Cette image est créée à l'aide du module Reclass.

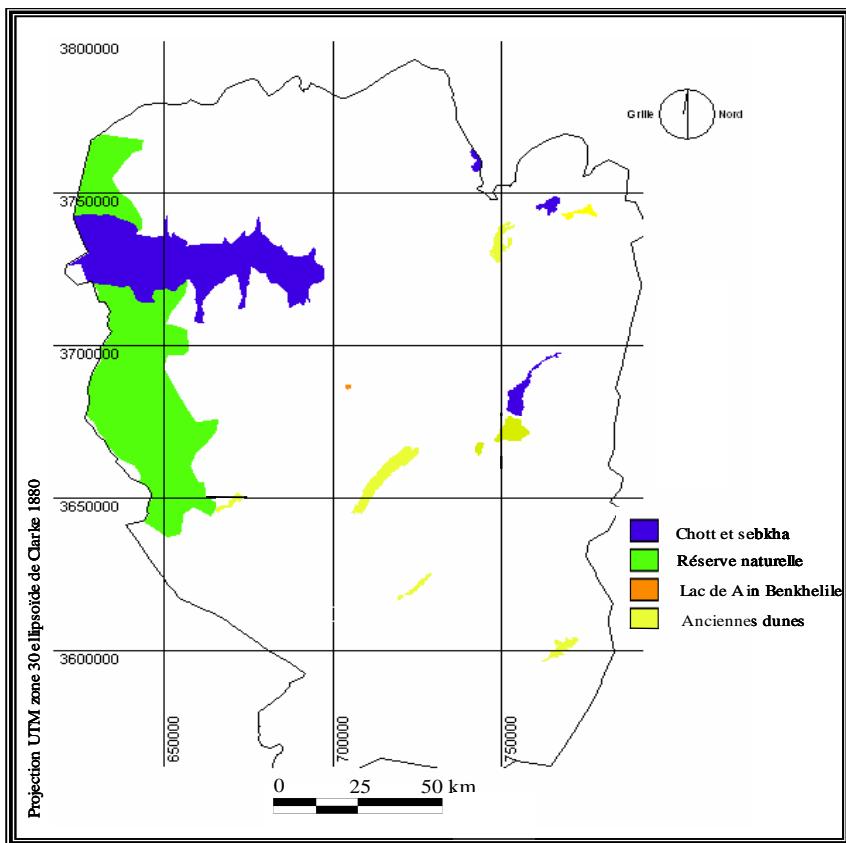


Figure 23 : Carte des contraintes naturelles de la wilaya de Naâma.

2.4. ÉVALUATION MULTICRITÈRES ET ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE DE PRESSION EXERCÉE PAR LA POPULATION

Après avoir déterminé l'ensemble des critères (4 facteurs + 4 contraintes) favorables à la présence d'une population sur un endroit plutôt qu'un autre, nous avons procédé à une analyse multicritère basée sur la méthode linéaire pondérée. Cette méthode est réalisée par le module MCE¹⁰ de IDRISI qui représente la procédure de combinaison de critères prenant la forme :

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

Où : C est l'indice composite, X_i est la valeur du facteur i, W_i est le poids de chaque facteur et C_j est la valeur de la contrainte j.

Toutefois, il importe de rappeler que pour la fonctionnalité de cette méthode, on doit obligatoirement normaliser les différentes échelles de mesures et ce pour chaque facteur. A

¹⁰ Multi-Criteria Evaluation

cet effet, tous les facteurs ont été exprimés dans une fourchette allant de 0 à 255. Dans ces considérations la valeur maximale (255) représente la meilleure évaluation et donc le meilleur endroit selon le critère considéré. Or, dans notre cas les critères relatifs au réseau routier, à la pente, à la proximité de l'agglomération et de la ressource en eau, les zones favorables sont représentées par les plus petites évaluations. Pour pallier à ce problème, il suffit d'inverser l'échelle de mesure (min=255 et max=0) pour chaque facteur.

2.4.1. Pondération des critères

Pour la pondération des critères nous avons utilisé l'approche dite de comparaisons par paire développée par SAATY (1977) dans le contexte du processus décisionnel appelé procédé de hiérarchisation analytique AHP ("Analytical Hierarchy Process"). Cette technique est programmée dans le logiciel IDRISI sous la macro WEIGHT. Cette macro permet d'établir les poids relatifs pour un groupe de facteurs dans le cadre d'une évaluation multicritère (Cf. figure 24). Les poids sont déterminés à partir d'une série de comparaisons par paires de facteur quant à leur importance dans la détermination de l'aptitude pour produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1. Ces poids peuvent ensuite être utilisés pour pondérer les facteurs dans le cadre d'une combinaison par pondération linéaire faisant appel à la fonction MCE du logiciel IDRISI.

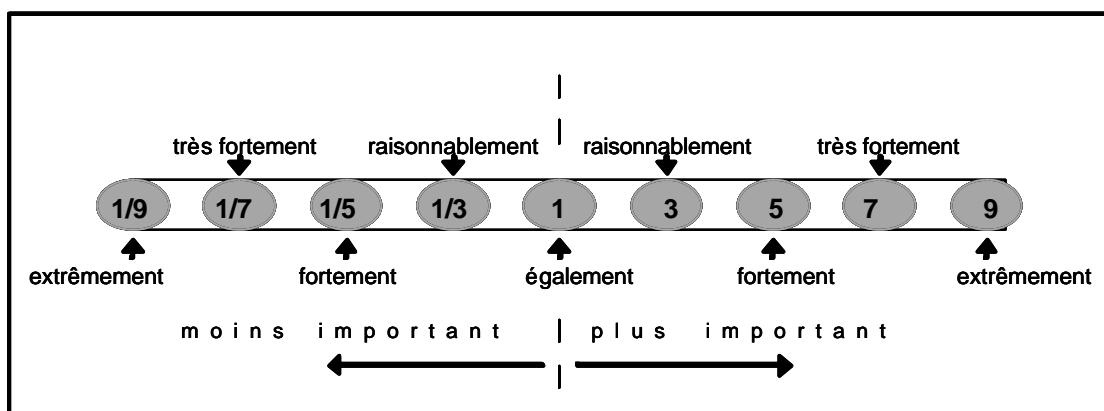


Figure 24 : Représentation de l'échelle de SAATY (Méthode AHP de pondération).

Cette étape est très délicate et elle nécessite l'intervention des décideurs ainsi que des spécialistes dans le domaine du pastoralisme pour l'affectation d'un coefficient à chaque facteur. Donc, pour chaque paire de facteurs possibles on introduit des évaluations dans une matrice couplée (Cf. figure 25). Les poids sont alors déterminés à partir du vecteur propre principal de la matrice d'évaluation.

Pour notre étude nous avons proposé les valeurs suivantes :

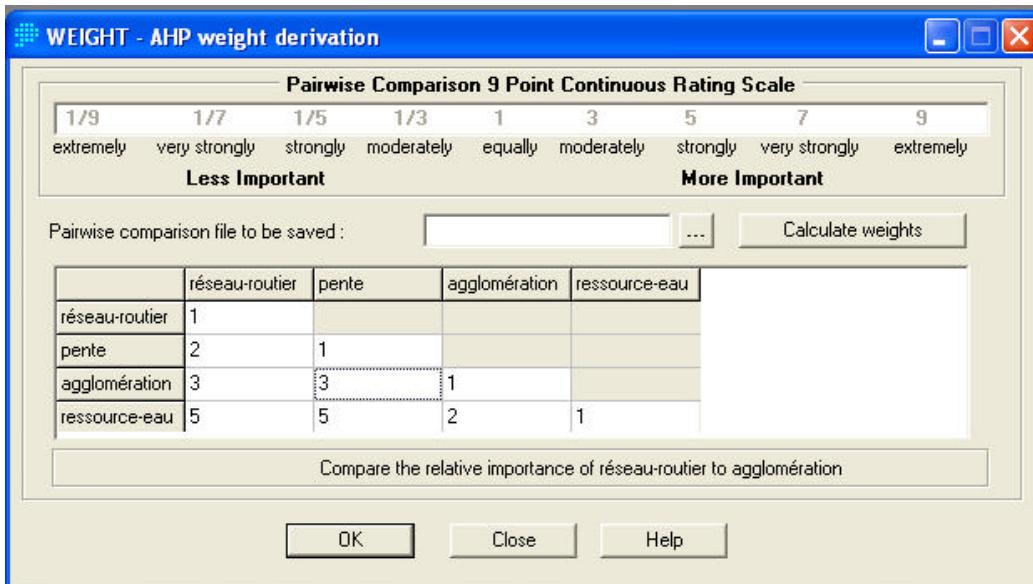


Figure 25 : Matrice de pondération.

Les valeurs de pondérations sont calculées à l'aide du module WEIGHT. Ce module permet aussi d'évaluer à posteriori la cohérence des jugements à travers l'indice global de cohérence (**I.G.C**). Ce dernier mesure "la proximité à des jugements cohérents". Selon SAATY, (1977) si l'indice global de cohérence est supérieur à 0.10, la matrice des évaluations devrait être réévaluée. Dans notre application, cet indice représente une valeur de 0.01 exprimant une cohérence satisfaisante des jugements (Cf. Tableau 24).

critères	poids
Réseau routier	0.0837
Pente	0.1190
Agglomération	0.2824
Ressource en eau	0.5149
I.G.C	0.0100

Tableau 24 : Les valeurs de poids pour les différents facteurs.

2.4.2. Carte de pression exercée par la population sur le milieu steppique

L'application du module MCE sur les critères a généré une image de sensibilité du milieu steppique vis-à-vis de l'anthropisation. Sur celle-ci chaque maille représente la somme pondérée suivant tous les critères pris en compte. L'application de contraintes éliminait tous les pixels situés dans les zones de contraintes définies précédemment.

Nous avons choisi de représenter cette image dans une échelle de valeurs comprise entre 0 et 255. Les fortes valeurs représentent les zones les plus vulnérables sous l'effet des activités humaines. D'après l'analyse de la figure 26 nous constatons que les zones les plus exposées à la dégradation par l'influence humaine se situent autour des grandes agglomérations.

Dans la zone de Ain benkhile apparaît un espace de grande étendue accessible qui convient bien à toute installation humaine. En effet, la position centrale de Ain benkhile dans l'espace Mécheria, Naâma, Mekmene Ben Amar et Sfissifa lui confère un rôle de grand importance dans le développement agro-pastoral et la valorisation de l'écosystème steppique. A cela s'ajoute d'autres atouts indéniables qui lui permettent d'acquérir un flux migratoire de population qui fuit les grands pôles urbains de la wilaya.

La présence de l'eau (aquifères de djebels Hafid et Gaaloul) dans cette zone est l'un des atouts qui renforcent la présence humaine. Depuis 1984 le nombre de puits est passé de 50 à 300. Cette augmentation est liée au Fond National de Régulation et Développement Agricole (FNRDA) octroyé par le Ministère de l'Agriculture aux nouveaux Fellahs dans sa nouvelle politique agricole.

L'analyse multicritère basée sur la méthode linéaire pondérée en utilisant les quatre facteurs ainsi que la carte de contrainte nous a permis de délimiter spatialement l'espace steppique dans une échelle de valeur comprise entre 0 et 255. Un pixel ayant une valeur 255 est deux fois plus vulnérable à l'effet des activités humaines qu'un pixel de valeur 127. La valeur 0 signifie qu'il s'agit bien d'une zone protégée (réserve naturelle, zone humide, etc.).

Toutefois, la robustesse et la fiabilité de cette méthode d'analyse multicritère reposent sur la précision des critères pris en compte lors de la modélisation ainsi que sur leurs pondérations. La moindre sous estimation dans la pondération d'un facteur de grande importance peut être fatale sur la qualité du résultat espéré.

Toutefois, la diversité du milieu et le grand nombre d'acteurs impliqués dans la gestion durable de la steppe à l'échelle de la wilaya de Naâma rendent tout processus de décision concerté plus complexe. En effet, il est difficile voire impossible de prendre en compte tous les paramètres au vu de leur importance dans la sélection spatiale des zones les plus menacées par la population.

D'autres considérations échappent à toutes modélisations, comme par exemple la mobilité clandestine des pasteurs par les moyens de locomotion d'un endroit à un autre. A cela s'ajoute

le phénomène de l'incursion clandestine de certains agropasteurs venant d'un autre territoire des wilayas voisines pour profiter des terres mises en défens de la wilaya Naâma. D'ailleurs, dans la commune de Sfissifa c'est le Maire en personne qui patrouille les terres de sa commune la nuit. Selon lui un cheptel trouvé à l'intérieur de ces terres protégées sera confisqué et une amende sera attribuée à leurs propriétaires.

En plus des difficultés citées ci-dessus, la méthode de pondération linéaire présente deux inconvénients : sa sensibilité à la transformation d'échelle d'un critère et à la compensation entre les critères. En effet, un pixel ayant des valeurs très décevantes sur la majorité des critères peut compenser par une très bonne évaluation sur un critère de plus grande importance. Ainsi, ce même pixel sera finalement préférable à un autre dont les évaluations sont relativement bonnes sur tous les critères. A cet effet, l'utilisation de plusieurs méthodes d'analyses multicritères (la logique floue et les méthodes Electre) peut affiner et compléter ce travail. En perspective nous envisageons d'introduire dans notre modèle les méthodes multicritères de type Electre dans l'analyse spatiale du phénomène d'ensablement pour pouvoir faciliter le choix entre les meilleures scénarios possibles dans la lutte contre l'ensablement.

Finalement, cette méthode reste valable pour la mise en œuvre des spatio-cartes pour la modélisation des données socio-économiques. La difficulté réside dans le choix des critères pertinents et dans la pondération de ces critères. En réalité la pondération et le choix des critères doivent être réalisés en collaboration avec les spécialistes et les techniciens dans le domaine de la gestion steppique.

En vue de son exploitation la carte de pression exercée par la population est classée en quatre classes (Très sensible, sensible, moyennement sensible et peu sensible). Cette carte va être utilisée dans le modèle pour la mise en œuvre de la carte de sensibilité à la dégradation des terres de la wilaya de Naâma (Cf. Chapitre 8).

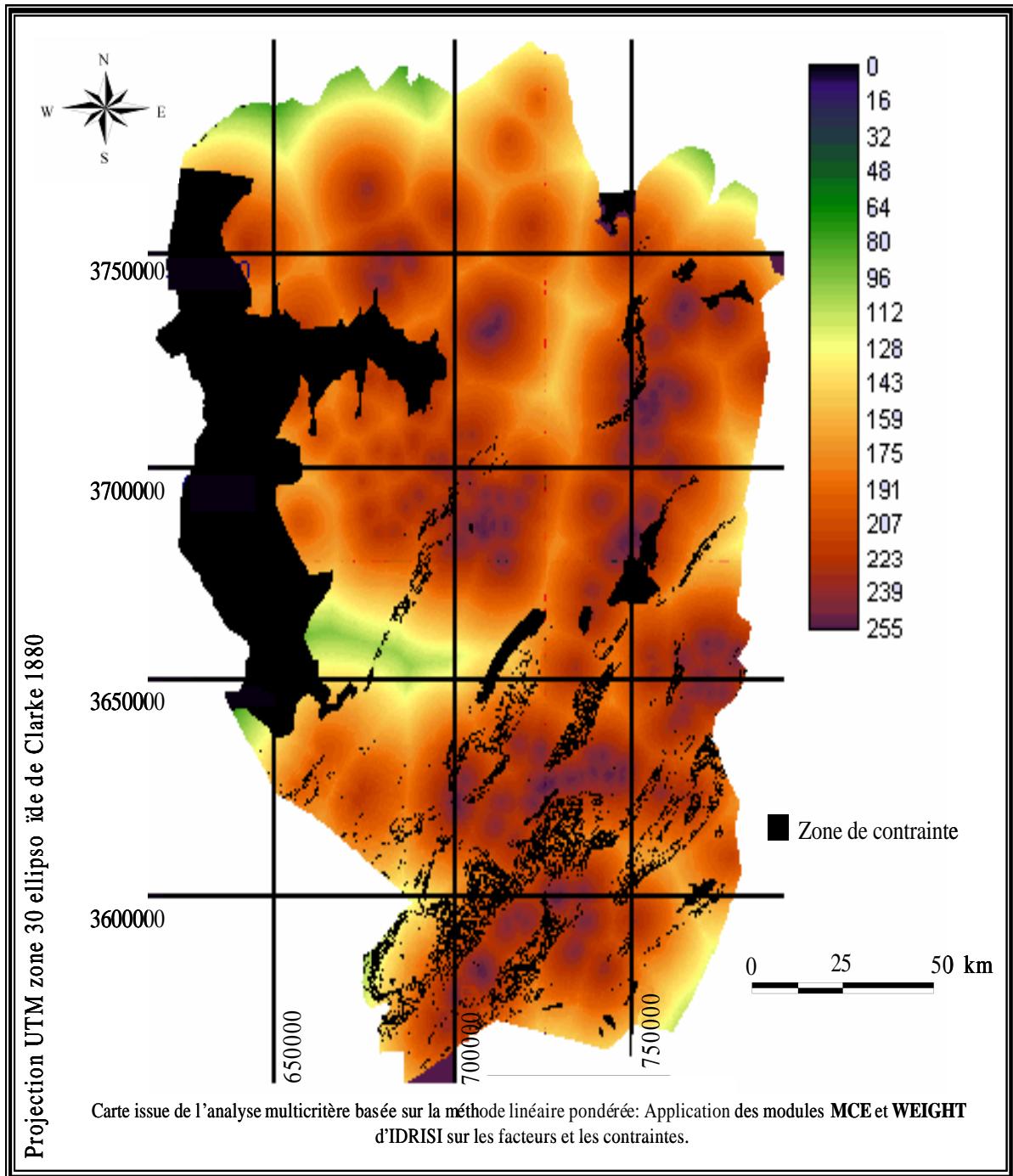


Figure 26 : Carte de sensibilité du milieu steppique vis-à-vis de l'anthropisation. *Les faibles valeurs indiquent une faible sensibilité, les fortes valeurs les zones sensibles.*

2.5. CONCLUSION

Les facteurs anthropiques et socio-économiques qui ont un lien direct ou indirect dans le dysfonctionnement du système pastoral semblent très complexes et se situent à des niveaux divers. Au cours de cette partie nous avons vu que ces facteurs notamment : la sédentarisation de la population nomade, l'évolution et l'accroissement de la population, l'accession à la

propriété foncière et agricole (APFA), les subventions accordées aux éleveurs, l'introduction de moyens mécaniques et de transports, la destruction de l'organisation sociale tribale et la privatisation de certaines terres collectives ont entraîné un déséquilibre et une dégradation souvent irréversible des écosystèmes pastoraux et la chute de leur productivité. A cela s'ajoutent les efforts entrepris par l'État, à partir des années 1980 et les sécheresses qui ont frappé la région depuis le début des années 1970. Ces effets ont accentué la pression sur les parcours, à savoir :

- toutes les coopératives d'élevage ont été dissoutes même celles qui dataient depuis 1960;
- les parcours steppiques ont été affectés au pacage et dans le passé ils appartenaient au domaine forestier;
- la levée de l'interdiction de la céréaliculture (cas particulier de la steppe occidentale) en vue de son utilisation comme aliment de complément dans les années de disettes;
- promulgation de la loi en 1983 portant sur l'accession à la propriété foncière et agricole (APFA).

Dans ces conditions les espèces pastorales se rétrécissent d'année en année et ne peuvent pas subvenir aux besoins fourragers réclamés par les petits ruminants. Actuellement les parcours contribuent seulement de 5 à 10% à l'alimentation du cheptel selon que l'année est sèche ou normale.

Ces dernières décennies l'alfa a complètement disparu, les scientifiques et les chercheurs dans le domaine parlent d'un véritable désastre écologique. Dans les hautes plaines sud Oranaises ce n'est pas uniquement l'alfa qui est le plus touché mais les autres steppes sont aussi en voie de disparition. Alfa (*stippa tenacissiam*), Armoise blanche (*Artemisia herba Alba*) et sparte (*Lygeum spartum*) sont remplacés par d'autres taxons de faible intérêt comme : *Arthrophtytum scoparium*, *Helianthemum kahiricum*, *Aristida pungens* et *Peganum harmala*. Cette dernière est toxique lorsque les feuilles sont vertes; ce caractère lui confère une grande résistance au pâturage. Ses feuilles ne sont broutées qu'une fois séchées. La raréfaction des bonnes espèces provoque également une baisse du couvert végétal. Ce couvert chute en général à 30% dans les parcours non dégradés et à 5% dans les plus dégradés (CHAIEB M. et ZAAFOURI M., 2000).

Donc on assiste à une évolution de la végétation steppique et à une prolifération des espèces non désirables et de faible valeur énergétique. Dans les zones sableuses la dégradation a provoqué l'érosion éolienne qui se traduit par la mobilité du sable avec l'apparition des

accumulations sableuses (nebka, dune, barkhane). Ces accumulations ont favorisé le développement d'une espèce psammophyte telle que Aristida pungen. Un véritable changement paysager se met en route; on passe d'un paysage steppique à un paysage désertique. La photo 2 témoigne de l'ampleur de l'avancée du sable sur les terrains de parcours et sur les infrastructures routières de la wilaya. Dans le passé ces dunes on les rencontrait uniquement dans les zones désertiques. Cet état de fait confirme l'opinion de LE HOUEROU H.N., (1995) qui disait que la dégradation «*se caractérise par un recul considérable de la végétation pérenne et sa concentration le long du réseau hydrographique tandis que se développent des systèmes dunaires et des pavements désertiques ou “reg”*. *La couverture végétale pérenne de canopée est généralement inférieure à 5% et souvent nulle*».

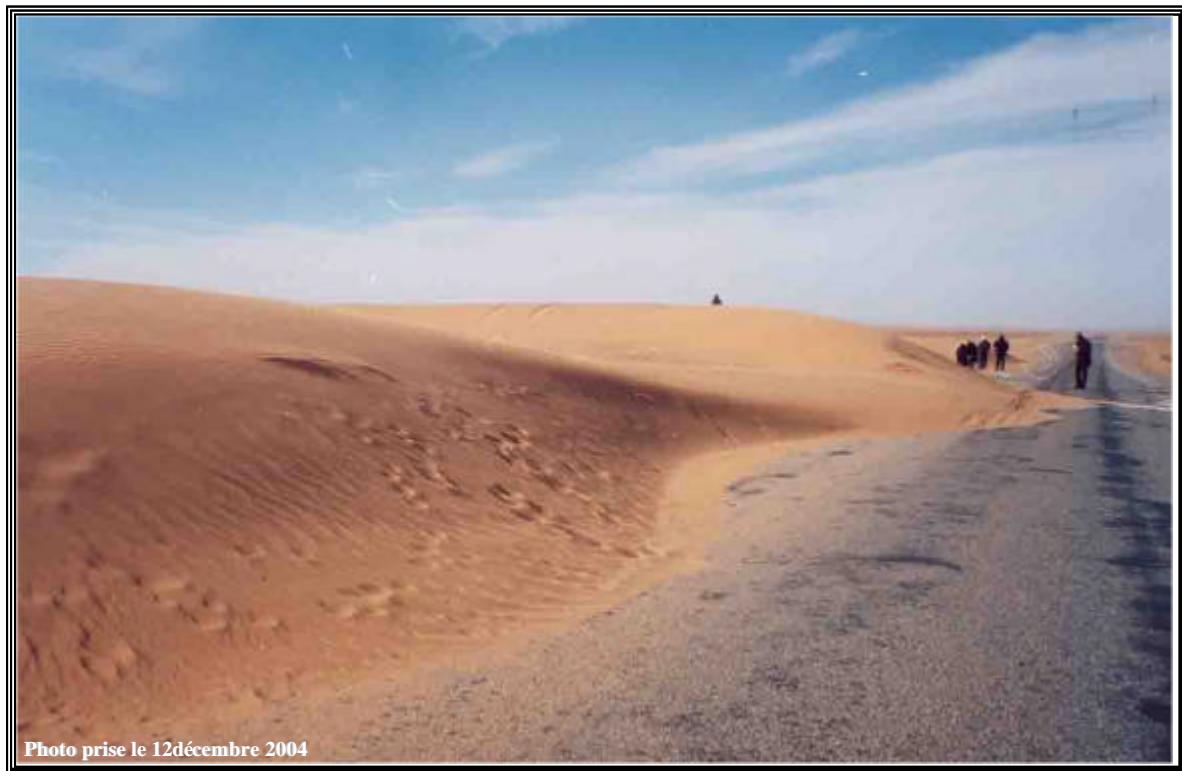


Photo 2 : Route communale barrée entre Mécheria et Ain benkhlike.

**DEUXIÈME PARTIE : DÉGRADATION DU MILIEU STEPIQUE ET
ORGANISATION SPATIALE DU SYSTÈME ÉOLIEN DE
LA WILAYA DE NAÂMA.**

**CHAPITRE III : DÉGRADATION ET ENSABLEMENT DU SOL ET DE LA
VÉGÉTATION DANS LA PLAINE SUD ORANAISE.**

3.1. DÉGRADATION DANS LA WILAYA DE NAÂMA

La zone de plaine sud Oranaise fait partie des régions arides et semi-arides de la rive méditerranéenne. De par le climat et la nature très fragile des sols, les terres agricoles et les parcours steppiques, base principale de l'alimentation des cheptels, sont constamment confrontés aux problèmes de dégradation du couvert végétal et de l'ensablement. Le phénomène d'ensablement s'est amplifié avec le temps en raison des transformations socio-économiques et des mutations des systèmes de production que connaît le monde pastoral. En effet, la conjonction de plusieurs facteurs a brisé l'équilibre : régression du nomadisme et développement de la sédentarisation, croissance démographique et augmentation des besoins de la population, défrichements des meilleurs parcours au profit des cultures céréalières, augmentation du cheptel et gestion incontrôlée des ressources naturelles. Cette situation est aggravée ces dernières années par la diminution de la pluviométrie, l'irrégularité des précipitations et l'augmentation de la probabilité des périodes de sécheresse. Ces facteurs qui ont brisé l'équilibre du milieu steppique, présentent des conditions favorables au déclenchement de l'ensablement. Ce dernier provoque la stérilisation des terres par les processus de déflation et d'accumulation des édifices dunaires. Cela engendre sans doute une réduction significative des surfaces agricoles utiles de la population steppique. Selon plusieurs auteurs ayant travaillé sur cette zone il s'agit bien d'une désertification progressive dont l'être humain est l'unique responsable à cause d'une mauvaise gestion et utilisation des terres fragiles de l'écosystème steppique. De même, dans son étude sur l'aménagement des pâturages LE HOUEROU H.N., (1991) affirme : «... *si les modes d'aménagement ne sont pas adaptés, on risque dans certains cas de voir apparaître, en quelques décennies des déserts d'origine anthropique dont l'évolution sera difficilement réversible*».

Il importe de noter que ce phénomène a connu une progression alarmante depuis les années 1980; mais en réalité il a commencé à se manifester depuis les années 1970. D'ailleurs, la sonnette d'alarme a été tirée par les pastoralistes dès le début de 1970 où la charge pastorale était deux fois supérieures à la charge potentielle. En Tunisie et dans les zones du sud, le même phénomène a été décrit par HEDI SAHNOUNN M., (1998). De plus, les travaux de (BENMOHAMMADI A., 2000; BENALLA M. *et al.*, 2003; KABIRI L. *et al.*, 2003 et DESJARDINS R. *et al.*, 2005) ont montré la progression rapide et catastrophique de la désertification et plus particulièrement dans la vallée de Drâa et la vallée de Ziz. En effet, d'après le travail de BENMOHAMMADI A., (2000) l'ensablement dans ces zones est récent et a commencé depuis 1970, auparavant ce fléau n'existe pas. Cela est validé selon le même

auteur par des témoignages anciens et par l'analyse des gravures rupestres se trouvant sur les sites.

Dans ce travail nous nous intéressons uniquement au phénomène de l'ensablement, car il n'est pas possible pour nous d'étudier l'ensemble des facteurs qui interagissent dans le phénomène de désertification.

3.2. EXTENSION DU SABLE ET ÉROSION ÉOLIENNE: PHÉNOMÈNES EN ÉVOLUTIONS

Les phénomènes de l'érosion éolienne et de l'extension de l'ensablement ne peuvent se produire que si les conditions édaphiques, climatiques et de végétation leur offrent un terrain propice, à savoir :

- l'aridité du climat;
- un sol peu profond ;
- présence d'un espace assez étendu et absence de barrières naturelles permettant de limiter la vitesse du vent pour freiner les mouvements des particules ;
- un taux de recouvrement faible de la végétation.

Les conditions énumérées ci-dessus sont en réalité omniprésentes dans cette zone d'étude; sauf que dans le passé le couvert végétal était dense. A cette époque on a parlé de «mer d'alfa» tellement il y avait une forte densité des espèces herbacées et légumineuses qui protégeaient le sol. Cette végétation a joué un rôle considérable dans le piégeage du sable et de la matière organique entraînée par le vent; matériaux qui s'accumulent au pied de chaque touffe de végétation.

La mécanisation et la motorisation ont engendré d'une façon alarmante l'extension abusive de la culture céréalière en sec et du pâturage à des endroits qui devraient être épargnés à cause de la fragilité du sol et des conditions climatiques défavorables. Dans la plus part de ces zones cultivées, les mauvaises récoltes n'y sont point l'exception, mais bien la règle (FAO, 1960). Donc il est préférable de laisser ces zones fragilisées au repos afin de favoriser une régénération permanente d'une végétation annuelle et pérenne. Cependant, cette couverture végétale permet de protéger ces surfaces afin qu'elles ne deviennent pas le point de départ d'une érosion éolienne étendue qui risquerait de rendre stériles les terrains de culture et de parcourir les plus productifs se trouvant aux alentours.

La poursuite des pratiques utilisées actuellement dans l'exploitation et la gestion des ressources naturelles et le développement de la mise en valeur dans le cadre de l'APFA, malgré les restrictions et les mesures prises par l'état, conduisent à un état de détérioration de la steppe tel qu'il sera très difficile et très onéreux de retrouver son état initial.

Dans le passé les nomades ont maintenu un parfait équilibre avec l'écosystème steppique. En effet, il y avait une occupation ordonnée de terroirs de culture au nord et au centre et une fluidité des déplacement des hommes et des bêtes du nord et au sud (SAHLI Z., 1997).

Ces dernières années on assiste à un déséquilibre écologique qui a favorisé l'extension phénoménale de l'ensablement dans des endroit, épargnés auparavant. Les causes sont plus complexes qu'on l'imagine dont le facteur humain a une grande responsabilité. Le défrichement, l'agriculture extensive et itinérante, l'arrachage des espèces ligneuses, l'évolution de la population, la sédentarisation des nomades et le surpâturage sont autant de facteurs qui ont contribué à la création des conditions les plus propices pour que l'érosion éolienne prend un telle ampleur. Cette dernière a comme point de départ les zones ayant un sol sablonneux dépourvu d'une couverture végétale. L'ampleur du phénomène réside dans sa vitesse de propagation amplifiée par les vents efficaces. Il gagne du terrain au fur et à mesure que la végétation avoisinante est détruite ou enterrée.

Nous avons souhaité en premier lieu avoir une idée simpliste sur la dimension spatio-temporelle de l'extension du sable dans la wilaya de Naâma. Avant même d'exploiter les photographies aériennes ainsi que les images satellitaires, nous avons recueilli quelques témoignages auprès de la population nomade et sédentaire. Ces témoignages portaient sur la date où le phénomène a commencé réellement ainsi que sur les dégâts causés à l'intérieur des agglomérations. A cet effet, la plus part des personnes interrogées ont confirmé que l'ensablement a commencé à se manifester à l'intérieur des villes à partir des années 1980. D'ailleurs, selon les membres de l'association de Mécheria la localité «Fogara» située dans la commune d'El Biad au nord de Mécheria a été complètement enfouie dans le sable (Cf. Photos 3). A cela s'ajoute le travail de BOUABDELLAH H., (1991) qui confirme ces témoignages. L'auteur a travaillé sur un espace se trouvant au nord de notre zone d'étude. Il disait : «*l'exemple de la zone de Ain Taga au sud de Tilkial, la zone de Oglat Djedida et toute la région de Magoura permet de constater un phénomène tout récent datant de quelques années l'accumulation sableuse autour du couvert végétal sur les touffes d'alfa et d'armoise*».



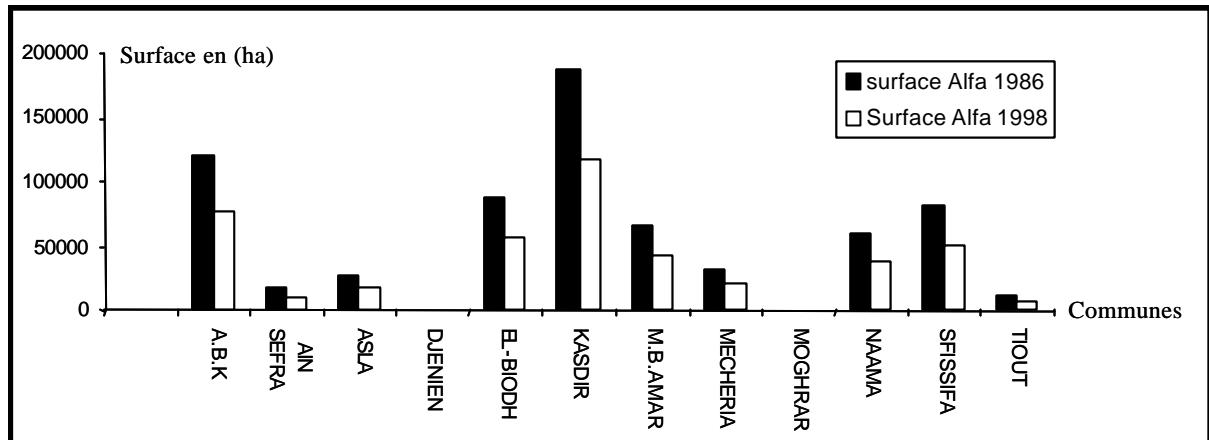
Photo 3 : Village ensablé dans la localité de Fogara de la commune d'El Biod.

3.2.1. Régression de la végétation : un facteur favorable à l'extension de l'érosion éolienne

Une étude réalisée par AIDOUD A. et TOUFFET J, (1996) dans la zone de Rogassa, qui se trouve au nord ouest de Mécheria, a révélé en moins de 20 ans une diminution de la biomasse verte de l'alfa de 1500 ± 100 à 80 ± 40 kg MS/ha. Selon ces auteurs la régression est accélérée à partir de 1985. Cependant, l'étude réalisée par le Bureau National des Etudes pour le Développement Rural (BNEDER) en 1986 et par la conservation des forêts de la wilaya de Naâma en 1998 a montré une régression dans la superficie des parcours à alfa, et pour toutes les communes de la wilaya, en moyenne de 1766 hectares par an (Cf. Figure 27). En 1986 l'alfa représentait un tiers de la surface totale. Les parcours dont le taux de recouvrement est supérieur à 90% occupaient une surface de 12% de la surface totale de l'alfa, par contre 55% sont occupés par l'alfa avec un taux de recouvrement compris entre 60 et 70%.

Il est à noter que les chiffres avancés par le BNEDER et par la conservation des forêts concernant la régression de l'alfa sont sans doute aujourd'hui différents. D'après notre connaissance de terrain l'alfa a complètement disparu. Nous avons parcouru une grande partie de la zone d'étude et nous avons rencontré l'alfa uniquement dans des zones protégées et

mises en défens notamment dans la localité de Forthassa appartenant à la commune de Sfissifa (Cf. Photo 4). En effet, L'alfa a connu une régression rapide dans toutes les communes de la wilaya. Ce sont les communes du nord et du nord-ouest qui sont les plus touchées.



Source : DGF en 1998 et BNEDER en 1986.

Figure 27 : Régression de la superficie des parcours d'alfa durant la période 1986 et 1998 dans la wilaya de Naâma.



Photo 4 : Parcours d'alfa en bon état dans la localité de Forthassa commune de Sfissifa ;

La disparition de l'alfa entraîne celle de nombreuses espèces dont la présence est liée à celle de l'alfa notamment : *Sedum sed-forme*, *Dactylis gloriosa*, *Xeravrthemum inapertum* et *Centaurea iarana* (AIDOUD A., 1989) in : (ABDELGUERFI A. et LAOUAR M., 1996).

Dans la région d'étude et durant notre mission de terrain, nous avons rencontré les membres de l'association pour le développement et la protection de la nature de la commune de Mécheria afin de les interroger sur la dégradation et la régression de la végétation steppique et plus particulièrement sur l'alfa. Selon ces membres de l'association et des témoignages récoltés auprès des agropasteurs des communes de Ain Benkhelile, de Mécheria, de Mekmene Ben Amar et de Naâma l'alfa a connu une régression rapide et alarmante à partir de 1984. Cette année fut la plus sèche avec un déficit de 82% par rapport à une moyenne annuelle de long terme (293 mm).

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

Ce phénomène est observé dans la bordure droite en allant de Mécheria vers Mekmene Ben Amar et dans certains endroits à l'ouest du versant sud-ouest du djebel Antar. Ces endroits REMAOUN K., (2004) les qualifie comme des zones de déflation, et l'accumulation se fait plus loin dans la direction dominante des vents.

D'une façon générale la disparition progressive du couvert végétal engendre :

- une diminution de la matière organique qui provoque une destruction des propriétés physico-chimiques du sol et une réduction en fertilité;
- la disparition de la partie meuble qui empêche le glaçage du sol lors de fortes pluies;
- un faible recharge en eau des réserves souterraines et une mauvaise économie en ressources hydriques¹

3.2.2. Analyse dynamique éolienne des anciens cordons dunaires

Les édifices dunaires présents dans la région : grande dune de Magroune, la dune de Ainsefra et de Djebel Antar dans un environnement aride modelé par l'intervention des vents de une à

¹ Toute l'économie de la wilaya est basée sur ces ressources souterraines.

deux directions dominantes, rendus possibles par l'irrégularité topographique imposée par la chaîne Atlasique.

La formation de ces anciennes dunes est assez complexe. Toutefois, elles ont évolué avec une dynamique éolienne agissant sur l'édification de leurs morphologies. Ces dunes ont acquis avec le temps une forme longitudinale selon la même direction que les chaînons de l'Atlas saharien (sud-ouest nord-est).

Selon MAINGUET et al., (1984) in : TAÏBI A., (1997) ces dunes sont considérées comme des zones d'exportation de sable. Elles sont mises en place dans une aire à bilan négatif. Dans l'ensemble ces dunes paraissent stables, mais la fragilité du milieu aggravé par les phénomènes épisodiques de sécheresse ces dernières décennies a perturbé cette stabilité. A cet effet, il n'en demeure pas moins qu'elles constituent une source d'alimentation en sable pour les différentes zones situées plus en aval de ces édifices dunaires.

Les observations effectuées sur le terrain ont montré une stabilité précaire du cordon dunaire de djebel Antar sur les deux flancs mais la partie frontale du cordon apparaît très active. Le passage des grains de sable de l'autre côté sous le vent s'effectue à l'aide de la présence d'une cluse «foum²». Cette dernière constitue un passage préférentiel où le transit éolien est canalisé. A l'extrémité nord du cordon les mesures instantanées de direction des vents au niveau des rides (ripples marks) au sommet attestent la présence d'une direction dominante en direction de l'est-nord-est. A ce même endroit nous avons noté l'existence de dépressions de forme ovale aux couloirs inter-dunaires allongées suivant la direction sud-ouest nord-est.

Quant au cordon de Ainsefra il connaît le même sort. Il est stabilisé sur les deux cotés latéraux mais la progression se fait du côté frontal du cordon. Le flanc nord-ouest du djebel Mekter bloque la progression du cordon vers l'est. Toutefois, la présence de la végétation psammophile et clairsemée ne peut pas stopper les matériaux alluvionnaires prélevés dans l'oued Breidj et les terrasses à proximité qui viennent se déposer et s'accumuler sur le cordon de Ainsefra. Le lit fluvial de l'oued Breidj à l'amont de la cluse de Ainsefra constitue un important fournisseur de matériaux sableux qui s'accumulent sur la rive gauche freinés soit par la végétation soit par des obstacles naturels. La réactivation du côté frontal a causé

² Mot arabe qui veut dire bouche. Il correspond au ce débouché d'une gorge étroite ou d'un défilé sur une plaine (BENMOHAMMADI A. et al., 2000).

plusieurs dégâts d'ensablement des constructions se trouvant à l'aval du vent et à proximité de la rive gauche de l'oued.

Le cordon de Magroune connaît lui aussi une remobilisation dans sa partie frontale qui a donné naissance à d'autres formations dunaires de type bouclier barkhanique très vif.

Le mécanisme de progression de ces dunes a été mis en évidence par le travail réalisé par l'agence TAD en se basant sur l'étude réalisée en Mauritanie par MEUNIER J. et ROGNON P., (2000). D'après leur étude le transport du sable se fait de deux façons :

- par gravité au niveau des talus d'éboulement alternant avec les saisons. Pendant la première saison, le vent soulève des grains de sables sur le flanc de la dune exposée au vent pour le faire déposer du côté sous le vent par avalanches successives. Au cours de la seconde période, un autre vent dominant et suite à l'influence orographique et de son agencement a tendance à modeler les accumulations sableuses en transportant le sable dans une direction perpendiculaire à celle créée par le premier vent. Ainsi, le travail des vents saisonniers donne naissance à une résultante saccadée vers le nord-est matérialisée par le front de la dune;
- en suspension turbulente le long du flanc. Les grains de sable sont dirigés selon la topographie du cordon dunaire vers le front où ils se déposent.

Il importe de signaler que la connaissance du sens des vents qui ont contribué à l'édification des anciennes dunes ne peut être confirmé en se référant uniquement aux travaux de terrain effectués à une échelle locale. L'étude de ces édifices et de leurs progressions incitent à l'utilisation des données géographiques à référence spatiale et multi-temporelle à différentes échelles pour avoir une idée assez précise sur la tendance de la progression. Il se peut que d'une période à une autre la tendance change de direction. Les vents dominants qui font progresser les accumulations sableuses sont généralement influencés par des phénomènes climatiques (anticyclone subtropical des Açores, mouvements des courants océaniques et la circulation du front intertropical), orographiques et édaphiques assez complexes qui interagissent entre eux.

Une recherche sur la dynamique éolienne, appliquée sur trois zones tests distantes seulement d'une dizaine de kilomètres, menée par BENALLA *et al.*, (2003) a montré l'impossibilité de caractériser un régime éolien en se basant uniquement sur les données d'un seul secteur. Ces

auteurs se sont aperçus qu'à l'intérieur d'un secteur le régime du vent au cours d'une période peut être remplacé par un autre de direction opposée.

Dans notre cas le sens de progression de la dynamique des cordons dunaires a été déterminé en utilisant les systèmes d'information géographique et la télédétection. Ainsi, une synthèse de photo-interprétation est proposée (Cf. Figure 28). Cette synthèse est basée sur l'exploitation de trois scènes images ETM+ de Landsat et des données cartographiques anciennes (cartes topographiques et carte géologique). Vu l'étendue de la zone une mosaïque des trois scènes images géoréférencées a été établie à l'aide du logiciel ENVI³. Cette mosaïque a été intégrée dans un SIG pour pouvoir extraire les nouvelles limites spatiales des anciens cordons dunaires ainsi que pour déterminer le sens de migration à l'échelle de la wilaya. Cependant, les limites anciennes des cordons ont été directement digitalisées à l'aide d'un SIG après avoir scanné et géoréférencé les anciens documents cartographiques. Finalement, nous avons obtenu deux fichiers en format vectoriel sur les anciennes et les nouvelles limites des cordons dunaires. Sur la base de ces deux fichiers il a été possible de mesurer la distance de progression de chaque cordon pendant les 45 dernières années par croisement (overlay) (Cf. tableau 25).

³ Environment visualising image

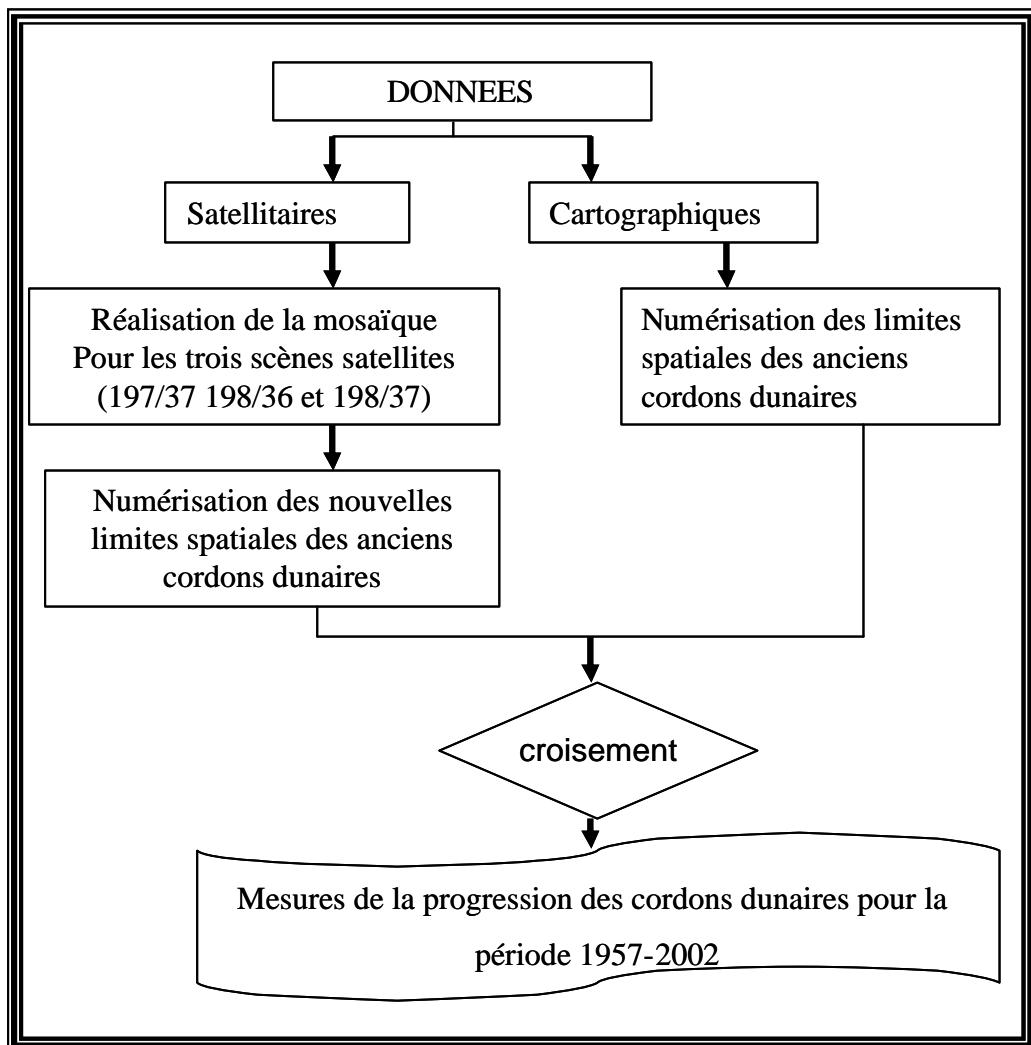


Figure 28 : Méthodologie pour l'établissement de la progression des anciens cordons dunaires entre 1957 et 2002.

Cordon dunaire	Superficie 1957 en (ha)	Superficie 2002 en (ha)	Progression de la superficie en (%)	Progression vers le nord		Progression vers l'est	
				Distance parcourue en (km)	Progression en (m) par an	Distance parcourue en (km)	Progression en (m) par an
Djebel Antar	4100	6300	54	1	22	1.9	42
Magroune	8300	14630	76	1.2	27	2.6	57
Ainsefra	1463	5818	298	1.7	38	5	111

Tableau 25 : Progression des trois anciens cordons dunaires de la wilaya de Naâma entre la période 1957 et 2002.

D'après le tableau ci-dessus il ressort que dans la localité de Ainsefra la progression de la dimension spatiale du cordon dunaire à triplé, soit une progression d'une superficie de 96 hectares par an. Quant aux autres cordons la progression est moins importante, mais ils

constituent de véritables zones de source d'alimentation en particules de sable vers les régions de la wilaya ainsi que sur les infrastructures.

3.2.3. Analyse dynamique éolienne de la partie sud-ouest du Chott Chergui

Dans la partie sud-ouest du Chott chergui il existait des accumulations sableuses qui se sont formées dans le passé en deux temps : 1) prélevement des matériaux fins d'alluvions charriés par les oueds et le sel dans des espaces secs du Chott; 2) dépôt de ce matériel éolien dans la partie aval du vent dominant à l'encontre des obstacles que constitue la végétation et la topographie.

L'analyse dynamique éolienne de cet espace a été réalisée par photo-interprétation des photographies aériennes et des images satellites d'une part, et recueil des observations effectuées sur le terrain d'autre part. Cette analyse a révélé la formation de nouvelles accumulations sableuses. Leur mise en place suggère deux hypothèses : 1) mobilité et réactivation des anciennes dunes après avoir rompu leurs équilibres écologiques par le facteur humain (destruction du couvert végétal) l'aridité du climat et la sévérité des sécheresses; 2) création de nouvelles accumulations à partir des zones sources que constitue la région. Nous donnons plus de précision dans le chapitre 4.

Les différents dépôts sableux récents relevés sur le terrain sont de deux types : des nappages et des édifices de type barkhanique.

3.2.3.1. Nappage de Sable

Le nappage de sable est en fait le résultat d'un saupoudrage diffus des particules fines après une régression nette du couvert végétal qui protège le sol. Il est considéré comme un dépôt de sable un peu épais de 5 à 25 centimètres d'épaisseur moyenne qui se propage suivant la direction du vent dominant en formant de véritables zones d'accumulation qui s'étalent de quelques mètres à plusieurs kilomètres (REMAOUN K., 2004). Ces nappages créent par endroit des micro-topographies et des nouveaux paysages qui auparavant appartenaient à un milieu désertique.

Plusieurs zones sont touchées par ce phénomène et plus particulièrement les espaces dépourvus de tous obstacles naturels. Le long de la route qui relie Mécheria à Mekmen Ben Amar et à l'extrémité sud-ouest de djebel Antar nous avons noté sur une steppe dégradée à

armoise blanche (*Herba Alba*) la présence de nappage presque continu interrompu par des zones de déflations (reg). L'étendue de sable qui couvre la végétation steppique non psammophile témoigne qu'il s'agissait d'une mobilité récente. Cependant, les espèces graminées ont cédé la place aux espèces psammophiles qui gagnent du terrain de plus en plus avec l'avancée du sable.

Les mesures effectuées sur la direction des rides à crête ont montré une mobilité qui s'effectue le long de la direction ouest-est. D'autres nappages de sable sont localisés au nord-est de la dune tombante du djebel Antar. A cet endroit les nappages constituent une sorte de relais entre les divers champs de dunes anciens et la mobilité instantanée se fait du nord-est au sud-ouest ou du nord-nord-ouest au sud-sud-est. La dernière zone investiguée se localise entre Mécheria, djebels Guetob et Hafid, Naâma et Faidjet El Betoum⁴. A l'intérieur de cet espace, sur plusieurs kilomètres de part et d'autre de l'axe routier, se sont formés des nappages de sable dont l'épaisseur dépasse généralement les 20 cm.

Au cours de la mission de l'année 2001 et pendant 3 jours de vent de sable nous avons constaté la formation des rides parallèles à sommet de crête aiguë souvent aplani dont le front est tourné vers le nord-est et vers l'est.

Il est à noter que dans les différents endroits cités ci-dessus nous avons remarqué la formation de nebkas en présence des obstacles naturels et artificiels sur la trajectoire des mouvements des sables. En quelque jour de vent fort il y a eu l'édification des nebkas de taille conséquente s'allongeant systématiquement au nord-est des touffes de végétations.

Les nebkas à l'ouest de djebel Antar et sur la bordure droite de la route nationale RN6 en se dirigeant vers Ainsefra en sont significatives. On rencontre ce type de formation dans la partie méridionale entre Naâma et la commune de Asla. A cet endroit les Tamarix en piégeant le sable ont contribué à la formation des nebkas.

3.2.3.2. Édifices Dunaires

Ces dernières années on assiste à des amoncellements sableux ayant une morphologie de type barkhanique qui viennent renforcer les anciennes dunes. Cependant, les barkhanes se sont édifiées à plusieurs endroits du territoire de la wilaya. Leur morphologie peut différer d'une

⁴ Couloir orographique à fond plat orienté sud-ouest au nord-est entre djebels Morhad et Aissa.

zone à l'autre par son stade d'évolution et ce grâce à plusieurs critères d'ordre naturels (reliefs, nature de substrats, présence ou absence de la végétation, force et fréquence des vents efficaces, etc.) et artificiels (bloc de défonçage de la dalle calcaire laissés sur place, remblais créés par les carrières, barrières de mise en défens, etc.).

Les barkhanes récentes ont 6 à 8 mètres de large, 1.5 mètres de haut et 8 à 10 mètres de long. Quant elles s'alignent en cordon on trouve souvent de part et d'autre de ce dernier deux à trois petites barkhanes isolées à très long bras (3 à 6 mètres) et dont la hauteur est inférieure à 1 mètre. Elles ne restent pas isolées mais elles se coalisent pour donner naissance à un édifice dunaire plus ou moins complexe allant de formation barkhanique à de véritables massifs dunaires.

Dans l'espace sud-ouest du djebel Douch jusqu'au djebel Hafid au nord plusieurs champs barkhaniques se sont développés dont la partie méridionale fut stabilisée par une couverture végétale composée essentiellement par la sparte (*Lygum spartum*). Il en est de même pour la zone de Ain Benkhelile (Piémont est du djebel Hafid et djebel Guetob) où se sont formées plusieurs barkhanes isolées constituant ainsi un champ dunaire aéré dont le front des édifices sableux est tourné vers l'est-nord-est (N 72°). De même, sur les bords est de sebkhat Naâma un champ de barkhane s'est formé suite au blocage causé par les clôtures des exploitations de mise en valeur.

3.2.4. Genèse de nouvelles accumulations sableuses et mise en valeur agricole

La mise en culture systématique impliquant une augmentation de la rugosité de surface (sillons de labours, constructions agricoles...) et/ou une modification de la topographie initiale entraînent inévitablement de forts processus d'ensablement par blocage de transit de sable (TAÏBI A., 1997).

Les zones mises en valeur présentent un caractère net d'ensablement. Les haies et les brise-vents protecteurs des parcelles agricoles sont systématiquement marqués par les placages de sables vifs du côté nord-ouest et sud-ouest.

Avec l'avancée du sable et les différents problèmes cités ci-dessus, certains périmètres agricoles ont été abandonnés après une ou deux années d'exploitation. Le sol défriché et abandonné devenait une cible potentielle du vent. Toute la matière fine constituant le sol est

empruntée par le vent et il ne reste que les particules lourdes. Ainsi, les particules lourdes se transforment en un piège de sable pour la formation des accumulations sableuses.

A l'est de Mécheria en direction de Tousmouline⁵ nous avons relevé la présence de plusieurs parcelles agricoles, clôturées totalement ou en parties et qui étaient ensablées. Toutes les parcelles sont recouvertes d'un voile sableux, mais les dégâts n'ont pas la même ampleur d'un périmètre à un autre. Toutefois, dans certains cas, nous avons observé des parcelles ensablées à 100%. Ces parcelles sont abandonnées par leurs propriétaires qui ne possèdent pas les moyens pour les remettre en valeur. Cependant, l'abandon de ces espaces agricoles a engendré de nouvelles accumulations sableuses. Il est fort probable que les clôtures ainsi que les blocs, laissés sur place, de la dalle calcaire défoncee ont contribué au piégeage de sables qui transitent selon le courant éolien du nord-ouest au sud-est et du sud-ouest au nord-est. Nous avons fait les mêmes constatations dans les périmètres de **Sedrat el Ghozlan** au sud ouest de Naâma, de **Daiet es Souid** et de **Daiet el Hamra**.

Les photos 5 et 6 prises dans la zone de Naâma témoignent de l'ampleur des dégâts causés par le sable sur les parcelles agricoles attribuées au cours de l'opération de l'APFA. La photo 6 montre comment les palissades ont contribué à la formation de petites dunes. Les brise-vents ainsi créés au lieu de stopper le sable ont favorisé son accumulation.



Photo 5 : Formation de petite dune au niveau des palissades qui protège nt la mise en valeur.

⁵ Commune appartenant à la wilaya d'El Bayadh se trouvant à l'est de la wilaya de Naâma.



Photo 6 : Le sable s'accumule au niveau des palissades qui protégeant la mise en valeur dans la commune de Sfissifa.

Les périmètres mis en valeur vont-ils résister à ce phénomène sachant qu'il existe au sein des périmètres des parcelles agricoles sans protection (Haie, palissade, pratique de conservation et de gestion du sol, etc.). L'ampleur et les dégâts causés par l'ensablement (tendance la plus courante dans la région) nous font réfléchir sur l'affection des terres mises en valeur à l'intérieur de chaque commune.

En premier lieu, il nous a semblé que les collectivités locales ainsi que les organismes (directions des forêts, haut commissariat pour le développement de la steppe, commissariat pour le développement de l'agriculture en région saharienne, direction des services agricoles de wilaya et générale des concessions agricoles) chargés de l'exécution de la loi portant sur l'APFA n'ont pas pris en considération tous les facteurs et les contraintes d'ordre naturel (ensablement, érosion hydrique, force et direction du vent, localisation des zones potentielles en sables,...) qui pouvaient limiter la réussite de l'opération.

Après avoir réalisé une recherche bibliographique et des enquêtes menées auprès des organismes cités ci-dessus, il s'est avéré que seulement des critères d'évaluation portant sur la disponibilité en eau et en terres et la viabilité économique de l'exploitation étaient pris en considération. D'ailleurs, ces critères sont mentionnés dans le journal officiel de 1983 «*la localisation opérée à l'initiative des collectivités locales porte sur des terres situées dans et autour de concentrations agricoles existantes ou potentielles, notamment du fait de la disponibilité de la ressource en eau*». Par contre, les contraintes d'ordre naturel ont été complètement oubliées et mises à l'écart. Depuis le début des années 1980 la steppe voit sa végétation régresser d'une manière phénoménale. Cette régression a facilité le développement de l'érosion éolienne suite à l'absence de la végétation graminée et légumineuse qui assurait autrefois une excellente protection du sol.

A travers une analyse effectuée sur les images du satellite Terra Aster nous avons pu montrer comment le mouvement dynamique de sable des zones sources pouvait mettre en échec les terres mises en valeur. A cet effet, trois périmètres ont été choisis (Cf. Tableau 26).

Périmètre	Surface agricole mise en valeur (ha)	Nombre de propriétaire	Localisation
Sedrat El Ghozlan	144	15	A 10 km au sud ouest de Naâma
Daiet es Soid	25	8	Au nord-est de Naâma
Daiet el Hamra	19	3	Au nord-ouest de Naâma

Source : DSA de la wilaya de Naâma

Tableau 26 : Périmètres de mise en valeur dans la commune de Naâma

Après avoir localisé ces périmètres sur les images satellitaires, une analyse de photo-interprétation a été faite sur l'emplacement de ces périmètres vis-à-vis de l'orientation du déplacement du sable. Cette analyse a révélé que des édifices dunaires représentent une menace certaine sur les productions agricoles ou les installations adjacentes. Ces périmètres se trouvent complètement dans le couloir des déplacements de sable. En effet, la figure 29 illustre d'une manière claire que le périmètre de *Sedrat el Ghozlan* se trouve dans une zone de transit de sable. Vu l'étendue des voiles sableux, ce périmètre ne peut pas être épargné et toutes les parcelles mises en valeur ont été ensablées malgré les interventions quasi-quotidiennes des propriétaires. Cependant, le pourcentage des zones ensablées varie d'une

parcelle à une autre suivant sa position vis-à-vis de l'orientation des déplacements potentiels du sable (BELMAHI⁶ M.N., 2004). De même, le périmètre de *Daiet el Hamra* est localisé dans une daya entourée par des espaces ensablés.

La visualisation des images ASTER nous a permis de constater que la plus grande surface de mise en valeur se trouve dans la localité de Ain Benkhelile (Cf. Figure 30). A cet endroit et à une distance de 6 kilomètres à l'ouest, il existe deux grands édifices dunaires qui progressent vers les contrées de la wilaya dans la direction nord-ouest sud-est. Face à cette situation tous les périmètres sont menacés par la progression du sable. D'ailleurs, l'enquête a révélé que certains ont abandonné leurs parcelles agricoles.

Donc, la position de ces périmètres dans le couloir de transit de sable ne permet en aucun cas leur gestion durable si les aménagements de grande envergure ne sont pas envisagés par les décideurs et les élus locaux. Selon les scientifiques le sable doit être stoppé depuis les zones sources avant d'entamer les autres aménagements à l'échelle locale.

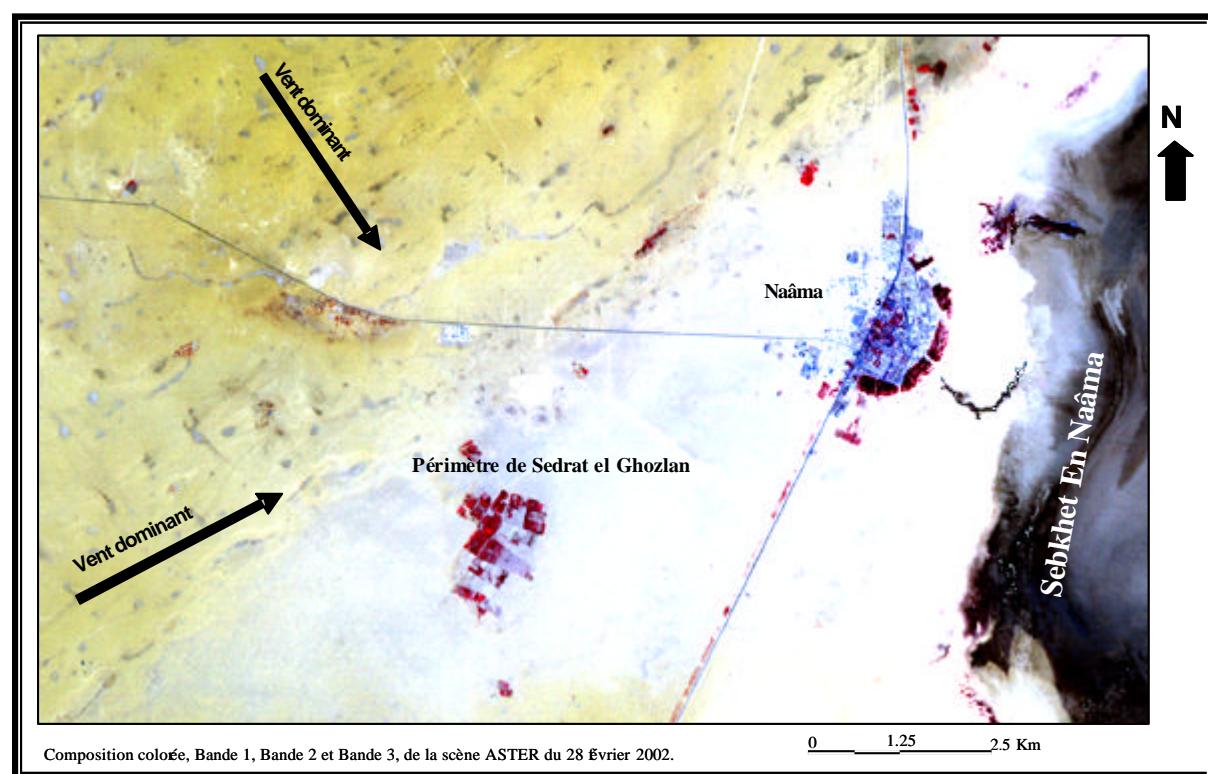


Figure 29 : Périmètre de mise en valeur de *sedrat el Ghozlan* dans la commune de Naâma et l'avancée de sables.

⁶ Communication orale durant les journées géographiques algériennes 7-8 décembre 2004 à l'université d'Es-Senia Oran. La communication est intitulée «**Ensablement des nouvelles exploitations agricoles en milieu steppiques : étude de cas dans la wilaya de Naâma et d'El Bayadh**».

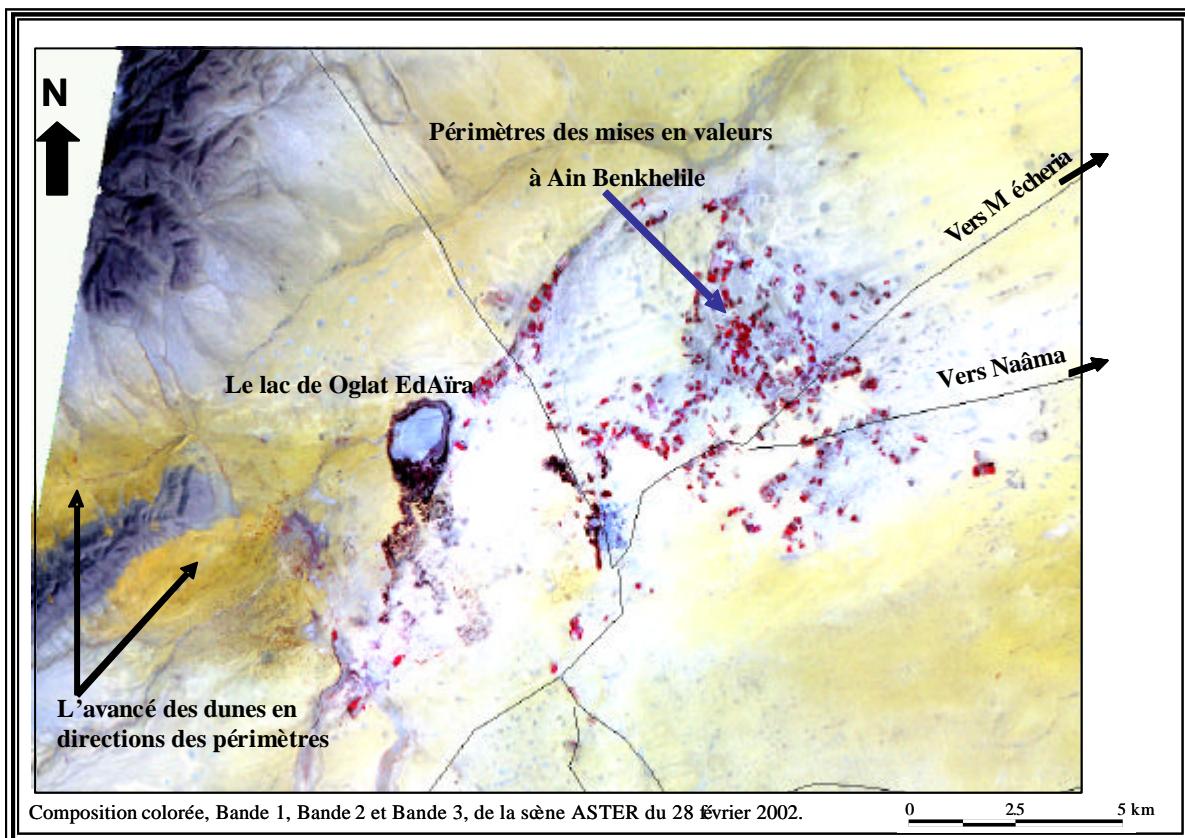


Figure 30 : Périmètres des mises en valeurs de *Ain benkhelile* dans la commune de Ain benkhelile et l'avancée de sables.

Toutefois, il existe des parcelles agricoles dans la commune de Ain Benkhelile qui résistent à ce phénomène est cela grâce à l'intervention quasi permanente du propriétaire. Certains propriétaires se débarrassent de temps en temps des édifices dunaires (barkhane, dune en forme de dôme) qui s'installent autour de leurs parcelles. Des gros moyens sont utilisés pour disperser les accumulations sableuses loin des parcelles agricoles. Les parcelles de jeunes bénéficiaires de l'APFA qui n'ont pas suffisamment de moyens sont abandonnées après avoir été complètement envahies par le sable.

Nous estimons que dans cette région avant de mettre en exécution le projet de mise en valeur il est judicieux de réfléchir sur la manière dont il faut procéder pour stopper l'ensablement qui menace toute la région et réhabiliter d'une façon progressive la végétation steppique qui se régresse d'année en année. A cet effet, nous avons consacré tout un chapitre pour définir le sens de migration des sables à l'intérieur de la wilaya ainsi que l'organisation spatiale du système éolien de la zone d'étude.

Les terres mises en valeur dans des conditions naturelles rudes nécessitent des moyens considérables (mobilisation des infrastructures hydrauliques et autres, soutien financier des

agriculteurs, suivi de l'état des périmètres sur le terrain, ensemencement et aménagement de la steppe, etc.).

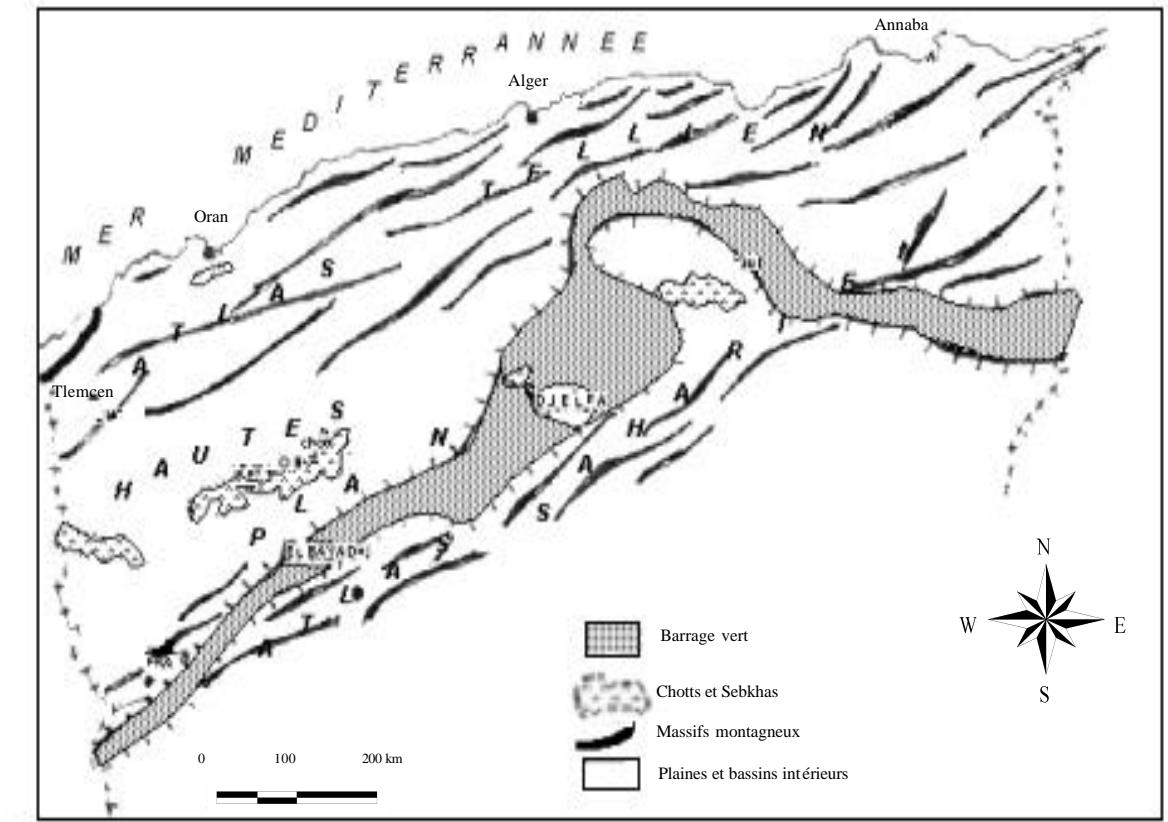
Selon BEDRANI S., (1993) les aménagements nécessaires à une mise en valeur généralisée des zones steppiques coûtent trop cher. Ainsi, les dépenses intégrales à long terme de l'état pour le maintien de ce projet sont impossibles à concevoir et la participation des usagers de ressources naturelles s'avèrent indispensable pour la durabilité.

Même si l'État a les moyens pour le financement de la réhabilitation et de l'aménagement de la steppe, il serait recommandé d'impliquer la population concernée et d'éviter l'économie de rente des années 1970 qui n'était pas favorable au développement.

Enfin, l'ensablement a mis en échec la mise en valeur des terres steppiques, et les terres mises en valeur en un certain endroit ont donné naissance à de nouvelles accumulations sableuses.

3.2.5. Genèse de nouvelles accumulations sableuses et barrage vert

Suite aux sécheresses qui ont débuté au Sahel en 1968 et au Maghreb à partir des années 1970, les autorités ont décidé de planter un grand barrage vert sur une bande de 1000 km de long et d'environ 20 km de large allant de la frontière Marocaine à la frontière Tunisienne. Le champ d'intervention du barrage vert est constitué par la zone présaharienne comprise entre 300 mm au nord et 200 mm au sud (Cf. figure 31). Le but recherché par les autorités était de faire face et d'enrayer l'avancée du sable sur les terres steppiques septentrionales et les infrastructures socio-économiques.



Source : (BENSAID S., 1995)

Figure 31 : Limite du barrage vert.

D'après BALLAIS J. T., (1994) l'opération du barrage vert lancée en 1972 par l'Algérie est inspirée du modèle appliqué par les soviétiques et les chinois. Ce modèle consiste en un projet élaboré dans les années 1950 pour encercler le grand désert du Gobi par une œinture verte afin d'arrêter le sable.

A l'époque les autorités algériennes croyaient que le mouvement de sable du Sahara algérien suivait le même modèle que celui appliqué au Sahel où le mouvement dynamique éolien du sable tende en année sèche à envahir certaines parties de la steppe arborée en raison de l'efficacité des alizés du nord-est. Or, au niveau de l'Atlas saharien, la situation diffère complètement et ce sont les vents d'ouest qui sont les plus efficaces. Selon MAINGUET M., (1995) en dehors des zones limitées entre 0 et 25 degrés dans les deux hémisphères terrestres et dans les zones polaires la circulation est d'ouest.

Notre analyse anémométrique effectuée sur les deux stations de Mécheria et de Ainsefra a montré que la résultante des vents est d'ouest avec un basculement du nord vers le sud

pendant les saisons. De même, l'étude réalisée par CALLOT Y. (1987) a révélé la direction du nord-nord-ouest (N 336°).

Ceci montre les erreurs commises par les responsables et l'absence de vision scientifique dans des projets de grande envergure. Ainsi, la mise en place du barrage vert est basée uniquement sur une vision technocratique et l'aspect scientifique a été mis à l'écart (BALLAIS J. T., 1994).

Le barrage vert est conçu au départ comme une opération de reboisement, de plantations fourragères et de mis en défens des parcours, de travaux de fixation des dunes et de développement de l'arboriculture. Les reboisements sont en majorité de Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*) et accessoirement d'eucalyptus avec de rares cyprès.

Dans cette étude le barrage vert a été choisi comme un critère de repère dans le temps et dans l'espace. Un repère dont on connaît que la majeure partie a été effectuée entre 1972 et 1980. Dans la plaine sud Oranaise le barrage vert se trouve sur des terrains plats ou de faible pente, le long de la route nationale (RN6) et autour des agglomérations comme une ceinture verte de protection. Il se présente en une série de bosquets implantés sur l'un des bords de la route avec une largeur ne dépassant pas les 100 mètres à l'exception du barrage vert au nord-est de Mécheria qui a une dimension assez grande (3 km de longueur et 1.3 km de largeur). Les blocs de la dalle calcaire laissés sur places témoignent des travaux de routage de la dalle au moment du reboisement.

Actuellement le barrage vert se trouve dans une phase de dégradation très avancée. Victimes de la sécheresse, du surpâturage, de la chenille processionnaire, les arbres n'ont pas pu survivre. En effet, BENSAID S., (1995) a estimé le taux de réussite du barrage vert dans toute la steppe Algérienne à 45%.

Suite aux travaux de terrain effectués au mois de mai de l'année 2001, 2002, 2003 et le mois de décembre 2004 par l'équipe du professeur Remaoun, nous avons relevé la mise en place de nouvelles aires sableuses (nappage, barkhane, voile sableux) à l'intérieur même du barrage vert. A mi-chemin entre Naâma et Ainsefra dans la localité dite Mekalis, une portion de 500 m² se trouvait complètement submergée sous le sable. De même, il existe des cordons barkhanoïdes tout au long de la route d'El Biad jusqu'au premier contrefort de l'Atlas

saharien (djebel Aissa). Ces accumulations sont récentes et postérieures à la date du lancement de l'opération du reboisement.

Afin d'avoir une idée sur l'évolution de la dynamique de l'ensablement, nous avons procédé à une analyse des documents cartographiques et numériques avant et après le barrage vert. Les documents anciens (cartes topographiques au 1/200000, carte géologique au 1/500000) montrent l'existence de certaines aires sableuses et de champs barkhaniques sur les bordures du Chott Chergui, à l'extrême nord-ouest du djebel Antar, sur les bords sud-est de sebkhat Naâma et sur le piémont nord-ouest du djebel Morhad. De même, au sud du djebel Gaaloul et au flanc nord-ouest de djebel Mekter situé au sud-ouest de Ainsefra. Toutefois, aucune accumulation sableuse n'est signalée dans ces documents le long des axes routiers et dans les espaces steppiques. Même dans les images MSS de Landsat de 1972 ces accumulations n'apparaissent pas.

**CHAPITRE IV : DYNAMIQUE ÉOLIENNE DANS LES STATIONS DE MÉCHERIA
ET DE AINSEFRA**

4.1. ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE ÉOLIENNE

Dans les régions arides et sèches le phénomène le plus répondu est celui de l'érosion éolienne. Ces dernières années nous assistons dans notre zone d'étude à l'évolution de ce phénomène qui a pris l'allure d'une véritable calamité. Il frappe en particulier les zones qui connaissent une forte pression humaine sur les ressources naturelles conjuguée avec un climat aride à pluviosité saisonnière très irrégulière. Par son mécanisme complexe et dangereux au cours de sa phase initiale, l'homme ne peut pas déceler les dommages et les dégâts qu'il engendre. Ces derniers deviennent visibles et décelables généralement à un stade avancé de dégradation (MAINGUET M., 1995).

A l'intérieur de ces espaces arides dont le couvert végétal est inférieur à 35%, le vent est considéré comme l'unique agent dynamique de l'érosion éolienne. Sa vitesse varie en fonction de l'éloignement par rapport au sol. A ras du sol, niveau situé entre 0.03 et 2.5 mm, la vitesse du vent est nulle. Au-dessus de ce niveau et sur une très faible hauteur, la circulation de l'air est laminaire ; par contre au-dessus de cette couche la circulation devient turbulente. C'est cette dernière qui engendre les forces qui entraîne les mouvements des particules de sable (FAO, 1960).

Le vent est une composante naturelle faisant partie des milieux arides, et en aucun cas il ne peut agir comme un facteur important dans le mécanisme de l'érosion éolienne si les conditions environnementales ont été sauvegardées dans leur état d'équilibre initial. Mais une fois cet équilibre de l'écosystème déséquilibré, l'érosion éolienne gagne de l'espace ; il faut bien connaître les mécanismes de la dynamique éolienne responsable à la formation des aires sableuses et de à la stérilisation des terres steppiques. OULEHRI T., (1992) affirme que «*le régime éolien s'impose comme élément principal dans la description de la région*».

L'étude dynamique éolienne de la région d'étude est basée essentiellement sur le traitement des données anémométriques de la station de Ainsefra et de Mécheria sur une période qui s'étend de 1985 à 1996. Nous avons procédé à l'utilisation de plusieurs approches pour l'analyse dynamique éolienne de la wilaya de Naâma, à savoir :

- l'approche classique : étude fréquentielle des vents par directions et vitesses en tenant compte des vents calmes;

- la méthode de FRYBERGER S.G., (1979) pour calculer le déplacement potentiel du sable **DP** (Drift Potential) en directions et en intensités à différentes échelles d'observation (période 1985-1996, année, saison et mois);
- la méthode de LANCASTER N., (1988) pour distinguer les différents régimes de mobilité dunaire de la zone d'étude;
- les missions de terrain et photos-interprétations;
- la méthode heuristique : construction interactive d'un paysage commun et réaliste à l'aide des images en 3D.

La première approche consiste à mettre en évidence les différents régimes des vents, à caractériser les mois et les saisons en tenant en compte du taux des vents ainsi que des régimes des vents efficaces (ceux dont la vitesse est supérieure ou égale à 4 ms^{-1}). La seconde approche consiste en la détermination du déplacement potentiel de sable **DP** ainsi que de la direction et de la magnitude du déplacement potentiel de sables au cours de l'année et selon un découpage en périodes ou en saisons. Ces **DP** devraient permettre de mieux saisir l'impact des vents efficaces dans les régions steppiques.

Nous allons nous intéresser aux effets du vent sur le déplacement sableux et le modèle dunaire de la région. Il s'agit de distinguer «régime éolien» et «régime de déplacement potentiel de sables», autrement dit : vents dominants et vents efficaces, ces derniers étant ceux qui engendrent l'arrachement et le déplacement des particules sableuses. Les roses de déplacement potentiel de sable issues de calculs dans la deuxième approche seront prises en considération lors des traitements d'images satellitaires.

4.2. CRITIQUES SUR LES DONNÉES ANÉMOMÉTRIQUES

Pour cette étude nous possédons uniquement les données anémométriques de deux stations de la région de Naâma pour la période entre 1985 et 1996. Les données de vents sont relevées tous les trois heures. Les mesures de la vitesse et de la direction du vent ont été effectuées par un anémographe mécanique placé à une hauteur de 10 mètres. La lecture de la vitesse est réalisée à l'aide d'une règle, tandis que la direction est notée sur 16 directions du compas numérotées de 1 à 16. Les données de vents sont fournies sous format papier et sous forme de tableau à double entrée. Les lignes représentent les vitesses en ms^{-1} et les colonnes les 16 directions, et à l'intérieur de chaque colonne est indiquée la fréquence de vent (Annexe 1).

Pour cette étude nous disposons d'environ 35040 (12x8x365) observations pour chaque station (Cf. Figure 32).

Il importe de noter que la durée minimale préconisée pour ce genre de recherche et pour avoir une certaine représentativité est de l'ordre de 10 ans (BAGNOLD R.A., 1951 et FRYBERGER S.G., 1979) in : (OULEHRI T., 1992). Par contre, il existe des travaux faits sur des périodes d'observation plus courtes dont les résultats sont quand même significatifs. En effet, LANCASTER N., (1988) a déterminé des déplacements potentiels de sables (**DP**) en Namibie en utilisant uniquement des relevés de cinq ans; quant à CALLOT Y., 1987 il a calculé le déplacement potentiel du sable pour une période de cinq ans (1978-1982) pour la région de Ainsefra, Béchar, El Bayadh, et El Biod sidi Cheick.

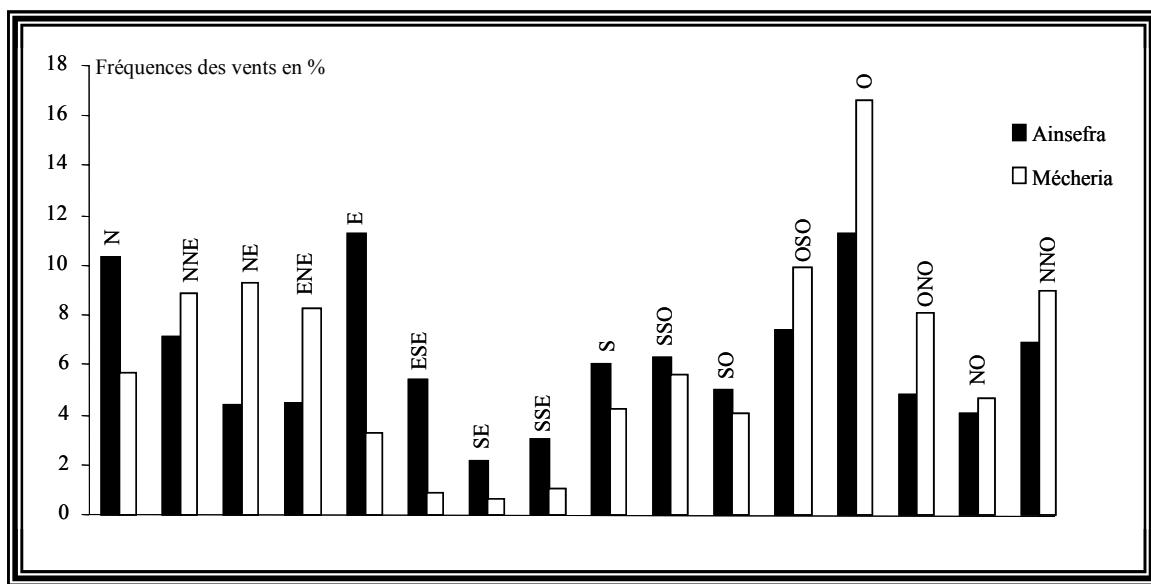


Figure 32 : Fréquences directionnelles des vents efficaces pour les deux stations de la wilaya de Naâma pour la période de 1985 à 1996.

Vu l'étendue de la wilaya de Naâma le nombre de deux stations s'avère insuffisant pour pouvoir dégager une étude dynamique assez précise. En effet, toute la partie ouest n'est pas couverte par une station météorologique synoptique. Ceci rend plus difficile la généralisation sur toute la zone des résultats de direction des vents dominants et des **DP** de sables obtenus pour chaque station par l'analyse dynamique éolienne. Toutefois, des recherches bibliographiques sur la migration des sables et la direction des vents dominants, sur des zones qui entourent la wilaya de Naâma (et même celles qui se trouvaient dans la partie orientale du Maroc) ont été prises en considération afin d'avoir une idée claire à une échelle intra-nationale sur l'aspect dynamique de la zone.

Nous avons constaté que les données des deux stations présentaient des lacunes. Ces dernières ont pu être comblées après avoir réalisé des recherches bibliographiques. Dans certains documents nous avons pu obtenir certaines données de vent qui ne figuraient pas dans le fichier des données fournies par l'office national de la météorologie. Nous soulignons fortement le privilège d'avoir pu utiliser ces données, car il n'en existe toujours pas d'autres.

Dans notre analyse de dynamique éolienne nous n'avons pas pris en considération l'influence du facteur précipitation dans l'évaluation du déplacement potentiel du sable (**DP**). Cependant, un sable mouillé ou humide ne se déplace pas de la même manière malgré la présence des vents efficaces. En effet, l'eau dans le sol perturbe la force de cisaillement du vent. La résistance du sol à la force d'entraînement des particules est fonction de sa teneur en eau. Selon CHEPIL W.S., (1956) un sol sec est plus facilement érodable qu'un sol humide et l'érodibilité diminue en fonction du carré de l'augmentation de l'humidité. Dans la région des hautes plaines les sols sont peu profonds et moins fertiles avec un taux de matière organique ne passant pas les 3% (AIDOUD A. et TOUFFET J. 1996). Il suffit d'une simple pluviosité pour que le sol se glace et une pellicule de battance de quelques millimètres d'épaisseur se développe rapidement. Cette pellicule de battance conduit à une diminution des réserves d'eau dans le sol et à l'augmentation du ruissellement.

D'après les données fournies par la FAO et l'office de météorologie pour une période de 24 ans, nous avons remarqué que les valeurs moyennes mensuelles des précipitations les plus élevées sont observées en mars et octobre (<20 mm). Mais, les valeurs moyennes mensuelles de l'évapotranspiration (valeurs comprises entre 8 à 212 mm) sont six à dix fois plus élevées que les données pluviométriques. Ainsi, l'évaporation exacerbée par le vent contribue à la dessiccation rapide du sol. Cependant, nous pouvons considérer qu'il y a une influence faible des précipitations sur les déplacements sableux.

4.3. APPROCHE CLASSIQUE

4.3.1. Régime des vents calmes

L'analyse des données anémométriques durant la période (1985-1996) a montré un pourcentage de vents calmes de 54% et de 56% pour la station de Mécheria et de Ainsefra respectivement. On considère que le temps est calme lorsque la vitesse du vent est inférieure à 4 ms^{-1} . D'après le tableau 27 nous remarquons que les six mois les plus calmes sont ceux de l'automne et de l'hiver, les plus venteux ceux du printemps et de l'été.

Le passage d'une période calme à une autre relativement ventilée s'effectue entre février et mars pour Ainsefra, mars et avril pour Mécheria; l'inverse se manifeste entre août et septembre pour Ainsefra, et septembre et octobre pour l'autre station.

Dans la station du sud le vent souffle moins de 4 jours sur 10 durant la période d'octobre à février. Nous avons constaté le même scénario pour la station du nord sauf le mois de juin où le vent souffle 4 jours sur 10. En moyenne annuelle le vent souffle plus de 5 jours sur 10 pour les deux stations.

	MÉCHERIA											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
% vent calme	60,0	61,2	60,5	36,0	39,0	37,2	49,0	47,0	51,0	62,0	63,0	63,5
% vent efficaces	40,0	38,8	39,5	64,0	61,0	62,8	51,0	53,0	49,0	38,0	37,0	36,5
AINSEFRA												
% vent calme	62,3	61,8	51,3	42,2	44,6	43,0	53,9	55,6	57,4	63,2	67,4	69,5
% vent efficaces	37,7	38,2	48,7	57,8	55,4	57,0	46,1	44,4	42,6	36,8	32,6	30,5

Tableau 27 : Pourcentages des vents calmes et efficaces pour les deux stations de la wilaya entre 1985 et 1996.

4.3.2. Les vents efficaces

L'analyse des vents efficaces à l'échelle mensuelle durant la période de 1985 à 1996 pour les deux stations a révélé les caractéristiques suivantes :

- que ce soit à Ainsefra ou à Mécheria les vents efficaces sont plus fréquents au printemps et en été. Nous avons enregistré une légère dominance des vents au printemps avec un pourcentage de 54% et 55% respectivement pour Ainsefra et Mécheria (Cf. figure 33).

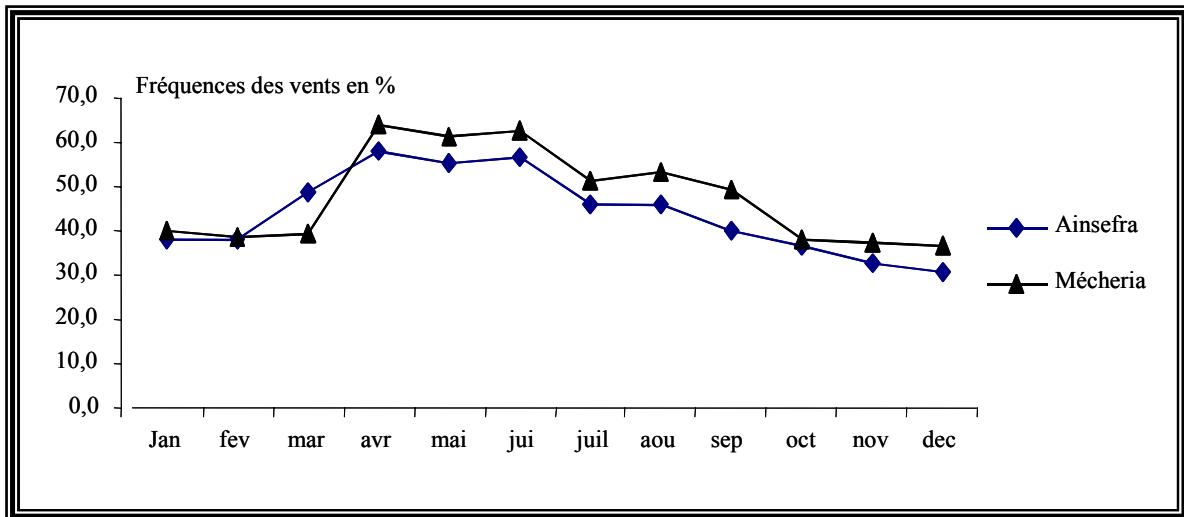


Figure 33 : Fréquences mensuelles des vents efficaces calculés pour la période 1985-2000 dans les deux stations de la wilaya de Naâma.

- La domination écrasante du vent de secteur ouest. Cette domination est mise en évidence par le tableau 28 qui illustre un classement mensuel des vents par efficacité décroissante. Les vents d'ouest soufflent d'août à mars, 8 mois sur 12 à Mécheria et de septembre à février, 6 mois sur 12 pour Ainsefra. Ces vents d'ouest sont engendrés par les vents atlantiques qui constituent l'élément prédominant de la circulation atmosphérique ainsi qu'au régime des vents du Tell. La prépondérance des vents d'ouest durant la majeure partie de l'année signifie une stabilité de l'influence et de la fluctuation de l'anticyclone des Açores. Lorsque ce dernier gagne sa position septentrionale la composante du secteur ouest passe au nord et au nord-nord-ouest respectivement pour Ainsefra et Mécheria. Toutefois, à partir du mois de juin la composante du secteur nord cède la place au vent d'est et du sud dans la région de Ainsefra. Par contre, au nord il y a une alternance entre les vents du secteur nord-nord-ouest et du secteur nord-est tout au long de la période du printemps et de l'été.

Au nord de la région la composante ouest-sud-ouest est bien représentée par la prépondérance des vents d'ouest; mais elle doit aussi son existence aux conditions orographiques. Les vents d'ouest déviés par les chaînons avancés de l'Atlas saharien entrent pour une bonne part dans la comptabilisation des vents ouest-sud-ouest (10%). En revanche à Ainsefra ce sont les composantes nord et nord-est qui sont sur représentées. La présence des montagnes qui entourent la région et l'existence de plusieurs cluses (telle que la cluse entre djebel Bou Amoud et djebel Saiga) ont favorisé ces directions en canalisant le vent à travers les principaux éléments orographiques.

- Les vents du sud (sirocco) sont faibles avec des fréquences de 5% et 6% respectivement pour Mécheria et Ainsefra. Ces vents du sud se manifestent sous forme de tempête de sables qui durent quelques jours. Dans cette zone DUBIEF J., (2001) a mesuré des vents de sable au cours de la période (1926-1950) d'une durée moyenne de 4.3 heures (moyenne calculée pour 56 observations), et de 4.7 heures à Mécheria (moyenne calculée sur 93 observations). Les vents de sable les plus fréquents selon le même auteur ont des directions ouest et sud-ouest à Ainsefra, et sud-ouest et sud à Mécheria. La résultante est de direction ouest-sud-ouest (242° à 247° N) pour les deux stations.

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 Ainsefra (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.

Il convient de noter que si une abstraction était faite sur la classe de vitesse des vents entre 4 et 8 ms^{-1} , un classement des vents en fonction des directions et des fréquences tenant compte des autres classes de vitesses reléguerait 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 Ainsefra) des vents de l'est se situe dans le premier pallier des vitesses moyennes (4 à 8 ms^{-1}) pour les deux stations.

Donc, c'est plus particulièrement de l'ouest que soufflent les vents forts ($> 8 \text{ m s}^{-1}$). Ainsi, nous avons enregistré 20% des vents d'ouest atteignant des vitesses supérieures à 8 m s^{-1} à Ainsefra et 17.3% à Mécheria.

Rang Temps	MECHERIA																	Résultante	Direction
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
JAN	O	OSO	ONO	NNO	ENE	NNE	N	NO	NE	SSO	SO	E	S	ESE	SSE	SE	291	ONO	
FEV	O	ONO	NNO	OSO	NO	N	NNE	ENE	SSO	SO	NE	S	SE	SSE	E	ESE	294	ONO	
MAR	O	NNE	OSO	ONO	NNO	NE	N	NO	ENE	SSO	SO	E	S	ESE	SSE	SE	318	NO	
AVR	NNO	O	NE	ONO	NNE	N	ENE	OSO	NO	SSO	SO	S	E	SSE	ESE	SE	329	NNO	
MAI	NE	NNE	ENE	O	SSO	OSO	NNO	N	S	ONO	SO	E	NO	SSE	SE	ESE	359	N	
JUI	NNO	NE	ENE	O	NNE	OSO	SSO	S	E	ONO	N	SO	NO	SSE	ESE	SE	349	N	
JUIL	NE	NNE	ENE	O	OSO	S	SSO	E	N	NNO	SO	ONO	NO	SSE	ESE	SE	28	NNE	
AOU	O	ENE	NE	NNE	OSO	S	NNO	ONO	SSO	E	SO	N	NO	ESE	SSE	SE	347	NNO	
SEP	O	OSO	ENE	NE	NNE	ONO	N	NNO	SSO	SO	S	NO	E	SSE	SE	ESE	307	NO	
OCT	O	OSO	ONO	SSO	NNO	NE	ENE	S	NNE	N	SO	NO	E	SSE	ESE	SE	288	ONO	
NOV	O	OSO	ONO	NNO	N	SSO	NO	ENE	NNE	NE	SO	S	E	ESE	SE	SSE	291	ONO	
DEC	O	OSO	NNO	ONO	N	SO	NNE	NO	SSO	NE	ENE	S	E	SSE	ESE	SE	288	ONO	
HIVER	O	OSO	NNO	ONO	NNE	N	ENE	NE	SO	NO	SSO	E	S	SSE	ESE	SE	291	ONO	
PRINTEMPS	O	NE	NNE	ENE	OSO	NNO	ONO	N	SSO	E	NO	S	SO	SSE	ESE	SE	332	NNO	
ETE	NE	ENE	O	NNE	NNO	OSO	E	S	SSO	ONO	N	SO	NO	ESE	SSE	SE	4	N	
AUTOMNE	O	OSO	ENE	ONO	NE	NNE	NNO	SSO	N	S	NO	SO	E	ESE	SSE	SE	295	ONO	
ANNEE	O	OSO	NE	NNO	NNE	ONO	ENE	N	SSO	NO	S	SO	E	SSE	ESE	SE	311	NO	

	AINSEFRA																	337	NNO
	O	E	N	NNE	OSO	NNO	NE	SSO	NO	ESE	ONO	ENE	S	SSE	SO	SE			
JAN	O	N	E	OSO	NNO	ESE	ONO	NNE	NE	ENE	NO	S	SE	SO	SSO	SSE	342	NNO	
FEV	N	O	NNE	E	NNO	NE	ENE	S	ONO	ESE	SO	OSO	SSO	NO	SSE	SE	4,5	NNO	
MAR	N	E	O	NNO	NNE	OSO	S	SSO	NE	SO	ENE	ONO	ESE	SSE	NO	SE	337	NNO	
AVR	N	NNO	O	NNE	E	NO	ONO	OSO	SSO	ESE	S	SO	NE	ENE	SSE	SE	336	NNO	
MAI	N	E	O	NNO	NNE	OSO	S	SSO	NE	SO	ENE	ONO	ESE	SSE	NO	SE	345	NNO	
JUI	E	N	O	NNE	SSO	S	OSO	ESE	ENE	NE	SO	SSE	NNO	ONO	SE	NO	67	NE	
JUIL	E	S	O	ESE	N	NNE	SSO	OSO	SO	NNO	ENE	SSE	SE	NE	NO	ONO	122	ESE	
AOU	E	S	O	OSO	SSO	N	NNE	ESE	SO	ONO	SSE	ENE	NNO	NE	NO	SE	193	SSO	
SEP	O	N	OSO	E	SSO	SO	NNO	NNE	S	ONO	ESE	ENE	NO	NE	SSE	SE	279	O	
OCT	O	E	SSO	N	OSO	S	SO	NO	NNO	NNE	ESE	ONO	ENE	NE	SSE	SE	261	O	
NOV	O	E	SSO	OSO	SO	NNO	N	ENE	ESE	NE	NO	NNE	S	ONO	SSE	SE	275	O	
DEC	O	E	OSO	N	ONO	NO	NNO	NNE	ESE	SO	NE	ENE	SSO	S	SSE	SE	310	NO	
HIVER	O	E	N	OSO	NNO	NNE	ONO	ESE	NO	NE	ENE	SSO	SO	S	SSE	SE	329	NNO	
PRINTEMPS	N	O	NNO	E	NNE	OSO	ONO	S	SSO	NE	ENE	SO	NO	ESE	SSE	SE	345	NNO	
ETE	E	S	O	N	SSO	NNE	OSO	ESE	SO	ENE	SSE	NNO	NE	ONO	SE	NO	128	SE	
AUTOMNE	O	E	OSO	SSO	N	SO	NNO	S	NNE	ESE	NO	ONO	ENE	NE	SSE	SE	272	O	
ANNEE	O	E	N	OSO	NNE	NNO	SSO	S	ESE	SO	ONO	ENE	NE	NO	SSE	SE	329	NNO	

Tableau 28 : Classement mensuel des vents par efficacité décroissante selon les 12 mois et les directions durant la période 1985 à 1996.

4.3.3. Direction des vents à l'échelle annuelle, saisonnière et mensuelle

L'analyse annuelle des roses de vents efficaces a révélé qu'au niveau de Mécheria la résultante est de direction nord-ouest. Cependant, dans le secteur de Ainsefra nous avons noté la dominance des vents de direction nord-nord-ouest à sud-sud-est.

A l'échelle mensuelle nous avons enregistré une certaine variabilité dans les directions des résultantes des roses des vents pour les deux régions; les résultantes de directions nord et est apparaissent entre mai et juillet (Cf. tableau 28).

La comparaison entre ces résultantes annuelles, saisonnières et mensuelles révèle qu'il y a une différence entre les deux régimes. Une différence est observée dans le régime saisonnier au cours de la période estivale où les vents d'ouest basculent vers le secteur nord, l'est et du sud-est.

Les fréquences des vents Est sont plus importantes à Ainsefra (11%) par rapport à Mécheria avec un pourcentage inférieur à 4%. Dans cette dernière ce sont les vents du nord-est qui sont les plus fréquents (9%). Cette différence entre le secteur est et le nord-est s'explique par le fait que Mécheria est localisée dans le nord en position d'abri sur le piémont sud-est du djebel Antar, et Ainsefra est située au fond d'une dépression entourée par les chaînons des monts de ksours. Ces derniers ont une influence non négligeable sur la déviation des vents à travers les ouvertures entre les djebels de l'Atlas saharien.

a

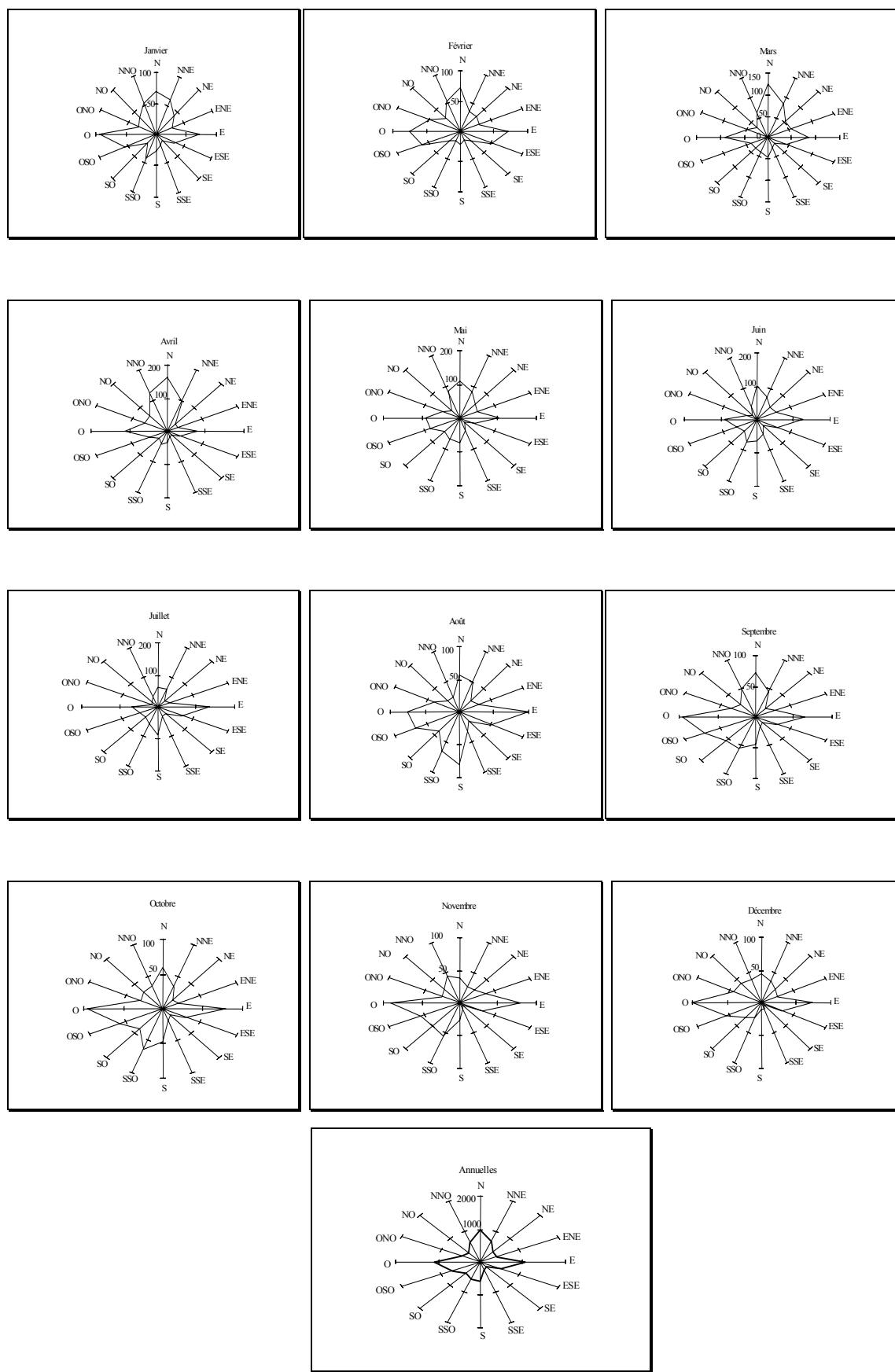
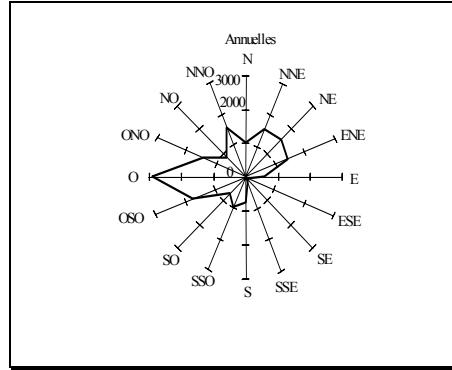
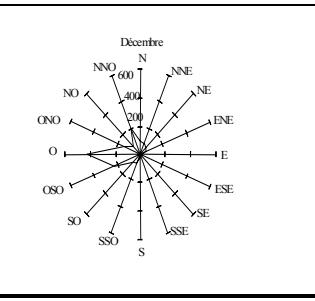
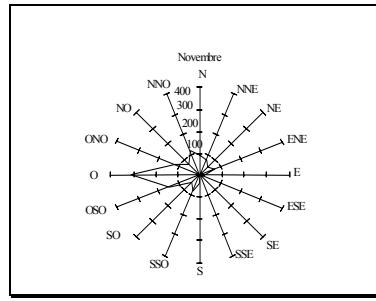
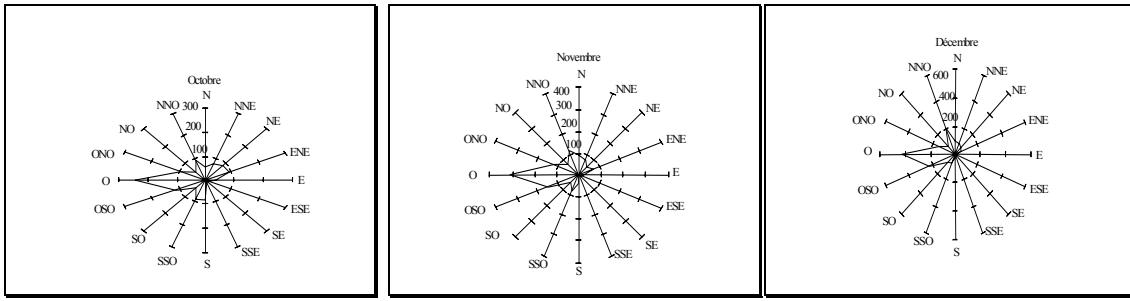
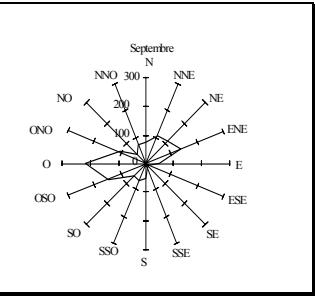
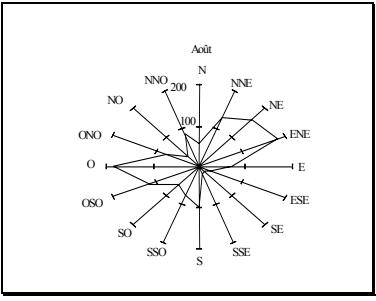
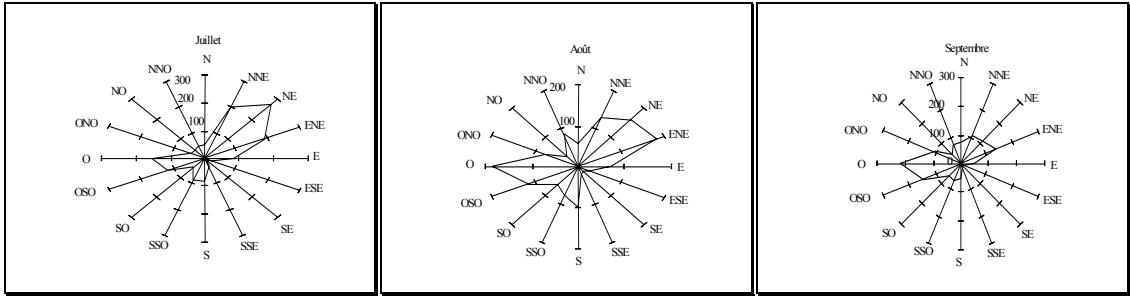
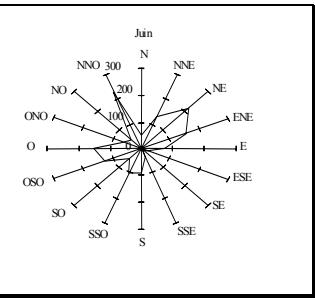
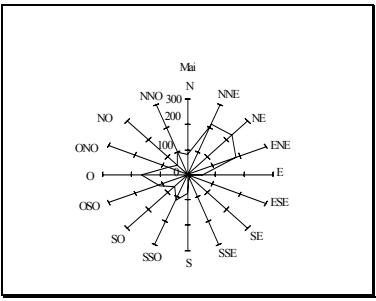
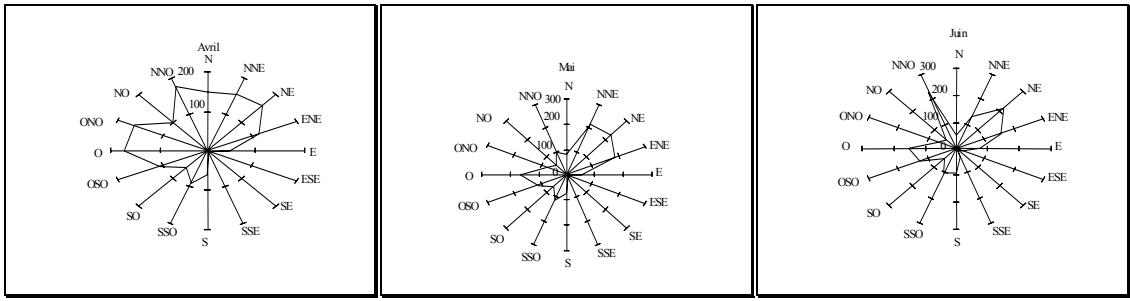
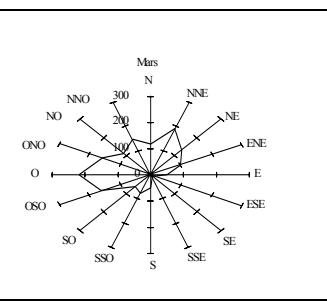
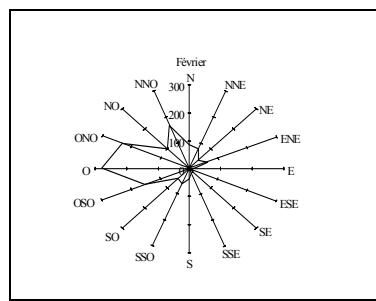
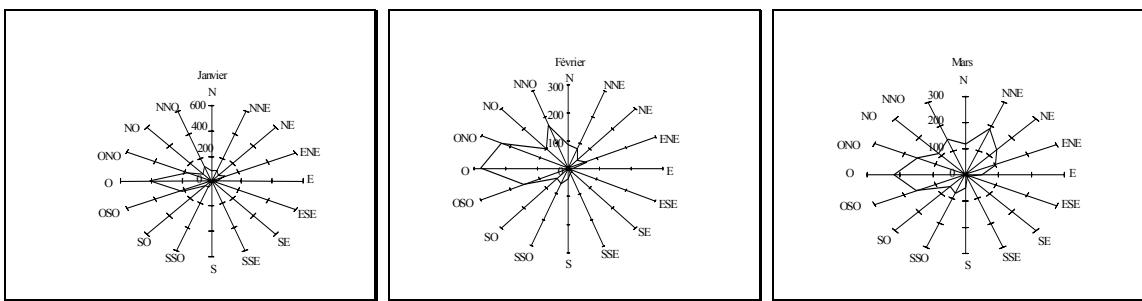


Figure 34 : Roses des fréquences des vents efficaces dans les stations de Ainsefra (a) et de Mécheria (b) pendant la période 1985 à 1996.

b


4.3.4. Interprétation

A partir du traitement des données anémométriques, nous avons pu considérer, compte tenu du taux moyen des vents calmes en premier lieu, que la région de Naâma pouvait être considérée comme une région relativement ventée avec un taux moyen de vents calmes de l'ordre de 52% pour Mécheria et 56% pour Ainsefra.

En ce qui concerne les vents efficaces en fonction de leur fréquence et de leur dynamisme, il ressort la présence de deux régimes à différentes échelles temporelles (année, saison, mois et jour).

Le premier régime concerne les vents les plus forts et les plus constants qui soufflent du secteur ouest durant l'année, la saison d'hiver, du printemps et de l'automne. Ces vents d'ouest règnent sans partage d'août à mars à Mécheria et de septembre à février à Ainsefra.

Dans la période printanière et estivale d'autres secteurs secondaires de direction des vents se manifestent notamment dans le secteur nord, l'est, le nord-est et le nord-nord-est. Ces composantes secondaires sont dues en grande partie au renforcement des cellules anticycloniques par les charges d'aire polaire (WEISROCK A., ND).

4.4. DEUXIEME APPROCHE : MÉTHODE FRYBERGER S.G., (1979)

Cette approche est basée sur un calcul théorique permettant la détermination du déplacement potentiel du sable **DP** (Drift potentiel). Pour cela, il existe plusieurs méthodes et techniques permettant l'évaluation de la valeur du **DP**. Mais après une recherche bibliographique sur le calcul du **DP**, il apparaît que la méthode la plus utilisée dans le domaine d'ensablement et du déplacement du sable, est celle développée par FRYBERGER S. G., (1979). BULLARD J.E., (1997) l'a utilisée pour l'évaluation du déplacement potentiel de sable par le vent. LIVINGSTONE (1989) l'a utilisée pour la caractérisation des changements de surface des dunes linéaires du désert de NAMIB. De même, CALLOT Y., et OULEHRI T., (1996) l'ont appliquée pour l'étude géodynamique de sables éoliens dans le nord ouest saharien, BULLARD J.E., *et al* (1996), l'ont appliquée pour l'étude de la variation de l'énergie des vents dans le sud-est du désert Kalahari et son implication dans l'activité des dunes linéaires.

4.4.1. Description de la méthode de FRYBERGER (1979)

C'est une méthode simplifiée de l'équation de K.H.LETTAU (1975) in : OULEHRI T., (1992) permettant de calculer le déplacement potentiel de sable DP suivant la formule suivante :

$$\frac{qg}{c''\rho} = V^2 (V - V_t)$$

2

avec : q la quantité de sable transportée, g la constante de gravité, C'' une constante empirique basée sur le diamètre des grains de sable, ρ la densité de l'air, V la vitesse du vent et Vt la vitesse limite des vents efficaces. La constante C'' dépendante du diamètre du grain est exprimée comme suit :

$$C'' = C' (\delta / \delta^*)^{0.5} \quad (3)$$

Où C' est la constante universelle pour le sable (≈ 6.7), δ est le diamètre des grains de sable et δ* est le diamètre standard du sable (0.25 mm).

Selon l'équation (2) la quantité de sable (q) est fonction de plusieurs paramètres notamment : le diamètre du sable, la rugosité du sol, le taux de couverture végétale et l'humidité du sol. En réalité ces paramètres sont difficiles à déterminer mis à part par les travaux de recherches expérimentales en laboratoire. La mise en œuvre des ces formules théoriques est très compliquée dans la réalité; par exemple le grain de sable est très variable dans l'espace et dans le temps et même à l'intérieur d'un échantillon.

A cet effet, FRYBERGER S.G., (1979) a proposé une formule simplifiée qui n'évalue plus la quantité de sable transportée mais le potentiel d'arrachement du sable. Il considère dans son équation (4) la vitesse du vent et la vitesse seuil d'arrachement par le vent.

$$q \propto V^2 (V - V_t)$$

(4)

D'après les normes fixées par l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM) l'anémomètre doit être placé à une distance de 10 mètres par rapport au niveau du sol. Ainsi, l'équation (4) généralisée pour des vitesses prises à 10 mètres devient :

$$q \propto V_{10}^2 (V_{10} - V_{t0}) \quad (5)$$

où V_{10} est la vitesse du vent prise à 10 mètres au dessus du sol et V_t est la vitesse limite prise à la même hauteur.

4.4.2. Choix de la vitesse limite de mobilité du sable

La vitesse limite d'entraînement est une grandeur essentielle à la quantification du déplacement potentiel du sable **DP** et des processus d'érosion éolienne (BERGAMETTI G., 1997). C'est une vitesse à partir de laquelle le vent est considéré comme potentiellement érosif. Elle dépend de la taille et de la densité du grain.

Nous pouvons citer plusieurs études en soufflerie (BAGNOLD R.A., 1941; CHEPIL W.S. et WOODRUFF N.P., 1963) qui mettent en relation la dépendance de la vitesse seuil avec la taille des grains de sable (Cf. Figure 35). Ainsi, BAGNOLD R.A., (1941) a proposé une formule (6) permettant le calcul de la vitesse critique (V_c) au niveau du sol.

$$V_c = A \sqrt{\frac{ds - df}{df}} g D_{50} \quad (6)$$

Où D_{50} est le diamètre médian des grains de sable, g est la constante de gravité, df est la masse spécifique de l'air, ds est la masse spécifique des grains de sable et A est un coefficient variant selon le diamètre des particules et le type de seuil de mise en mouvement considéré. D'après les expérimentations de BAGNOLD R.A., (1941) ce coefficient A est une constante ($A \approx 0.1$ pour le seuil statique et $A \approx 0.08$ pour le seuil d'impact) pour des particules ayant un diamètre supérieur à $25 \mu\text{m}$. Le seuil statique est le seuil de mise en mouvement d'une particule statique ; le seuil d'impact est celui de mise en mouvement d'une particule sous l'impact d'un autre grain déjà en mouvement (LAPLANA R. *et al.*, 1993).

Pour la vitesse critique il est nécessaire d'appliquer une correction qui tient compte du facteur de rugosité au dessus du sol. Alors cette vitesse (V_c) devient :

$$Vc10 = 5.75 Vc \log(z/z_0) \quad (7)$$

Avec :

z : hauteur en mètres,

z_0 : rugosité en mètres,

Vc : vitesse limite de mobilité du sable en ms^{-1} ,

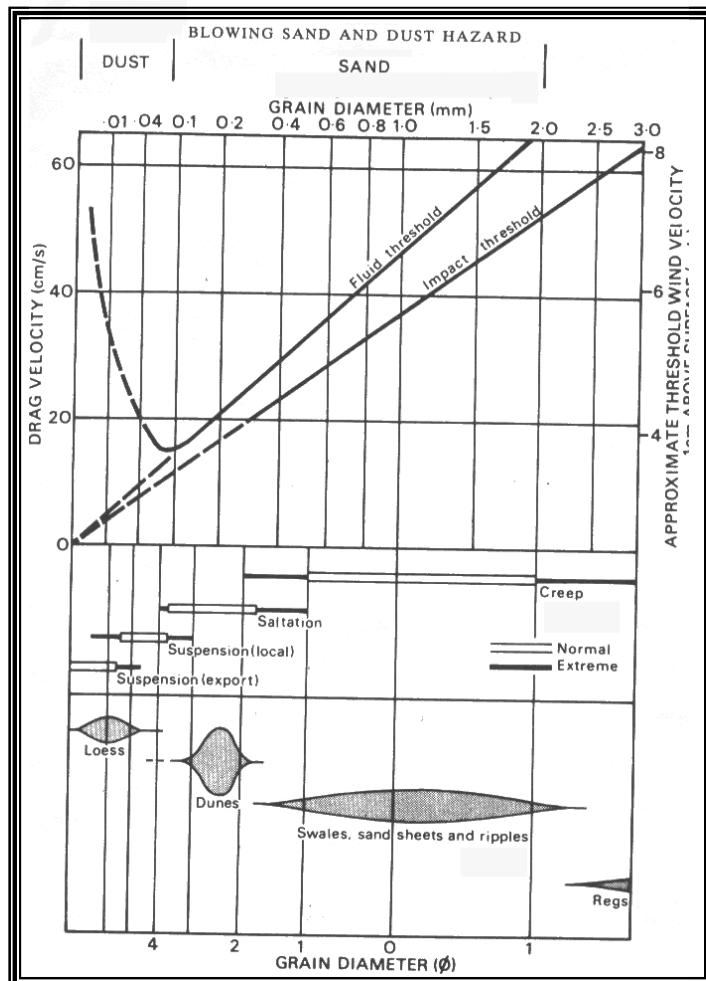
$Vc10$: vitesse moyenne à 10 mètres de hauteur ms^{-1} .

Pour l'estimation de la vitesse limite de mobilité du sable SKIDMORE E.L. et WOODRUFF N.P., (1968) ont analysé la vitesse du vent sur 212 sites aux Etats-Unis. D'après leurs travaux ils ont considéré uniquement les vitesses moyennes horaires supérieures à 5.4 ms^{-1} comme des vitesses érosives. Ces vitesses ont été obtenues à partir des mesures faites au niveau du sol à 30.48 cm. Toutefois, toutes les mesures effectuées ont révélé que toutes les vitesses enregistrées dépassent largement celle de 5.4 ms^{-1} . A cet effet, une autre vitesse supérieure à 5.4 ms^{-1} a été choisie comme une vitesse limite d'arrachement des particules de sols.

Cependant, Selon certains auteurs (BAGNOLD R.A., 1954 ; FRYBERGER S.G., 1979 ; LANCASTER N., 1982 ; CALLOT Y., 1987 ; OULEHRI T., 1992) qui ont déjà abordé le problème des déplacements potentiels du sable, la vitesse d'arrachement Vt , est comprise entre 4 et 7 ms^{-1} (*vitesse du vent à 10 m de hauteur*), alors que d'autres auteurs (CAPOT-REY R., 1965 ; CLOS-ARDUC A., 1969 ; GLENNIE K.W., 1970) in : (OULEHRI T., 1992) distinguent entre la vitesse seuil pour la mobilisation des sables qui est de l'ordre de 4 ms^{-1} et la vitesse de 6 ms^{-1} , à partir de laquelle le vent prend en charge suffisamment de sable pour opérer des remaniements de la morphologie des dunes.

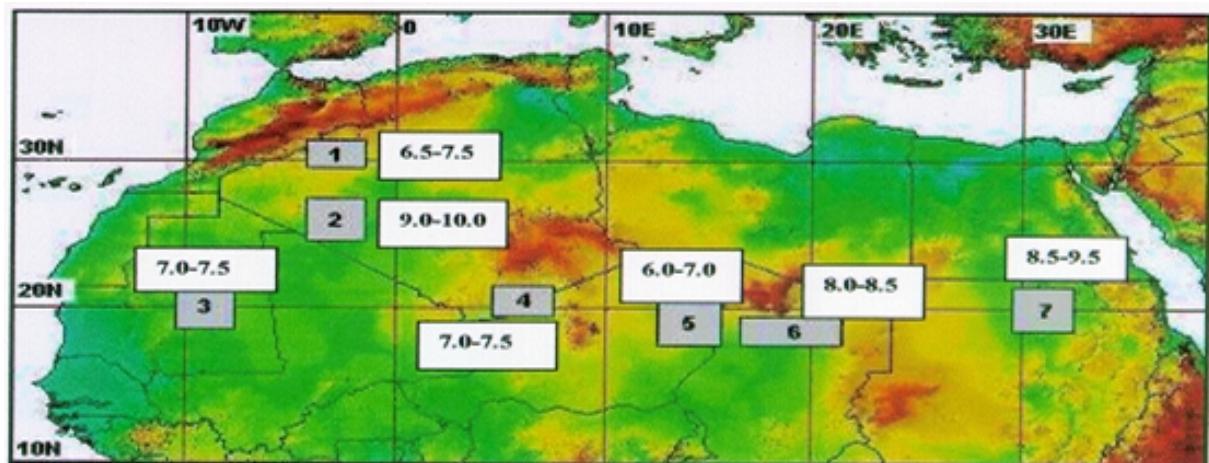
En réalité l'estimation de la valeur théorique de cette vitesse est compliquée. D'ailleurs, BERGAMETTI G., (1997) confirmait ça et disait : «*il est très difficile de déterminer théoriquement cette vitesse de friction limite qui est pourtant un paramètre essentiel pour définir la potentialité d'érosion d'un sol. Ceci est dû à notre méconnaissance des interactions existantes aux différentes échelles (entre grains, sol, état de surface, couche limite...) : il faut reconnaître que, depuis les forces de cohésion qui interviennent à l'échelle moléculaire jusqu'aux vitesses de vent contrôlées par des facteurs définis au moins à l'échelle régionale, c'est des phénomènes agissant sur une échelle de plusieurs ordres de grandeur qu'il faut pouvoir interconnecter*».

Dans notre cas, nous avons considéré pour le calcul du DP pour les données de vent de deux stations une vitesse seuil $VT=6 \text{ ms}^{-1}$ en se référant aux travaux de (CALLOT Y. et OULEHRI, 1996 ; CHOMETTE *et al.*, 1999). Cependant, CHOMETTE *et al.*, (1999) ont réalisé des travaux expérimentaux sur sept zones test dans le monde pour l'estimation des vitesses seuil. En Algérie et plus précisément dans le sud-ouest et le sud leurs travaux ont révélé des valeurs de vitesses comprises respectivement entre 6.5 et 7.5 ms^{-1} et 9 et 10 ms^{-1} (Cf. Figure 36).



Source : (MABBUTT, 1977) in : (JONES D.K.C. *et al.*, 1986).

Figure 35 : Relations entre la taille du grain, la vitesse limite d'entraînement et le mode de transport éolien.



Source : (CHOMETTE *et al.*, 1999)

Figure 36 : Estimation de la vitesse minimum du vent efficace à dix mètres au-dessus du sol (ms^{-1}) pour sept zones test dont l'extension spatial est représentée sur fond gris.

4.4.3. Application de La méthode de FRYBERGER (1979) et détermination des paramètres d'énergie potentielle de déplacement du sable

Contrairement à la méthode tenant compte uniquement des fréquences de vent dominant, la méthode de FRYBERGER S.G., (1979) permet d'établir des roses de déplacement du sable **DP** qui montrent la direction des migrations du sable et non pas la direction des vents dominants. Selon CALLOT Y., (1987) la méthode des vents efficaces n'intègre pas le paramètre le plus important concernant la variation de la quantité de sable déplacée en fonction de la vitesse du vent.

Cependant, avec la méthode de FRYBERGER S.G., (1979) nous avons procédé à une quantification du déplacement potentiel du sable sous l'action des vents supérieurs à la vitesse d'arrachement de mobilité des grains de sable ($V_t > 6 \text{ ms}^{-1}$). Cette méthode a été établie sur la base des données de vitesses exprimées en noeud. Pour notre région nous avons utilisé des tables de FRYBERGER ajustées pour des vitesses exprimées en ms^{-1} .

Il est à noter que l'ensemble des traitements des vents ont nécessité le développement d'un programme intégré directement dans le prototype (Chapitre 8). Ce programme permet le calcul des **DP**, le module de la résultante du déplacement potentiel **RDP** (Resultant Drift potentiel) et son angle d'orientation **RDD** (Resultant Drift Direction) par rapport au nord, le coefficient de migration ainsi que le tracé vectoriel des roses de vent.

Au sein du laboratoire -Espace géographique et Aménagement du Territoire- de l'université d'Es Senia les traitements des données de vent s'effectuaient par le programme «W-SABLE¹». Ce programme est protégé par une clé physique pour sa sécurité afin qu'il ne soit pas cracké. La perte de cette clé m'a encouragé à développer un autre programme qui permet de réaliser les mêmes fonctionnalités que «W-sable».

4.4.3.1. Période 1985-1996

Durant cette période nous avons calculé les coefficients d'énergie potentielle de transport du sable à savoir : le déplacement potentiel de sable **DP**, la résultante de déplacement potentiel du sable **RDP**, la direction résultante de déplacement potentiel du sable **RDD** et le coefficient de migration. Ce dernier est le rapport du déplacement potentiel total sur le module de la résultante **RDP/DP**.

4.4.3.1.1. Le déplacement potentiel du sable (DP)

Le déplacement potentiel du sable **DP** total exprime la totalité du déplacement potentiel du sable engendré par les vents selon les 16 directions. A l'aide de ce **DP** le régime éolien de la wilaya de Naâma peut être distingué en se référant à la classification des environnements éoliens en régions aride et désertique établi par FRYBERGER S.G., (1979).

Ainsi, les données anémométriques des deux stations ont été utilisées pour estimer les DP. L'analyse et le traitement ont révélé que la station de Mécheria et Ainsefra font partie des régions à moyenne et à forte énergie éolienne avec des valeurs de capacités de 378.3 et 847.32 pour la station de Ainsefra et de Mécheria respectivement. Théoriquement ces deux valeurs obtenues pour les deux secteurs donnent une estimation d'un déplacement d'une quantité de sable de l'ordre de 27 et 61 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Ces quantités de sable en déplacement pour une section d'un mètre de largeur restent valables. D'après CALLOT Y., (1987) dans une région à énergie moyenne les quantités de sables déplacées se situent aux alentours de 20 à 30 tonnes.

¹ un programme permettant le calcul de DP, RDP, RDD. C'est une marque déposée de BC : 15 rue des platanes 91220 Brétigny sur Orge, tél. 01.69.88.01.00, fax. 01.60.84.18.80

4.4.3.1.2. Direction et module de la résultante de déplacement potentiel du sable

La direction résultante **RDD** est obtenue en additionnant l'ensemble des vecteurs des DP du sable des 16 directions. Son module **RDP** exprime le potentiel net de sable quand les vents des 16 directions interagissent.

Pour les 12 années d'observation et pour l'ensemble de la région d'étude nous avons quantifié les coefficients d'énergies potentielles. L'ensemble de ces coefficients est donné dans le tableau 29. Que ce soit pour la partie nord ou la partie sud de la wilaya de Naâma le mouvement et la dérive potentielle de la quantité de sable que le vent est capable de transporter se font vers la direction ouest-nord-ouest pour la période entre 1985 et 1996.

	AINSEFRA (1985-1996)	MÉCHERIA (1985-1996)
Déplacement potentiel DP en %	378.3	847.32
Module de la résultante RDP	95.3	352.62
Direction résultante RDD en degré	286	293
Coefficient de migration (RDP/DP)	0.20	0.42

Tableau 29 : Coefficients d'énergie potentielle du déplacement de sable pour la période 1985 à 1996.

D'après le tableau ci-dessus la valeur du coefficient de migration de sable est faible à Ainsefra par rapport à Mécheria où la valeur moyenne est de l'ordre de 0.41. La valeur faible du coefficient caractérise une mobilité de sable sans qu'il y ait un déplacement notable de sable selon la classification de FRYBERGER S.G., (1979). Lorsque ce coefficient tend vers sa valeur maximale, la variabilité est faible et le vent a tendance à souffler selon une seule direction provoquant ainsi des déplacements sur une longue distance.

Malgré les critiques sur la méthode de traitement des vents efficaces et sa faiblesse de n'avoir exprimée que la tendance des vents dominants, nous arrivons à un résultat similaire pour la tendance de la direction résultante qui se fait dans la direction d'ouest pour l'approche classique et d'ouest-nord-ouest pour la méthode de FRYBERGER S.G., (1979).

En réalité il existe pour les deux méthodes des lacunes concernant le phénomène de turbulence du vent qui n'est mesurée par aucune station météorologique. Ce phénomène est important dans le déclenchement des mouvements de sable. A cet effet, il est probable que la direction résultante de déplacement potentiel de sable sur le terrain sera différente de celle déterminée par les deux méthodes. Il faut rester prudent pour les résultats obtenus à partir de cette méthode de quantification des potentiels de migration bien qu'elle ait fait preuve de validité dans des mesures en soufflerie effectuées aux laboratoires et dans plusieurs recherches (CALLOT Y., 1987).

Pour la vérification de nos résultats nous avons préféré déterminer la direction des mouvements de sable à partir des mesures effectuées sur le terrain et des comparaisons par rapport aux études antérieures menées sur la même région.

Des mesures de direction de migration de sable ont été réalisées sur plusieurs années dont la dernière est en décembre 2004. Sur l'ensemble des territoires de la wilaya nous nous sommes basé sur l'utilisation d'un système de positionnement global (GPS) pour le relevé des coordonnées en latitude (ϕ) et en longitude (λ) de chaque site. Sur le terrain et durant les quatre années d'observation que nous avons menées avec l'équipe du laboratoire, nous avons noté la dominance du secteur ouest.

Les mesures instantanées portaient sur des édifices dunaires déjà mis en place ces dernières années par les vents. Elles concernent les rides, les barkhanes, les nebkhlas. Chaque direction déterminée traduit la direction du dernier vent efficace qui s'est manifesté dans le secteur de Mécheria et de Ainsefra.

4.4.3.1.3. Roses de déplacement potentiel du sable et coefficient de migration

Le calcul effectué sur les seize directions du coefficient de transport de sable permet d'obtenir la rose de mobilisation des sables pour chaque vitesse d'arrachement. La rose des **DP** est obtenue en faisant la somme des coefficients de la capacité de transport pour toutes les vitesses supérieures au seuil d'arrachement. Donc, pour chaque direction, on obtient une valeur qui représente le module vectoriel de la capacité de transport de sable dans la direction considérée (Cf. Figure 37).

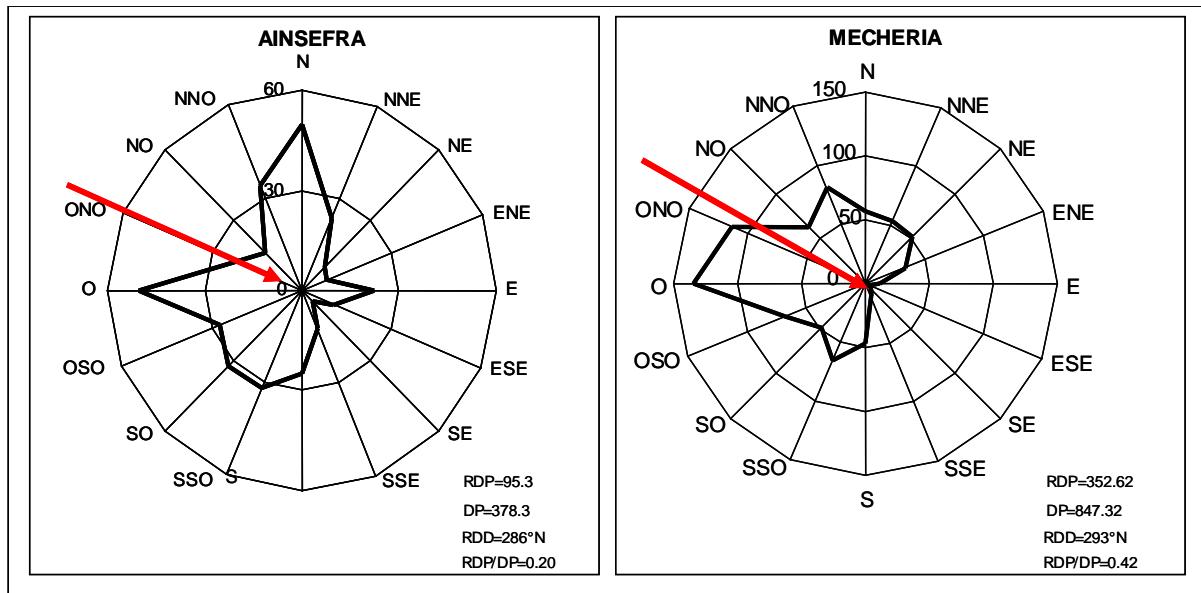


Figure 37 : Roses de déplacement potentiel de sable à Ainsefra et à Mécheria pour la période (1985-1996) pour un $V_t > 6 \text{ ms}^{-1}$; la résultante est marquée en rouge.

Elles sont des synthèses utiles des caractéristiques actuelles de transport éolien des particules de sable. Les géomorphologues les utilisent pour comparer des formes de dunes dans les environnements arides et leurs orientations actives et stabilisées. Les différences entre roses de sable et orientation des dunes pourraient indiquer des modifications dans les mécanismes passés de circulation éolienne.

La rose de déplacement potentiel du sable de Mécheria montre bien la dominance des directions ouest-nord-ouest et d'ouest, avec tout de même des composantes secondaires opposées de secteur nord-est et de secteur sud-ouest. Elle est de type bi-modale large. Quant à Ainsefra la rose de déplacement du sable montre une migration potentielle qui se fait dans toutes les directions avec une direction dominante de secteur nord. Dans cette station la migration potentielle est faible par rapport à la station du nord où le **DP** du sable est deux fois supérieure. Le faible pourcentage de migration potentielle de sable est probablement lié à l'influence des monts de Ksours. Ces massifs montagneux engendrent des effets non négligeables sur l'orientation et la vitesse du vent.

Malgré la différence bioclimatique et topographique des deux secteurs la résultante du déplacement potentiel du sable se fait selon la direction ouest-nord-ouest vers est-sud-est.

4.4.3.2. Année par année pour la période 1985-1996

4.4.3.2.1. Le déplacement potentiel du sable

Dans le secteur de Ainsefra l'analyse année par année durant les 12 années d'observations a montré que les **DP** les plus élevés sont enregistrés pour les années 1987, 1992, 1993 et 1994. Or, les années 1987 et 1992 sont marquées respectivement par un déficit de 36 et 41% pour la période de 1978-2001, et un déficit de 48 et 53% pour la période de 1913-1938. Toutefois, pour l'année 1994 malgré le surplus de 69% de la pluviométrie par rapport à la moyenne le DPS reste élevé à Ainsefra, mais très faible à mécheria. Ceci s'explique par la mauvaise répartition de la pluviosité durant cette année. Ainsi, plus de 54% de la pluviométrie annuelle est tombée durant la fin de la période estivale et le début de la période automnale. Cela n'a pas permis le développement d'une couverture végétale de la végétation annuelle et pérenne au cours de la période printanière où les vents forts sont les plus fréquents. Par contre, l'année suivante le couvert végétal a repris avec des conditions plus favorables (réserve d'eau dans le sol) pour jouer son rôle de protection en minimisant le pouvoir de déflation. D'ailleurs, l'année 1995 est caractérisée par la plus faible valeur de déplacement potentiel du sable (Cf. Figure 38).

Dans le secteur de Mécheria nous avons remarqué la baisse de la valeur du **DP** à partir de 1986. Dès lors, peut-on dire que cette tendance à la baisse est liée directement à la fin de la période de sécheresse qui frappé la région depuis 1970 et le retour à la période normale? La plus grande valeur de **DP** de 1985 est due essentiellement à l'influence de l'année précédente. Cette dernière est déclarée comme année la plus sèche du XXème siècle avec un déficit de l'ordre de 80% par rapport à la moyenne.

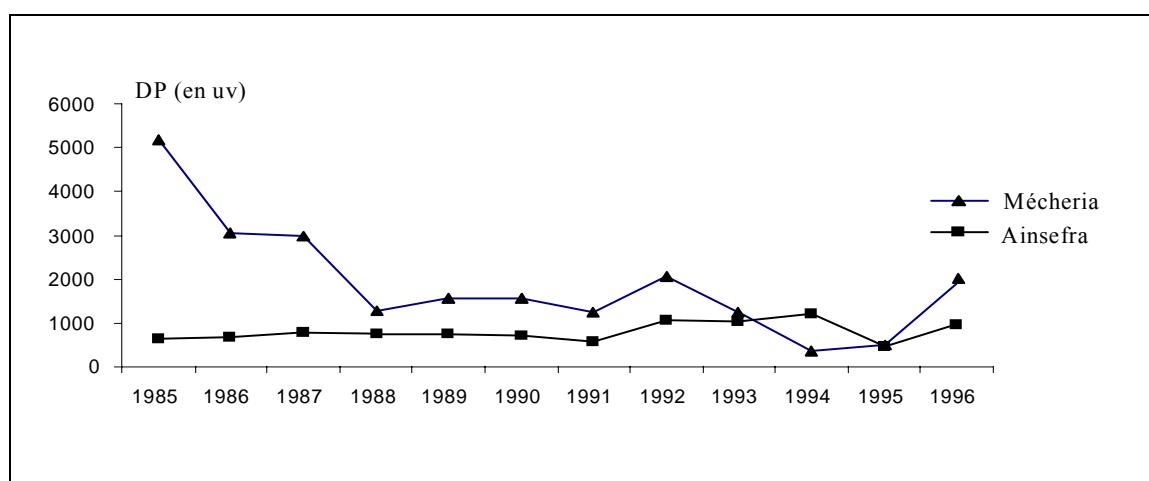


Figure 38 : Variation annuelle de la valeur de DP à Mécheria et à Ainsefra pendant la période 1985-1996.

Finalement pour les deux secteurs le suivi de la valeur du **DP** pendant les 12 années a révélé une variabilité assez importante ($CV=0.69$) à Mécheria par rapport à Ainsefra ($CV=0.29$). Le **DP** est d'autant plus élevé au cours des années marquées par un déficit accentué par rapport à la moyenne.

4.4.3.2.2. Direction, module de la résultante et coefficient de migration de sable

Que ce soit dans le nord au sud de la wilaya le sens de la résultante de migration potentielle se fait dans la direction du nord-ouest avec un basculement du nord vers le sud d'une année à l'autre.

Quant aux valeurs du coefficient de migration de sable on a mis en évidence une variabilité directionnelle moyenne (0.3 à 0.64) à Mécheria. A Ainsefra cette variabilité est faible avec un coefficient de migration qui varie entre 0.20 et 0.47 (Cf. Figure 39). D'après les travaux de LANCASTER N., (1988) un coefficient de migration de sable moyen (>0.5) caractérise une zone où le déplacement de sable engendre des édifices dunaires de type barkhanique ou des dunes transverses. Effectivement, nous avons observé des édifices barkhaniques au nord de la wilaya et plus précisément dans les localités de Mekmene Ben Amar, de Ain Benkhelile, de Kasdir et dans la commune de Naâma.

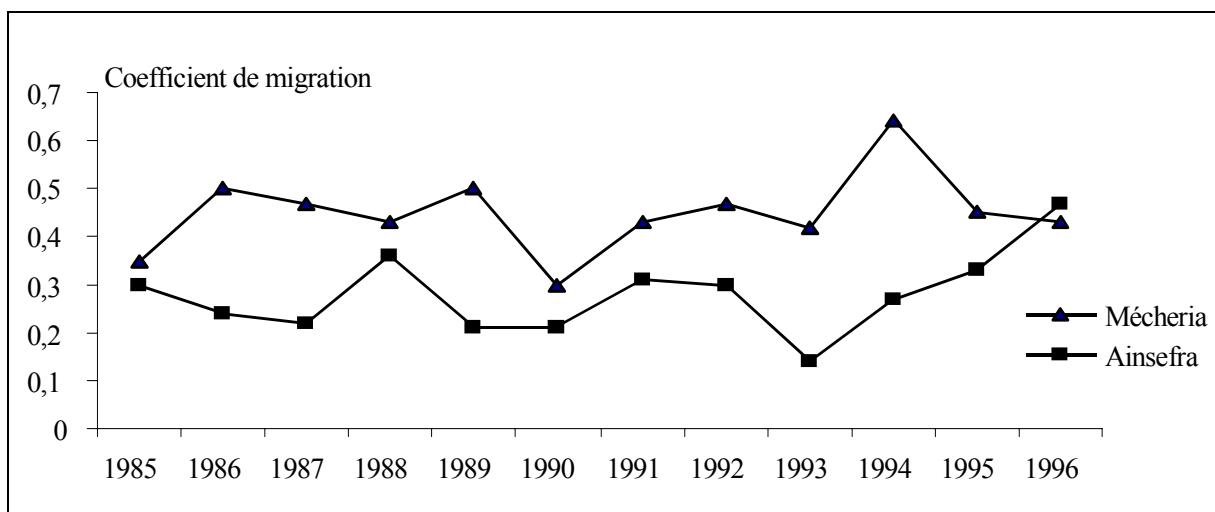


Figure 39 : Variation du coefficient de migration à Mécheria et Ainsefra pendant la période 1985-1996.

4.4.3.3. Mois par mois pour la période 1985-1996

Nous avons vu précédemment qu'il existait une variabilité interannuelle dans le déplacement potentiel de sable pour l'ensemble de la wilaya. Mais cette variabilité ne permet en aucun cas de mettre en lumière la fluctuation inter-saisonnière et mensuelle. En effet, à l'intérieur de chaque année il existe une variabilité mensuelle du **DP**. Cette fluctuation est engendrée par plusieurs phénomènes, notamment circulation atmosphérique des masses d'air, rotation de la terre autour du soleil, conditions climatiques locales et régionales et augmentation de l'albédo de surface.

Dès lors, la mise en évidence des mois dont le **DP** est élevé à travers une analyse mensuelle s'avère intéressante. Selon cette analyse plusieurs scénarii peuvent être envisagés. Nous pouvons citer par exemple un aménagement qui consiste à ensemencer des terrains particulièrement vulnérables par les conditions climatiques et socio-économiques, un type de végétation dont le cycle phénologique suit parfaitement l'allure de la courbe de déplacement mensuelle de sable. Autrement dit, le stade de pleine croissance de la végétation doit coïncider parfaitement avec les mois où le DP est maximal. Cependant, la présence de la végétation avec une couverture végétale assez dense au moment des vents violents peut minimiser le pouvoir de déflation sur le sol nu causé par des **DP** notables. Effectivement, des études réalisées par FREEBAIRN D.M. et WORCKER G.H. (1986) et par l'équipe scientifique de l'université de Guelph au Canada, citées par (BANNARI A. *et al.*, 1999) ont montré qu'un résidu de végétation avec une couverture végétale inférieure à 15% peut réduire l'érosion de 75%.

4.4.3.3.1. Le déplacement potentiel du sable

Durant la période 1985-1996 nous avons calculé pour chaque mois le déplacement potentiel du sable (**DP**). Dès lors, nous avons noté l'existence de deux périodes distinctes pour les deux stations :

- Pour Mécheria la période allant du mois de janvier jusqu'au mois de juin est marquée par des **DP** du sable supérieurs à la moyenne. La plus grande valeur est enregistrée en mars et avril. La seconde période est marquée par des valeurs de **DP** en dessous de la moyenne.
- Le secteur de Ainsefra est caractérisé par une période assez courte (mars-juin) par rapport à Mécheria où les valeurs de **DP** sont au-dessus de la moyenne. C'est toujours le printemps qui affiche des valeurs les plus élevées des **DP** de sable (Cf. Figure 40).

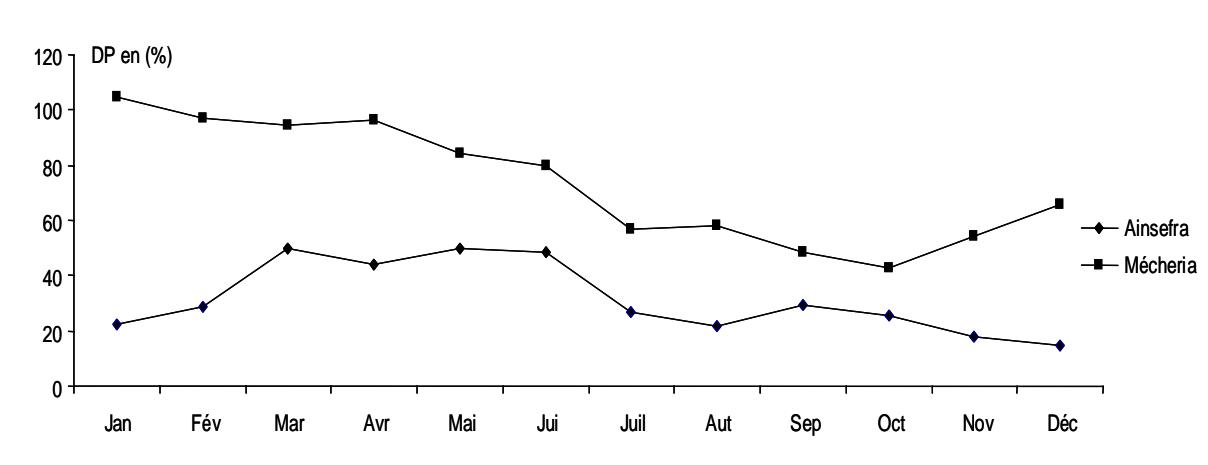


Figure 40 : Variation mensuelle du déplacement potentiel de sable (DP) à Mécheria et à Ainsefra durant la période 1985-1996.

4.4.3.3.2. Roses de déplacement potentiel du sable

La variabilité des directions indiquées par la résultante des roses de sables à l'échelle mensuelle est différente que celle déduite à partir de l'analyse interannuelle. Dans cette dernière nous avons vu que la migration se fait dans la direction ouest-nord-ouest vers l'est-sud-est pour l'ensemble de la wilaya excepté les années 1993 et 1996 où la migration est de direction sud-ouest.

Cependant à travers l'analyse mensuelle de déplacement potentiel de sable il a été mis en évidence trois modes de migrations pour toute la zone :

- une migration de direction ouest-nord-ouest à nord-ouest qui s'effectue durant la période novembre à mai pour Mécheria et entre décembre et avril pour Ainsefra;
- une migration de direction ouest qui se manifeste à la fin de la saison estivale et pendant la saison automnale. Au sud cette composante est présente uniquement en juin et juillet;
- une migration de direction sud-ouest dominante dans le secteur sud. Il est fort probable que cette direction est issue de l'influence des conditions topographiques locales (présence de plusieurs massifs montagneux de l'Atlas) de la zone sur la composante de direction ouest. La composante sud-ouest prend de l'importance à partir de juillet jusqu'en novembre, juste au moment de la descente en latitude de l'anticyclone des Açores. De plus, en été la transgression des dépressions venant des ouvertures du sud de l'Atlas a une influence non négligeable sur la migration de sable. D'ailleurs, les vents du sud (sirocco) ont une direction

sud-ouest et se manifestent dans la plus part des cas l'été (DUBIEF J., 2001). Donc, ces vents viennent sans doute renforcer la composante de direction sud-ouest du DP.

4.4.3.3.3. Coefficient de Migration de sable

Le calcul mensuel du coefficient de migration du sable a révélé que les plus faibles valeurs du coefficient caractérisent les mois de la saison d'été avec un potentiel de migration qui s'effectue selon plusieurs directions : à Mécheria on note les directions nord-ouest, ouest et nord-nord-est. Par contre, à Ainsefra on note les directions ouest et sud-sud-ouest.

Dans l'ensemble on note une variabilité du coefficient de migration pendant l'année. Toutefois, cette variabilité est beaucoup plus accentuée entre avril et mai ainsi qu'août et septembre (Cf. Tableau 30).

Mois et période	AINSEFRA					MÉCHERIA				
	Angle (degré)	Orientation	Module de la résultante En (%)	Coefficient de migration (RDP/DP)	Déplacement potentiel (DP) en (%)	Angle (degré)	Orientation	Module de la résultante En (%)	Coefficient de migration (RDP/DP)	Déplacement potentiel (DP) en (%)
Janvier	337	NNO	7.42	0.33	22.38	288	ONO	72.81	0.70	104.5
Février	320	NO	13.71	0.48	28.57	295	ONO	65	0.67	97
Mars	318	NO	17.54	0.35	49.68	297	ONO	55	0.58	94.62
Avril	326	NO	23.3	0.53	44	303	ONO	38.72	0.40	96.69
Mai	252	OSO	7.34	0.15	49.73	322	NO	19.13	0.23	84.1
Juin	262	O	14.37	0.30	48.4	274	O	9.22	0.12	79.75
Juillet	266	O	4	0.15	26.66	18.3	NNE	6.32	0.11	56.94
Août	199	SSO	5.1	0.23	21.87	266	O	11.8	0.20	58.2
Septembre	219	SO	12	0.41	29.42	281	O	19.47	0.40	48.38
Octobre	248	OSO	10.49	0.41	25.55	278	O	16.35	0.38	42.98
Novembre	245	OSO	5.48	0.31	17.59	284	ONO	32.04	0.59	54.17
Décembre	285	ONO	6.67	0.46	14.4	286	ONO	39	0.59	65.76
Hiver	317	NO	26.34	0.40	65.36	290	ONO	177	0.66	267.3
Printemps	314	NO	43.7	0.30	144	304	NO	111.51	0.40	275.4
Été	251	OSO	21.1	0.22	96.9	287	ONO	20	0.10	194.9
Automne	235	SO	27	0.37	72.61	282	ONO	67.81	0.47	145.54
Année	286	ONO	95.3	0.20	378.3	293	ONO	352.62	0.42	847.32

Tableau 30 : Coefficients de migration et orientations de migration de sables à Mécheria et à Ainsefra pendant la période 1985-1996.

Finalement, l'analyse de la dynamique éolienne effectuée à plusieurs échelles de temps nous a permis de mettre en évidence uniquement le sens probable de migration du sable. Or, en réalité la migration et le déplacement potentiel de sable sont plus compliqués que l'on imagine. Pour qu'il y ait une migration de sable, en plus de l'efficacité des vents, il faut bien

sûr la présence de matériaux sableux et sablo-limoneux, de dépôts d'alluvions et de dépressions hydro-éoliennes (Mekmene). Ces matériaux sont facilement mobilisables pour des vents supérieurs à la vitesse limite d'arrachement (V_t) pour être déposés en aval-vent selon le sens de migration. A cet effet, dans ce qui suit nous avons préféré combiner cette analyse avec une cartographie des zones source, de transit et d'accumulation.

4.5. MOBILITÉ ET ÉNERGIE DE L'ACTIVITÉ DES SURFACES DUNAIRES :

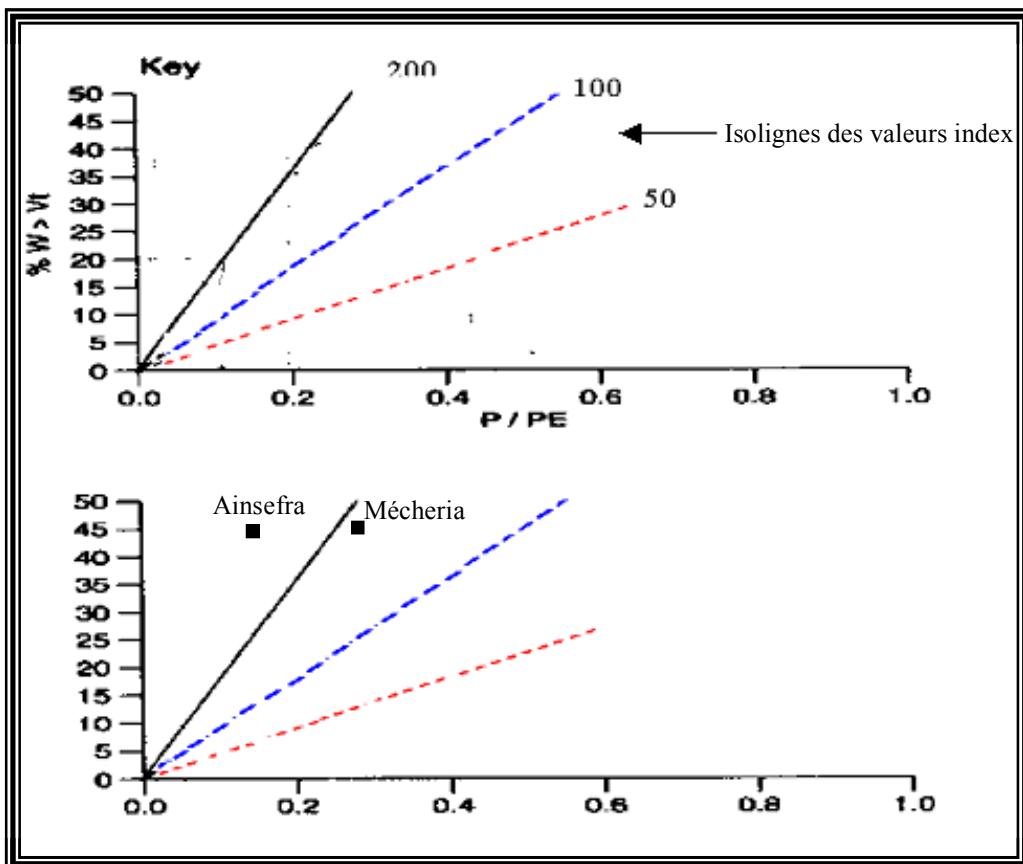
MÉTHODE DE LANCASTER N., (1988)

La méthode de LANCASTER N., (1988) a été utilisée afin de distinguer des milieux à forte, à moyenne et à faible mobilité dunaire. L'auteur a proposé un indice d'activité potentielle d'une surface dunale pour des régions arides et semi-arides. Cet indice met en relation les paramètres suivants : l'évapotranspiration potentielle, la précipitation moyenne ainsi que le pourcentage des vents supérieurs aux vitesses d'arrachement selon l'équation suivante :

$$M = W / (P/PE) \quad (8)$$

Où : M est la mobilité énergétique; P est la précipitation en mm; PE est l'évapotranspiration en mm et W la fréquence des vents supérieurs à V_t en %.

Selon LANCASTER N., (1988) en fonction de l'importance des vents forts et du coefficient (P/PE) nous pouvons distinguer des milieux à forte mobilité dunale où M est Supérieur à 200, à mobilité dunale intermédiaire où M est compris entre 200 et 100, à faible mobilité dunale où M est compris entre 100 et 50 et à aucune mobilité (dune inactive) où M est inférieur à 50 (Cf. Figure 41).



Source : (LANCASTER N., 1988).

Figure 41 : Valeurs indexées de l'activité des surfaces potentielles des dunes pour la région de Ainsefra et de Mécheria en utilisant la méthode de LANCASTER N., (1988).

L'analyse mensuelle de l'évolution de l'indice M est présentée dans le tableau 31.

Mois Mobilité \	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Période 1985-1996
M Mécheria	19	29	24	131	245	537	1629	1280	215	107	57	37	168
M Ainsefra	72	123	98	428	367	987	2181	1659	377	141	75	79	297

Tableau 31 : Variabilité mensuelle de l'indice M pour les deux stations de la wilaya de Naâma pour la période 1985 et 1996.

Il ressort de ce tableau que le passage d'un milieu à mobilité dunaire intermédiaire à forte mobilité s'effectue entre avril et mai pour la station nord, et entre mars et avril pour celle du sud. A cet effet, plus on se dirige vers le sud plus la mobilité dunaire devient importante. Les plus grandes valeurs de l'indice M sont enregistrées en juillet et août pour les deux stations. Dans ces deux mois la valeur de l'ETP est 17 fois supérieure à celle du mois de janvier pour Mécheria et à Ainsefra elle est 8 fois supérieure à celle de janvier.

Il est important de noter que dans les milieux arides le coefficient (P/PE) est très faible et il suffit un faible pourcentage des vents efficaces pour que le milieu soit considéré milieu à forte mobilité dunaire. Dès lors, il apparaît selon cette méthode, qu'un pourcentage de vents efficaces ($W > 20\%$) peut mobiliser des édifices dunaires déjà mis en place. Cette mobilité sera plus accentuée sur des édifices déstabilisés par les facteurs socio-économiques. Effectivement ces dernières années nous avons constaté une progression phénoménale des accumulations sableuses dans la région d'étude.

Le calcul de l'indice M de mobilité nous a permis de classer la région de Ainsefra dans une région à forte mobilité dunaire ($M=297$), et la région de Mécheria dans une région à mobilité intermédiaire ($M=168$).

4.6. COMPARAISON DES RÉSULTATS PAR RAPPORT À UNE ÉTUDE ANTÉRIEURE

Malheureusement il n'existe qu'un seul travail qui caractérise l'aspect éolien de la région d'étude et plus particulièrement le secteur de Ainsefra. **CALLOT Y., (1987)** a étudié le **DP** de sable durant une période de 5 ans (1978-1982). Selon l'auteur le secteur de Ainsefra est caractérisé comme étant une zone à forte énergie éolienne avec un **DP** annuel de l'ordre de 625.4. Quant à notre analyse durant la période entre 1985 et 1996 le **DP** annuel de sable a presque doublé (1226) (Cf. Tableau 32).

	Période : 1978-1982 (CALLOT Y., 1987)					Période : 1985-1996					Différence en (%)				
	H	P	E	A	AN	H	P	E	A	AN	H	P	E	A	AN
DP	177.4	227.1	142.3	78.5	625.4	65.36	144	96.9	72.6	378.3	-63	-37	-32	-7.6	-39.51
RDP	83.8	103.2	31	14.5	171.3	26.34	43.7	21.1	27	95.3	-69	-58	-32	86.5	-44.37
RDD En degré	332	354	197	309	336	317	314	251	235	286					
RDP/DP	0.47	0.45	0.22	0.18	0.27	0.40	0.30	0.22	0.37	0.2	-21	-36	-50	78	-26

H : Hiver, P : Printemps, E : Eté, A : Automne et AN : Année.

Tableau 32 : Déplacement potentiel de sable saisonnier à Ainsefra pour la période 1985-1996 et comparaison avec ceux obtenus par CALLOT Y., (1987).

D'après le tableau ci-dessus il apparaît que le **DP** de sable de chaque saison pour notre période a augmenté selon une fourchette qui varie entre 8 et 63%. C'est la saison hivernale qui a connu la plus grande variation. Durant cette saison nous avons noté une migration de direction nord-ouest avec un coefficient de migration moyen (0.40). Par contre, lors de la

période entre 1978 et 1982 aucune direction ne domine et le coefficient de migration a été faible. Aussi, nous avons constaté que les directions résultantes de migration (**RDD**) ont été modifiées pour toutes les saisons. La direction passe de 309° N à 235° N pendant l'automne et de 197° N à 251° N pendant l'été, soit de direction sud-sud-ouest à ouest-sud-ouest. Cette modification dans la direction des résultantes (**RDD**) pour l'automne et l'été est due essentiellement à la variabilité directionnelle du vent dans le temps. Selon notre analyse sur les **DP** de sables, il résulte que pendant l'automne les **DP** de directions sud et sud-sud-ouest représentaient 28.6% pendant notre période et seulement 7% pour la période entre 1978 et 1982. Quant à la saison de l'été il apparaît que les **DP** de directions ouest et est ont augmenté de 15 et 6 % respectivement par rapport à l'ancienne période. Toutefois, les **DP** de direction sud-ouest ont subi une diminution de 12%.

Il est important de noter que les modifications concernant les **DP** et les **RDP** résultent aux nombres d'observations par jour pour les relevés de vents (08 observations par jour pour la période 1985-1996, et 03 observations pour la période 1978-1982). Plus le nombre d'observations augmente, plus nous nous rapprochons de la réalité. Avec huit observations par jour le nombre de vents calmes augmente ce qui réduit la valeur des **DP** et **RDP** par rapport à la période de 1978-1982.

Ainsi, peut-on imaginer que cette modification dans le sens de migration du sable a un lien direct avec la sécheresse et la régression de la non végétation pérenne ? Cette dernière était abondante et on parlé même d'une mer d'alfa dans les années de 1950 jusqu'au début des années 1970. Elle assurait une protection contre les attaques des vents violents en augmentant la rugosité du sol.

Il est évident que la sécheresse contribue à la raréfaction et à la disparition de la végétation pérenne et annuelle. A cela s'ajoute les destructions causées par l'homme pour assurer sa survie. La disparition de la végétation a favorisé la diminution de la rugosité du sol jusqu'à offrir au vent sa plus grande efficacité. Dès lors, il est probable que les caractéristiques pédologiques des sols ont été modifiées après la régression du couvert végétal.

4.7. MISSION DE TERRAIN ET VÉRIFICATION DES DIRECTIONS DE L'ANALYSE DYNAMIQUE ÉOLIENNE

La mise en évidence des modes de migration de sable dans notre région par l'analyse dynamique éolienne effectuée sur les deux stations distante seulement de 100 km, s'avère

insuffisante. A cet effet, nous avons préféré confronter les résultats de l'analyse avec des mesures de directions de migration de sable effectuées sur le terrain. Cependant, sur le terrain plusieurs critères ont été pris en considération pour confirmer les quatre tendances de migration de sable déjà mises en évidence, à savoir :

- des mesures sur des édifices barkhaniques;
- des mesures sur des rides;
- des observations sur l'inclinaison de la végétation surtout le barrage vert;
- placage de sable par rapport aux obstacles naturels (massifs de l'Atlas).

Chaque année depuis mai 2001 nous procédons à des mesures de directions des **DP** de sables. L'ensemble des sites investigués a été choisi suite à une analyse de photo-interprétation réalisée sur des images satellites récentes. Cette photo-interprétation nous a facilité la tâche dans le choix des sites potentiels pour les mesures de directions de migration de sable et dans la sélection des meilleurs itinéraires. La localisation dans la région d'étude des sites d'investigation est déterminée à l'aide de l'utilisation d'un GPS² portable. Donc, pour chaque site échantillonné nous avons relevé les informations suivantes : coordonnée en projection longitude / latitude, l'angle de migration par rapport au nord, le type et la dimension de l'édifice dunaire et le nom de la localité du site (Cf. Tableau 33).

Il importe de noter que chaque direction mesurée sur le terrain traduit uniquement la direction du dernier vent efficace et que la mesure correspond à une durée t durant l'année. A fin de valider nos observations nous avons procédé à des mesures étalées sur quatre années avec la collaboration de l'équipe de recherche du laboratoire (Espace géographique et Aménagement du Territoire) dirigée par madame le professeur Remaoun. C'est la période du printemps qui a été choisie pour les missions de terrain excepté la dernière qui a été faite en automne. Ce choix est basé sur des travaux antérieurs (CALLOT Y., 1987; TAÏBI A., 1997; DUBIEF J., 2001 et REMAOUN K., 2004) qui ont montré que le printemps est la période la plus favorable aux vents efficaces.

En effet, toutes les mesures réalisées à l'intérieur de la wilaya ont permis de dégager les trois tendances de direction de migrations de sables déjà mises en lumière par l'analyse dynamique. Dans la plus part des cas nous avons choisi la barkhane pour nos mesures. Cette dernière est un excellent indicateur du sens de migration de sable. Toutefois, elle doit être

² GPS : système de positionnement global, type ETREX Garmin

utilisée avec prudence, car une barkhane de petite dimension ne renseigne que sur la direction engendrée par le dernier vent. En l'absence de cet édifice barkhanique sur le terrain d'autres ont été choisis notamment les rides, les amas de sable et les nebkas.

Il apparaît d'après ces mesures de terrain que la direction du nord-ouest est relevée dans la partie nord-ouest de Mécheria et au nord-est du piémont de djebel Antar. A cet endroit plusieurs édifices barkhaniques ont été échantillonnés. Au sud de Naâma et à Faidjet El Betoum c'est la direction ouest-sud-ouest qui dominait. Quant à la direction ouest on la retrouvait dans la partie ouest et plus précisément sur le piémont est de djebel Hafid.

Donc, les données issues des mesures de terrain concordent parfaitement avec les directions des résultantes annuelles et du mois de mai de migration de sable. En plus de ces relevés de terrain, les anciennes accumulations piégées dans les versants nord-ouest des chaînons Atlasiques témoignent d'un flux de migration de direction nord-ouest.

Numéro	Coordonnées en degré		Localisation	Dimension (en m)	Orientation (en degré)	Direction	Type d'édifice
	Longitude	Latitude					
1	-0.38	33.47	Piémont sud de djebel Antar	L= 28 ; h = 1 ; l= 24	315	NO	Amas sableux + dune en forme de dôme.
2	-0.43	33.50	Sud-ouest de djebel Antar		320	NO	Voile sableux
3	-0.39	33.46	Piémont sud de djebel Antar		342	NO	Rides
4	-0.38	33.47	Piémont sud-est de djebel Antar	L = 28 ; h = 2 ; l = 24	315	NO	Nappage de sable
5	-0.71	33.31	Entre Mécheria et Ain Benkhelile		243	OSO	Rides + nappage de sable
6	-0.58	33.36	Commune de Naâma	L = 17 ; h = 0.7 ; l = 13	257	OSO	Barkhane
7	-0.39	33.47	Entre Mécheria et Mekmene Ben Amar		243	OSO	Nappage de sable
8	-0.81	33.30	A coté du lac Ogalt ed Deïra		243	OSO	Barkhane
9	-0.28	33.80	Sud de djebel Amrag		244	OSO	Barkhane + amas sableux
10	-0.26	33.74	Retombé nord-est de la dune de djebel Antar		346	NNO	Barkhane isolée
11	-0.29	33.19	Sud de sebkhat Naâma	L = 10 ; h = 1.5 ; l = 8	247	OSO	Cordons barkhanoides
12	-0.79	33.32	Piémont est de Djebel Hafid	L = 10 ; h = 4 ; l = 6	262	O	Barkhane
13	-0.11	33.36	Bordure est de sebkhat Naâma		261	O	Voile sableux
14	-1.15	32.96	Piémont sud-ouest de djebel Gaaloul	L = 10 ; h = 4 ; l = 6	241	OSO	Barkhane
15	-0.75	33.3	Entre Ain Benkhelile et Naâma		270	O	Petite dune
16	-0.41	33.46	Sud de djebel Antar		256	OSO	Rides
17	-0.29	33.79	Entre djebel Antar et djebel Amrag	L = 31 ; h = 1 ; l = 17	243	OSO	Amas de sables
18	-0.27	33.80	Entre djebel Antar et djebel Amrag			OSO	Nebkha

Tableau 33 : Mesure de direction de migration potentielle de sable sur terrain de la wilaya de Naâma.

4.8. RÉALITÉ VIRTUELLE ET DYNAMIQUE ÉOLIENNE DE LA WILAYA DE NAÂMA

Avec les seules mesures ponctuelles à l'échelle régionale nous aurons des difficultés à comprendre la dynamique de l'ensablement dans l'espace et dans le temps et ses conséquences. Vu l'étendue spatiale de la zone, le suivi de cet ensablement à l'aide des données de terrain et des photographies aériennes s'avère coûteux, difficile, voire impossible. A titre d'exemple, il faut acquérir, redresser et effectuer la correction géométrique de 893 photos aériennes à l'échelle 1 : 25 000 et de 223 photos à l'échelle 1 : 50 000 afin de pouvoir couvrir toute la zone d'étude. Donc, la simple réalisation d'une mosaïque de ces photos nécessite un travail colossal de plusieurs mois. Or, si on s'intéresse à une étude multitemporelle de l'évolution du phénomène de l'ensablement le nombre de photographies aériennes à traiter augmente suivant le nombre de périodes choisies.

Pour faire face à cette difficulté nous avons opté pour l'approche heuristique qui repose sur la découverte d'une solution par la construction interactive d'un paysage commun et réaliste. Notre objectif à travers cette méthode est de construire une scène virtuelle en 3 dimensions dans le but de mieux comprendre la dynamique éolienne de migration de sable. La création de cette scène virtuelle du paysage a nécessité les opérations suivantes :

- la création et l'établissement du modèle numérique d'altitude (MNA). Ce MNA est issu d'une digitalisation des courbes de niveaux de quatre cartes topographiques : carte de Ainsefra, de Mécheria, de Béniounif et du Chott Rharbi à l'échelle 1 : 200 000. L'ensemble des courbes a été transformé en un fichier vectoriel point où chaque point recevait une valeur d'altitude du terrain. C'est à partir de ce fichier qu'une interpolation est réalisée afin d'obtenir le MNA. Pour des raisons de commodité nous avons choisi une résolution de 30 mètres, la même que celle des images satellitaires TM et ETM+ de Landsat;
- la réalisation des compositions colorées de trois scènes MSS (212/37; 213/36 et 213/37) de 1972 et de trois scènes ETM+ (197/37; 198/36 et 198/37) de 2002. Ces compositions colorées sont issues de la superposition de trois canaux des images MSS pour les scènes de 1972 et des images ETM+ pour celles de 2002. Les images MSS ont subi un ré-échantillonnage pour passer d'une résolution de 80 mètres à une résolution de 30 mètres;
- le drapage des compositions colorées sur le MNA. Cette étape requiert que les images satellitaires ainsi que le MNA aient le même système de géo-référencement. Dans notre cas c'est la projection universelle Mercator (UTM) zone 30 et le Datum (WGS84);

- l'intégration des données numériques dans l'environnement de simulation de la réalité virtuelle du paysage proposée par le logiciel ENVI version 4.0.

Dans cet environnement de réalité virtuelle, le logiciel nous propose une multitude de fonctions qui nous permettent de réaliser des mises en œuvre en 3D. La navigation devient possible sous différents angles de vision à l'intérieur de la scène, ce qui permet une meilleure compréhension du phénomène. La Figure 42 montre une scène de simulation virtuelle de la zone d'étude pendant l'année de 1957. Durant cette année la mobilité était faible, seules les anciennes dunes apparaissent en jaune. Excepté ces anciennes dunes, le sable est quasiment absent de l'ensemble de la région d'étude.

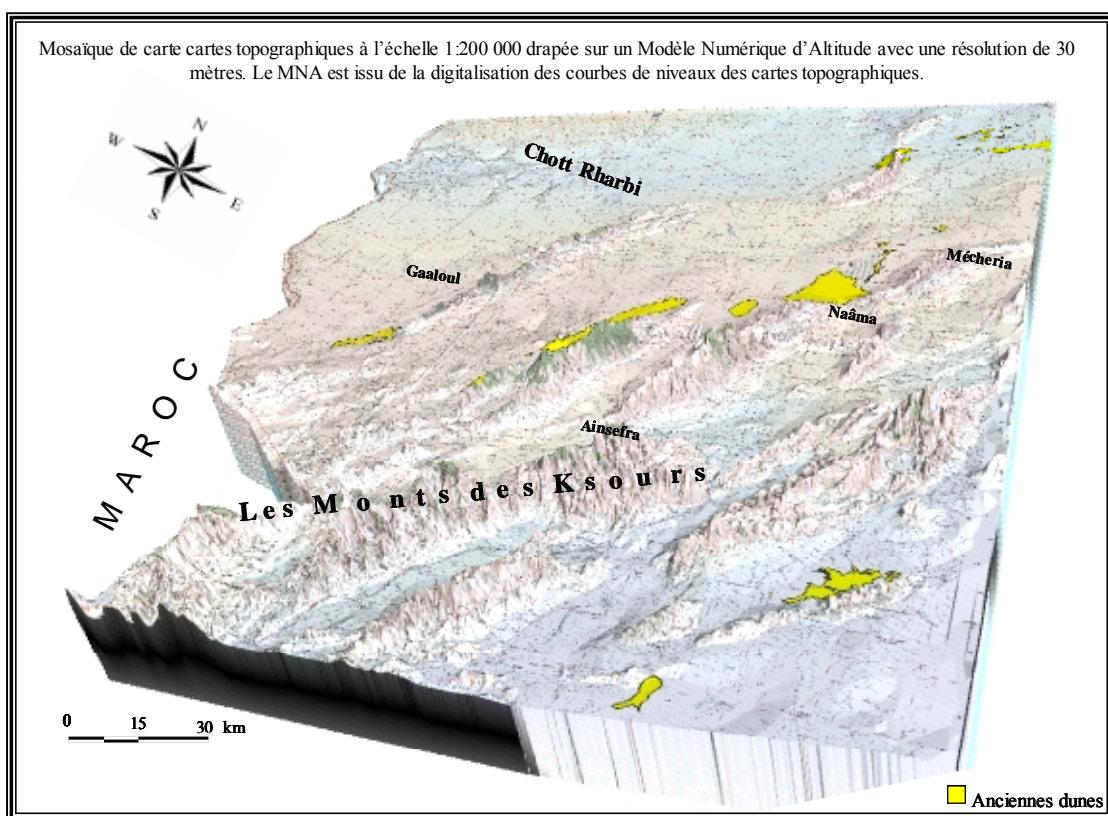


Figure 42 : Mosaïque de quatre cartes topographiques de 1957 drapées sur un modèle numérique d'altitude et délimitation spatiale des anciennes dunes dans la zone d'étude.

Cependant, il apparaît dans la figure 43 que depuis 1972 l'extension du sable dans la zone d'étude a commencé à avoir de l'ampleur. C'est au niveau de la commune d'El Biod et de la commune de Naâma que cette extension est la plus accentuée.

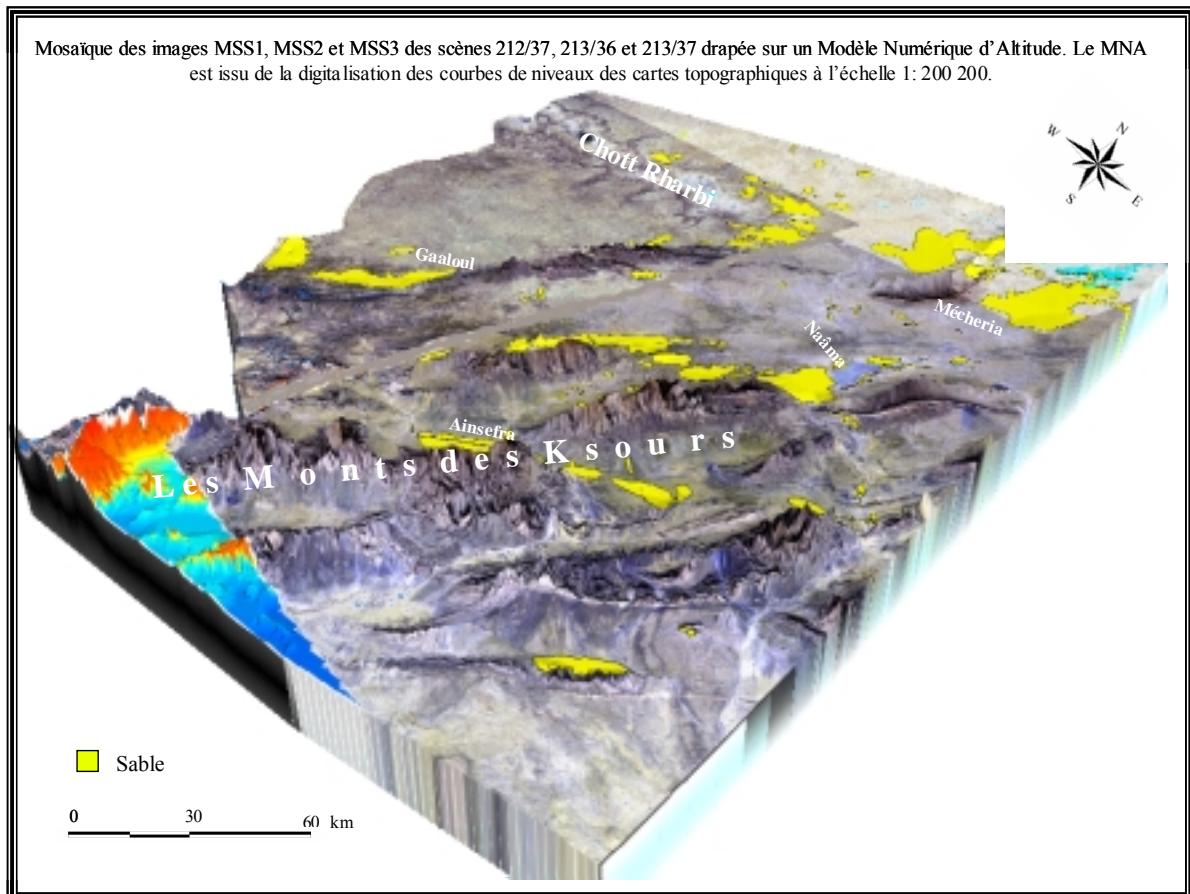


Figure 43 : Mosaïque de trois scènes en 3D des images MSS de Landsat de 1972 et délimitation spatiale des espaces ensablés dans la zone d'étude.

La scène suivante de 2002 (Cf. figure 44) montre la situation alarmante de l'avancée du sable vers les zones intérieures et les infrastructures. Dès lors, l'ensablement (couleur jaune dans la figure) gagne du terrain au détriment des terres steppiques et agricoles. Pendant les 45 dernières années presque la moitié de la superficie de la zone a été ensablée.

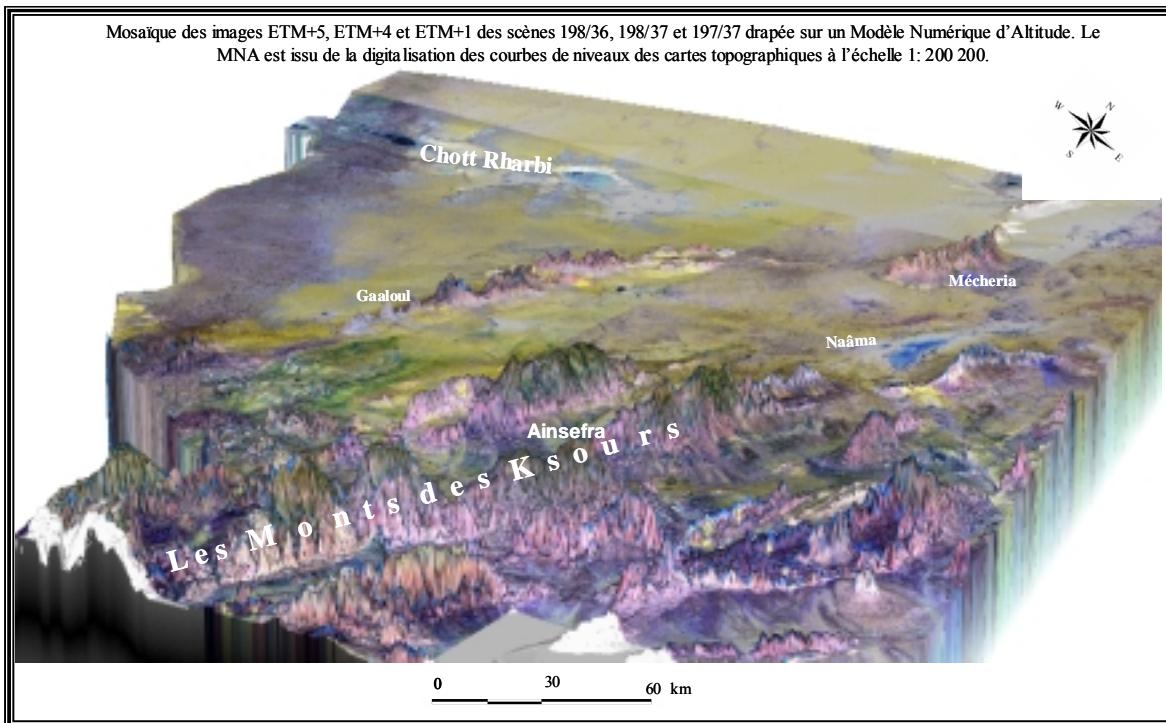


Figure 44 : Mosaïque de trois scènes en 3D des images ETM+ de Landsat de 2002.

Afin de vérifier les dires³ des habitants de la région selon qui, le sable arrive du Maroc voir de l'ouest, nous avons préféré exploiter et interpréter des scènes MSS et TM couvrant une partie du nord-est du territoire Marocain ainsi qu'une image MODIS.

La mosaïque de la scène de 1972 (Cf. figure 43) a permis d'identifier l'axe de cheminement éolien prenant naissance au-delà de la frontière Algéro-Marocaine. A trente kilomètres et à l'ouest de djebel Gaaloul, il s'est formé un grand erg dans la cuvette du Chott Tigri (1111 km^2). A cette date l'erg se comportait comme une aire d'accumulation. Le sable provenait de différentes sources et s'accumulait dans cette cuvette. Toutefois, l'extension spatiale des accumulations sableuses telle qu'elle est présentée par la figure 45 ne permet pas de bien définir le sens de migration de sable. Nous pouvons imaginer plusieurs hypothèses pour dire que le sable pouvait venir de l'intérieur du Maroc et plus précisément des vallées de Drâa et de Ziz qui connaissent ces dernières années une progression récente et actuelle des accumulations sableuses (BENMOHAMMADI A. *et al.*, 2000). Elles pouvaient provenir de l'erg occidental se trouvant dans la partie méridionale de la chaîne Atlasique ainsi que des massifs constitués de roches facilement érodables dans le contexte géologique. Cependant, d'après nos observations de terrain et des témoignages, la première hypothèse reste valable. D'ailleurs, la mosaïque (figure 44) de 2002 montre clairement l'extension spatiale du sable.

³ Entretiens effectués lors de nos enquêtes de terrain de décembre 2004. une dizaine d'habitants personnes âgées originaires de la région étaient tous d'accord pour dire que le sable arrive du Maroc.

Au même endroit la cuvette (Chott Tigri) qui constituait auparavant (1972) une aire d'accumulation est devenue une aire source d'exportation vers l'intérieur de notre zone en suivant la direction sud-ouest nord-est. Le sable piégé dans la cuvette a augmenté de volume jusqu'à atteindre un certain seuil avant de pouvoir être porté par le vent puis transporté vers les anciennes accumulations au sud-ouest de djebel Gaaloul. Ce phénomène s'apparente aux observations de MAINGUET M., (1995) dans ses travaux sur le Sahel. Selon les analyses du même auteur le Sahel a été pendant longtemps une aire d'accumulation de matériel éolien avant de devenir partiellement une aire d'exportation lors de la crise de sécheresse de 1968-1985.

De plus, l'exploitation de la scène du satellite MODIS (Cf. Figure 45) du 23 juin 2003 nous a permis de voir l'immense panache de litho-météores (4) qui s'est formé dans la région sud-est du Maroc et du sud-ouest de l'Algérie et qui se dirige jusqu'à la mer Méditerranée. Celui-ci est formé par le vent fort connu sous le nom Guebli (sirocco) qui souffle pendant le printemps et l'été.

D'après les informations recueillies auprès des citoyens de la wilaya de Naâma et de Saida, nous avons constaté que ces dernières années les fréquences d'apparition des tempêtes de sables ont augmenté. Les chauffeurs de taxi m'ont raconté que pendant la saison d'été la route reliant Saida à Ainsefra devient impraticable. Selon eux la visibilité est tellement basse qu'ils ne pouvaient pas s'aventurer en prenant la route. La figure ci-après témoigne de l'ampleur du phénomène.

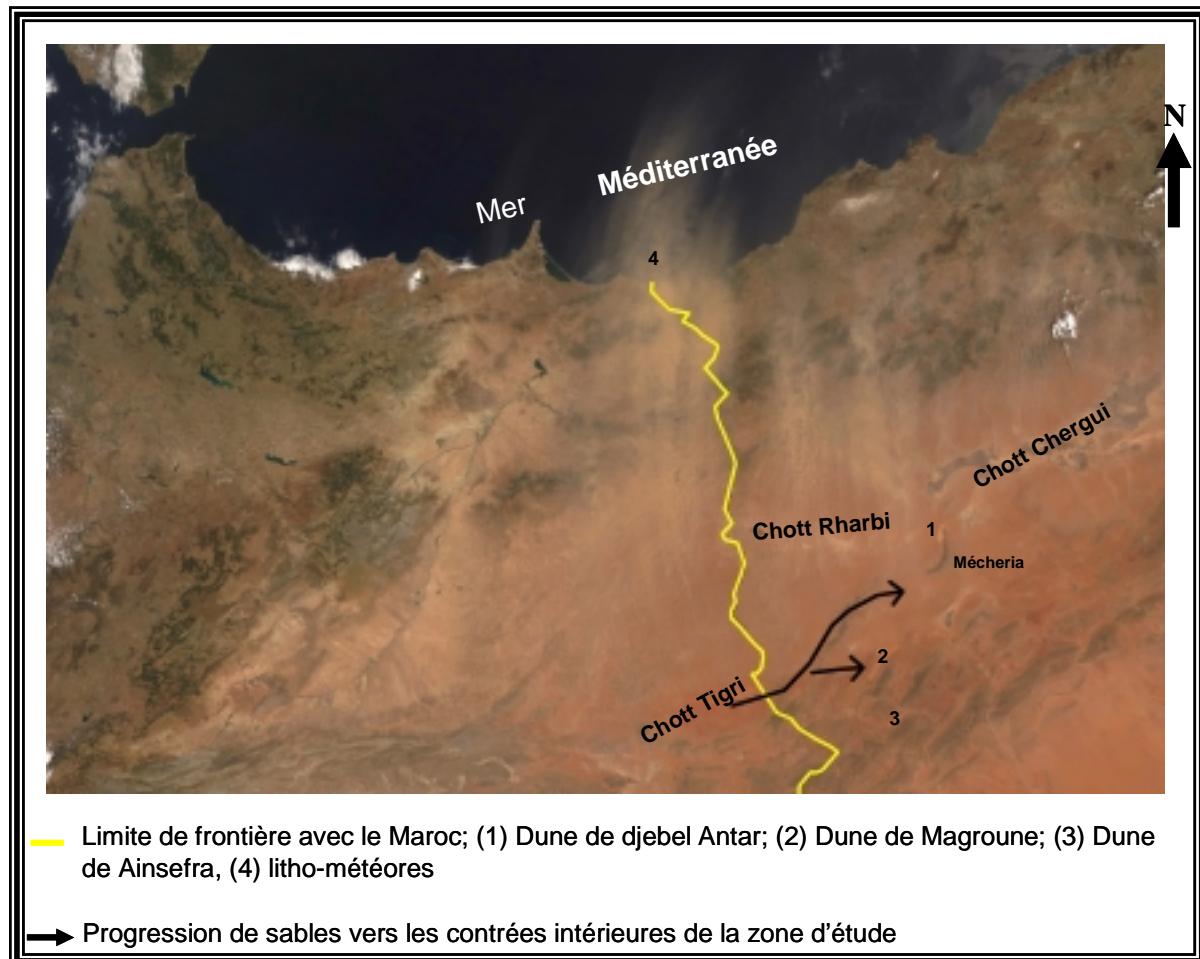


Figure 45 : Image MODIS du 23 juin 2003 montrant l'immense panache de litho-météores.

Ces anciennes dunes sont devenues mobiles et leur progression se fait vers la direction du nord-est et vers la commune de Ain Benkhelile. L'immense barrière constituée par les chaînons avancés de l'Atlas saharien (djebel Gaaloul 1612 m, djebel er Reha 1581 m, djebel Arar 1807 m, djebel Kerrouch 1678 m, djebel Bou Amoud 1416 m, djebel Bou Rhenissa 1563 m, djebel Guetob 1594 m, djebel Hafid 1407 m et djebel bel Aroug 1326 m) a piégé le sable et une grande accumulation s'est formée sur le flanc nord-ouest de ces massifs montagneux. L'existence de nombreux fous (cluse) entre les montagnes, où le vent s'engouffre en augmentant de vitesse, constitue des aires de transit de sable vers les contrées se trouvant dans l'aval-vent.

Les scènes présentées par les figures 46, 47 et 48 sont un excellent moyen pour une analyse visuelle synoptique de toute l'étendue spatiale de la wilaya. Elles permettent d'analyser et de délimiter dans un contexte global le phénomène de l'ensablement. De plus, elles offrent aux différents acteurs (responsables locaux, écologiste, scientifique, population locale, etc.) qui

ont une idée sur le terrain un champ de discussion et de prise de conscience des enjeux de chacun.

La figure 48 prise selon la direction sud-ouest nord-est permet de bien voir la progression de la dune du djebel Antar vers le nord-est. Au côté sous le vent elle devient une dune tombante qui continue sa progression vers l'est. Devant une telle donnée enrichissante et avec toutes les possibilités qu'offre le logiciel (la navigation en temps réel, la vision suivant les différents angles, le zoom sur un détail précis, le changement d'échelle, etc.), les décideurs se trouvent face à un outil d'aide à la décision qui leur permettra de promouvoir des stratégies d'intervention pour un développement équilibré.

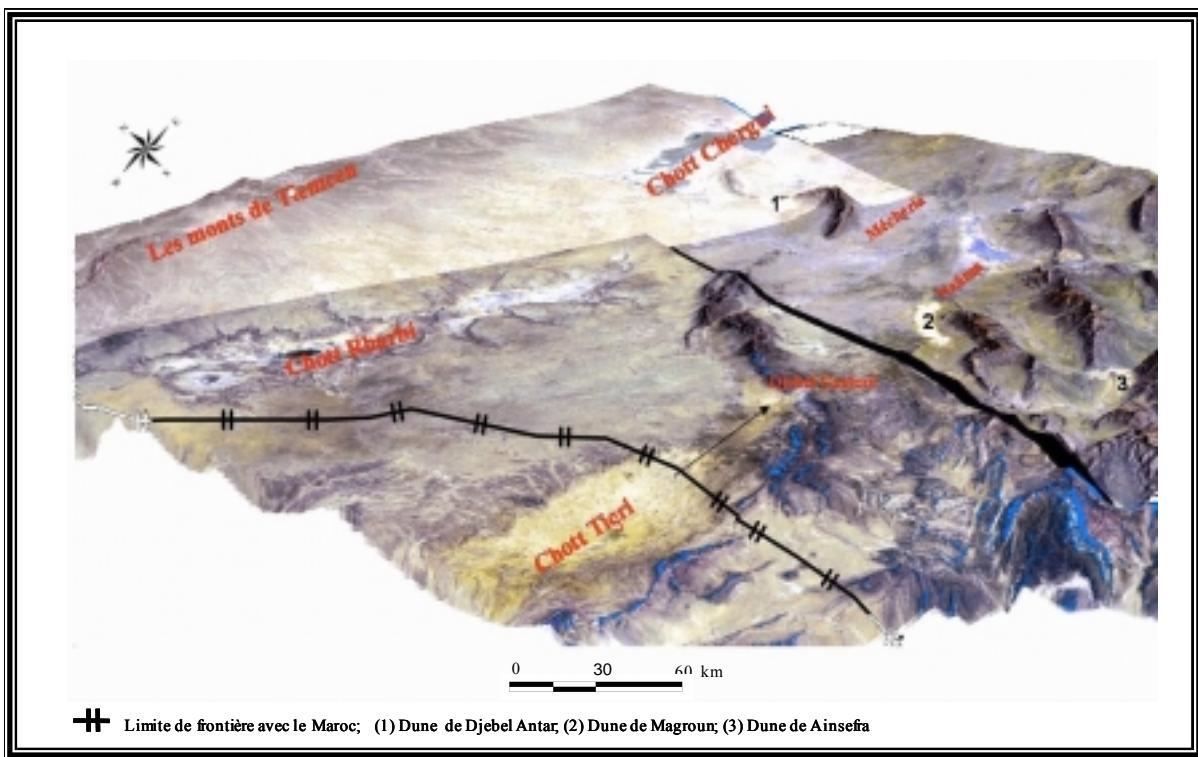


Figure 46 : Vue en 3D des scènes MSS de 1972 de Landsat selon la direction sud-ouest nord-est.

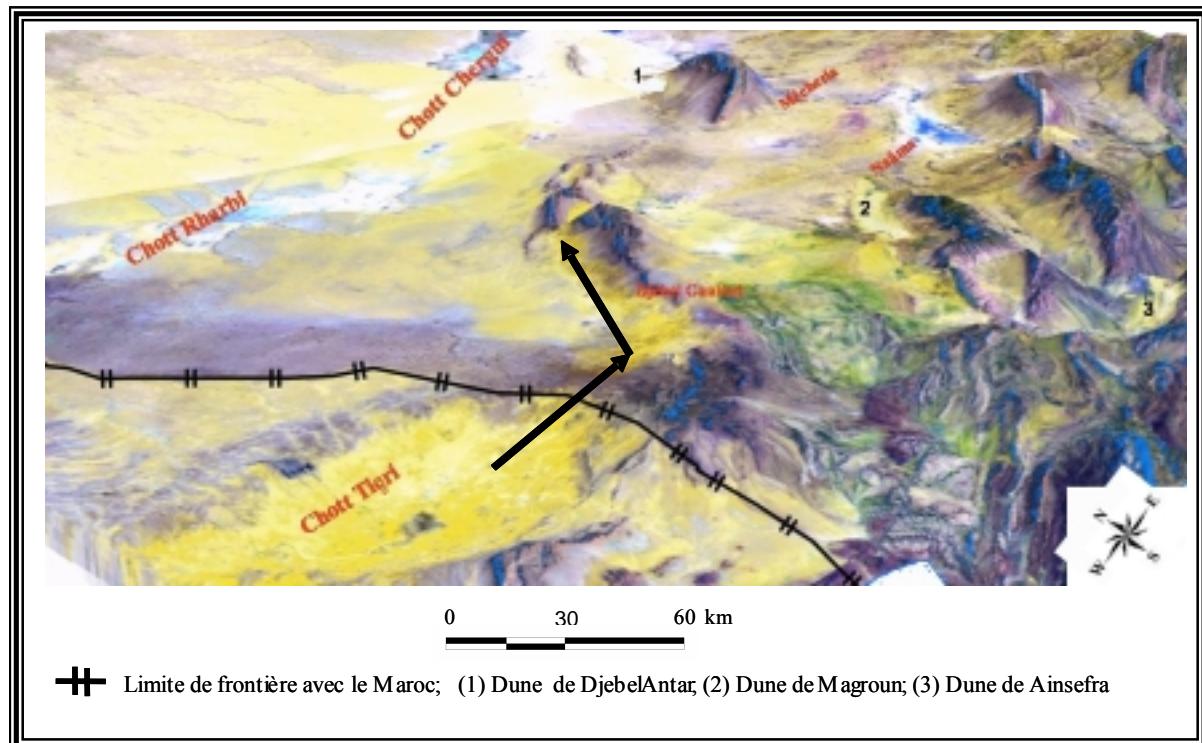


Figure 47 : Vue en 3D des scènes ETM+ de 2002 de Landsat selon la direction sud-ouest nord-est.

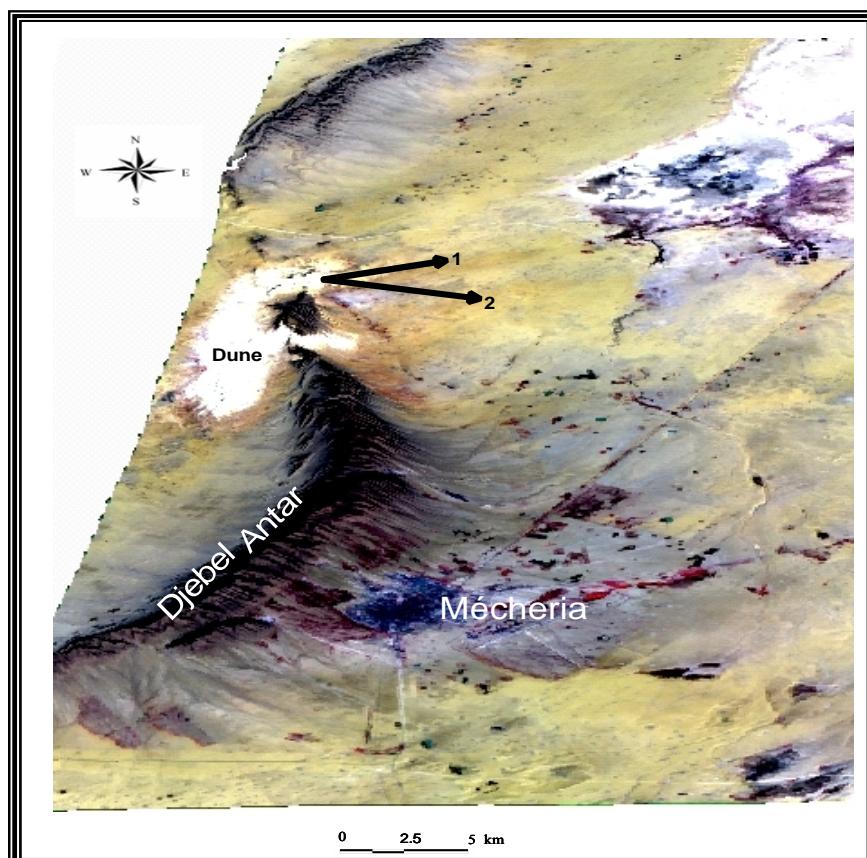


Figure 48 : Vue en 3D de scène (197/37) ETM+ de 2002 de Landsat selon la direction sud-nord.

4.9. ORIGINES DES SABLES ET DELIMITATION SPATIALE

4.9.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique pour la steppe sud occidentale algérienne a été réalisée par (REMAOUN K., 2004) en certains endroits. Cette analyse a révélé la prédominance de sables fins qui ont un diamètre compris entre 0.08 et 0.16 mm. Ce sable est prélevé en bas du talus de la barkhane du coté au vent. Pour le sable de la crête, son diamètre oscille entre 0.125 et 0.315 mm. Pour l'ensemble des échantillons l'indice de classement (S_0) varie de 1.06 à 1.44 ce qui montre un bon classement des particules fines (Cf. Tableau 34).

Nous tenons à signaler que cette analyse granulométrique reste insuffisante pour se prononcer sur les origines du sable et surtout en ce qui concerne les particules fines. Dans notre zone d'étude plusieurs sources peuvent fournir du sable notamment : les sédiments gréseux de la fin du Jurassique jusqu'à l'Albien, les terrasses et les glacis, les anciennes dunes et ergs déjà mis en place, les colluvions et les alluvions charriés et déposés par les cours d'eaux et les réseaux hydrographiques. A cet effet, KABIRI L. *et al.*, (2003) confirme la nécessité des études minéralogiques (minéraux lourds et légers). Dans ce travail nous n'avons pas abordé ce sujet, nous pensons que celui-ci constitue un autre sujet de thèse.

	Bas de la barkhane Coté au vent			Crête			Flanc Barkhane Coté au vent			Bas de la barkhane Coté sous le vent		
	Médiane (mm)	Asymétrie	Acuité	Médiane (mm)	Asymétrie	Acuité	Médiane (mm)	Asymétrie	Acuité	Médiane (mm)	Asymétrie	Acuité
Mosbah	0.08	Du coté des sables fins	Bon tri courbe liptokurtique	0.125	Du coté des sables grossiers	Bon tri courbe liptokurtique	0.08	Du coté des sables fins	Bon tri courbe liptokurtique	0.08	Du coté des sables fins	Tri moyen
El Bayadh	0.08	Du coté des sables fins	Bon tri courbe liptokurtique	0.200	Du coté des sables grossiers	Très bon tri	0.08	Du coté des sables fins	Un bon tri courbe liptokurtique	-	-	-
Sud du chott Chergui	0.25	Du coté des sables grossiers	Un bon tri courbe liptokurtique	-	-	-	0.25	Du coté des sables grossiers	Très bon tri courbe liptokurtique	0.25	Du coté des sables grossiers	bon tri courbe liptokurtique
Nord-est de djebel Antar 1 ^{er} échantillon	0.100	Du coté des sables grossiers	Un bon tri courbe liptokurtique	0.315	Du coté des sables grossiers	bon tri courbe liptokurtique	-	-	-	-	-	-
Nord-est de djebel Antar 2 ^{ème} échantillon	0.125	Du coté des sables moyens	Un tri moyen	0.125	Du coté des sables grossiers	bon tri courbe liptokurtique	-	-	-	-	-	-

- donnée non existante.

Source : (REMAOUN K., 1994)

Tableau 34 : Analyse granulométrique de certains échantillons de la steppe occidentale.

4.9.2. Mise en évidence et délimitation spatiale des aires source, d'accumulation et de déflation

A l'intérieur de notre zone d'étude nous avons pu déterminer l'organisation spatiale du système éolien complexe en nous basant sur la théorie du Système Global d'Action Eolienne (SGAE). Ce système est basé sur la combinaison de trois composantes notamment :

4.9.2.1. Aire source et de déflation

Ces aires sont constituées par les zones pourvoyeuses de sable qui peuvent être transportés par relais pendant de longues durées et sur de longues distances. Les zones source de sable qui alimente l'espace de la wilaya de Naâma en quantités appréciables de particules sableuses, vu le contexte géologique (présence de roches friables par la corrosion et l'haloclastie, anciennes accumulations sableuses et oueds à écoulement endoréique), sont diversifiées ayant une origine fluviatile et lithologique. Cette dernière origine est caractérisée par l'existence de grandes étendues de glacis dénudés au nord du Chott Rharbi et des portions considérables de grès dans les couches affleurantes en différents endroits. Le substrat gréseux et dolomitique qui constitue la région est à l'origine de la formation des particules sableuses après désagrégation mécanique et chimique. Selon (BREUBINGER *et al.*, (1989) in : (BERGAMETTI G., 1997) les mécanismes susceptibles de produire les particules fines sont :

- les cycles froid/chaud et gel/dégel. La présence de l'eau dans les fissures des substrats rocheux ainsi que la forte amplitude thermique entre périodes diurne et nocturne dans la zone d'étude favorisent la création de forces de tension suffisantes pour éclater la roche;
- les processus d'altération chimique par les solutions salines provenant des chotts et des sebkhas pourraient également être également des mécanismes de production de particules érodables.

En plus des processus physico-chimiques de désagrégation des roches, l'érosion hydrique causée par les pluies torrentielles qui s'abattent sur les massifs montagneux de l'Atlas provoque des dégâts considérables et un brassage de sédiments comme cela a été le cas en mars de 1959 à travers toute la bordure nord-ouest du sahara.

Des énormes quantités de sédiments sont transportées vers les zones les plus basses (vallée, chott, sebkha, daya). Ce phénomène est beaucoup plus accentué au sud qu'au nord. Dans le sud le réseau hydrographique est hiérarchisé par rapport au nord où il est plutôt lâche et

désorganisé. Cette désorganisation est liée aux conditions climatiques et topographiques (plaine).

Les quantités de sables transportées vers l'aval par les oueds sont reprises par le vent après assèchement des lits d'oueds au printemps et en été vers les directions de migration de sables citées auparavant.

Nous avons pu définir et délimiter spatialement les zones pourvoyeuses se trouvant à l'intérieur de la wilaya de Naâma : Chott Rharbi, massifs de l'Atlas saharien et différentes plaines alluviales et lits d'oueds (oued Sfissifa, oued Breïdj, oued Namous et oued Rhouïba). Ces zones source ont été mises en évidence grâce à une recherche bibliographique (CALLOT Y., 1987; TAD 2003 et REMAOUN k., 2004) et une analyse et interprétation des documents cartographiques existants. La plus part de ces documents cartographiques sont anciens et leurs mises à jours n'ont pas été faites jusqu'à présent. Pour faire face à cela nous avons opté pour l'utilisation des images satellitaires ETM+ de Landsat et des images de Terra Aster afin de mettre à jour ces documents.

Hormis les zones source internes, d'autres zones source potentielles sont localisées en dehors des limites administratives de la wilaya. Il s'agit de Chott chergui et des réserves de sables provenant du territoire nord-est du Maroc. Ceci est tout à fait possible et nous avons vu précédemment (Cf. § 4.8) comment se fait la migration et la progression des particules de sables le long de la zone située au sud ouest de djebel Gaaloul (1612 m) jusqu'à la cluse de chegga sadana entre djebel Bou Rhenissa (1594 m), djebel Bou Amoud (1416 m) et djebel Kerrouch (1678 m) où l'ensablement a envahi 4700 hectares. D'ailleurs, le travail de DRESCH (1982) in : (MAINGUET M., 1995) a montré qu'un grain de sable peut parcourir une distance de 830 km par siècle selon la direction dominante de migration du sable.

Pour vérifier l'hypothèse de la provenance des particules de sables du territoire Marocain nous nous sommes basé, en plus de l'analyse des images 3D de concertation, sur des recherches bibliographiques concernant le mouvement des particules de sables et leurs directions dominantes de migration dans la partie nord-est et sud-est du Maroc. A cet effet, nous pouvons citer le travail de DESJARDINS R. *et al.*, (2005) dans l'ouest de Tafilalet qui montre le mouvement des dunes de sable dans la direction des vents dominants sud-ouest nord-est entre 1980 et 2003. De même, l'étude de KABIRI L. *et al.*, (2003) a mis en lumière la progression des édifices barkhaniques dans la direction sud-ouest nord-est dans l'anti-Atlas

oriental Marocain. Selon le même auteur 75% des fronts des édifices sont tournés vers le nord-est. Nous citons également l'étude de BENALLA M. *et al.*, (2003) qui a révélé la persistance des vents sud-ouest nord-est (Saheli⁴) et des vents nord-est sud-ouest (Chergui⁵) au nord de Tafilalet dans les secteurs Erfoud et du Jorf. Quant à l'étude de SBAI A. *et al.*, (1992) elle a révélé dans la partie nord-est et plus précisément dans le couloir de Taza-Oujda et dans le bassin de la haute Moulouya une nette supériorité des vents d'ouest.

Grâce à ces études et à notre analyse dynamique éolienne de migration de sable nous avons pu dresser une esquisse thématique afin de montrer le mouvement des migrations du sable à l'échelle supranationale (Algérie et Maroc) (Cf. Figure 49).

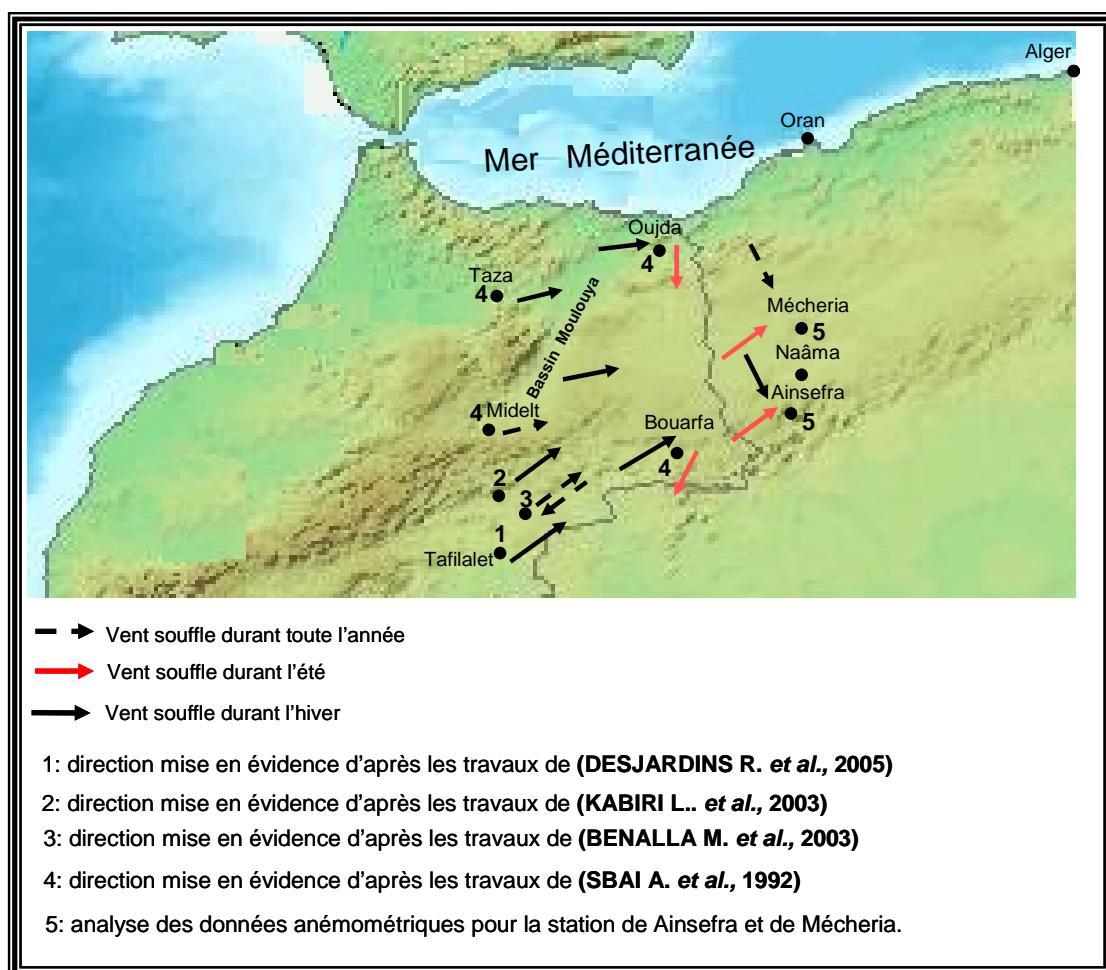


Figure 49 : Mouvements de migration de sables à l'échelle supranationale (Algérie, Maroc).

Le sable en provenance de l'ouest participe à l'alimentation des zones sources du Système Global d'Action Éolienne de la zone d'étude. Au nord, la zone du Chott Rharbi est alimentée d'une part, par une quantité non négligeable en provenance de l'ouest, et d'autre part par un

⁴ Vent venant de l'ouest.

⁵ Vent venant de l'est.

ensemble d'agrégats issus des étendues de glacis et des monts gréseux du Jurassique (monts de Tlemcen).

Le Chott Rhabi est considéré comme une zone de dépôt et d'exportation des particules fines. En automne et en hiver les particules sont piégées par la végétation halophile et par les sols humides dans les bordures du Chott. Au printemps et surtout en été le Chott se rétrécit et les particules fines sont facilement mobilisables vers le nord-est et le sud-est par les vents efficaces. En effet, une bonne partie du Chott Chergui est alimenté par Chott Rharbi lors de l'influence des vents du ouest-sud-ouest à partir du mois de juin.

A son tour l'espace de Chott Chergui alimente en particules de sable des espaces se trouvant plus à l'est de Kef El Hammar et à 8 km au sud de cette localité à travers une dynamique éolienne de direction nord-ouest. A cet endroit nous avons noté des petites barkhanes formant deux petits champs empiétant sur la route; le premier a plus de 2 km de large et le second environ 4 km. Ils se raccordent par des nappages importants (la végétation a complètement disparu) et cela sur 7 km. Ce phénomène se poursuit au nord-est vers Cheguig et à Rogassa où nous avons noté des nappages épais et des petites barkhanes mobiles. De même, une partie du sud de Sebkhat Naâma est alimenté par ce même courant éolien.

4.9.2.2. Aire de transport et de transit

Les matériaux prélevés dans les oueds, les plaines alluviales et les différentes sources de sable se déplacent le long de couloirs privilégiés de migration du sable sous la forme d'un manteau de saltation en laissant des traces plus ou moins affirmées (Nebkhas, voile sableux, ensablement des versants) mais toujours dispersée dans l'espace. D'après MAINGUET M., (1995) le long de ces aires de transport l'augmentation de la rugosité est tout à fait possible jusqu'à atteindre un seuil où l'aire devient une aire de dépôt. Ainsi, nous avons observé le long du couloir de transport entre Mekmene Ben Amar et le sud de djebel Antar un dépôt de sable (nebkhas) autour de Mekmene El Biod allongé vers le nord-est.

Les nombreuses cuvettes se trouvant dans la plaine constituent de véritable zone de déflation et de transit. Elles sont caractérisées par des conditions de bilan sédimentaire négatif. Les dayas ayant une surface plane et dépourvue de végétation ne permettent pas le piégeage et le dépôt de matériaux sableux.

4.9.2.3. Aire d'accumulation

Ce sont des aires à dominante de dépôt de sable. Le modèle éolien de la zone est constitué par un ensemble d'édifices sableux importants : barkhane, dunes longitudinales, cordons barkhanoïdes, etc. Ces édifices qui non seulement fournissent du sable potentiellement mobilisable, constituent par leurs morphologies de véritables obstacles piégeant d'autres particules de sable venant de différentes sources dans la wilaya. Lors de cette phase d'accumulation les effets des vents sont plus dangereux où le sable peut envahir les infrastructures humaines. Nous pouvons citer le cas du village Fogara dans la commune El Biad complètement ensablé il y a 10 ans, les maisons de la localité du Touadjeur dans la commune de Naâma et le village Boukarabila à Mekemene Ben Amar.

Il importe de noter que ces édifices sableux se déforment au contact des infrastructures humaines : village, reboisement, mises en valeur, en devenant des édifices beaucoup moins précis appelés fronts de dunes. Ces fronts, par le biais de leurs crêtes, constituent des pièges à sables qui s'accumulent jusqu'à envahir complètement des habitations et même des arbres de plusieurs mètres de haut comme c'est le cas du barrage vert le long de la route nationale RN6 près de la localité de Mékalis (Cf. photo 7).



Photo 7 : Les Pins d'Alep (*Pinus Halepensis*) du barrage vert complètement enfouis dans le sable près de Mékalis; Photo prise par Remaoun en mai 2001.

Finalement, la connaissance et la délimitation spatiale des différentes zones source, de transit et d'accumulation sont des informations importantes et nécessaires pour toute étude d'aménagement et de lutte contre l'avancée du sable. Il est fort intéressant et plus efficace d'agir pour stopper le sable au niveau des zones source et d'en éviter toutes tentatives d'exportation et de réalimentation des zones d'accumulation se trouvant plus en aval. La réalité au niveau de la wilaya est autre chose où la plus part des aménagements ont été faits au niveau des aires de transit et d'accumulation comme c'est le cas de l'étude de fixation de dunes autour du lac de Oglat ed Deïra dans la commune de Ain Benkhelile (BOUZENOUNE A., 1999). Pour cette étude ont été prévus plusieurs projets, à savoir :

- reboisement (*Tamarix Gallicas*) de 1080 hectares;
- réalisation d'une ceinture verte sur 60 hectares;
- plantation d'arbres fruitiers sur 105 hectares et édification des brise-vents.

Le lac de Oglat ed Deïra est un laboratoire à ciel ouvert pour les chercheurs concernant les zones humides dans les régions steppiques et arides. Actuellement, il est menacé par l'avancée des dunes du côté sud-ouest. La direction des forêts de la wilaya de Naâma aurait dû faire ces aménagements dans la zone source située à l'ouest du djebel Gaaloul et plus précisément dans la limite frontalière au niveau du Chott Tigri. D'après les images nous avons constaté qu'au nord de ce Chott il existe une bande large⁶ (mise en défens) qui protège de l'avancée du sable. Toutefois, la largeur de la bande se rétrécit au niveau du Chott ce qui favorise le passage du sable en alimentant les anciennes accumulations se trouvant dans le sud-ouest de djebel Gaaloul.

Le deuxième exemple concerne la plantation de *Tamarix* de part et d'autre de la route reliant la commune de Naâma à la wilaya de Tlemcen (5 km à l'est de Mekmen Ben Amar) afin de la protéger contre l'ensablement. Cependant, si le sable n'est pas arrêté dans les aires sources, ces plantations vont subir le même sort que le barrage vert planté le long de la route nationale (RN6).

Donc, la cartographie de ces aires du système global d'Action Eolienne facilite la tâche des aménageurs dans la sélection des zones prioritaires qui nécessitent en urgence des aménagements. Ces zones prioritaires sont facilement reconnaissables sur le terrain à l'aide de

⁶ La largeur de la bande au nord varie entre 17 et 30 km. Cette mise en défens est réalisée dans le cadre du programme de barrage vert initié par le gouvernement algérien afin de rétablir l'équilibre écologique des zones steppiques.

l'utilisation du GPS portable. La figure 50 illustre les limites spatiales des différentes zones source, de transit et d'accumulation de la région d'étude. Cette carte a été créée à partir des traitements effectués sur les scènes récentes de Landsat en se basant sur le principe de la théorie du système Global d' Action Eolienne (SGAE) établit par MAINGUET M., (1995).

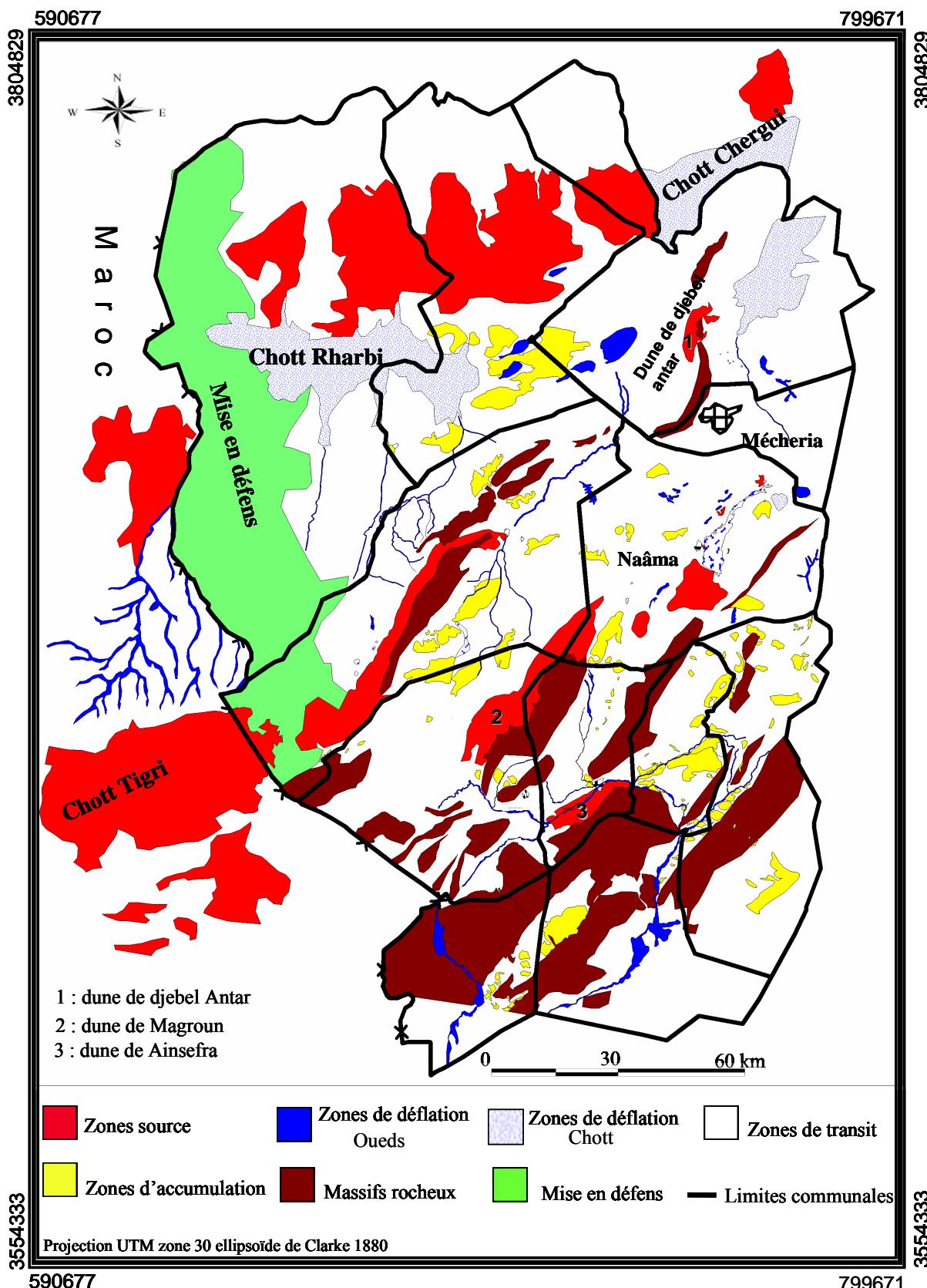


Figure 50 : Organisation spatiale du système éolien de la zone d'étude.

**TROISIÈME PARTIE : SIG ET TÉLÉDÉTECTION POUR LA CARTOGRAPHIE DE
L'OCCUPATION DU SOL ET LE SUIVI DIACHRONIQUE
DE L'EXTENSION DU SABLE DANS LA PLAINE SUD
ORANAISE**

**CHAPITRE V : TÉLÉDÉTECTION ET CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU
SOL DE LA WILAYA DE NAÂMA**

5.1. INTRODUCTION

Actuellement, les zones arides et semi-arides sont soumises à des pressions anthropozoïques importantes dont dépendent fortement les phénomènes, parfois irréversibles, de désertification et de dégradation des terres steppiques. Ces zones, défavorisées, nécessitent des inventaires synchroniques et diachroniques de leur potentiel biologique qui s'appuient sur une bonne connaissance des ressources en place et des conditions éco-géographiques (BENSAID A., 1997).

La gestion efficace de ce patrimoine nécessite, au préalable, la cartographie et l'inventaire des ressources disponibles caractérisant ce patrimoine. En plus de ces données statiques il est indispensable d'assurer le suivi et la surveillance de la dynamique steppique due aux changements du couvert végétal s'opérant sous l'effet de plusieurs facteurs : dégradation du sol, surpâturage, évolution de la population, introduction de la culture mécanisée, exploitation industrielle et ménagère des ressources végétales, etc. Cette forte pression exercée sur les ressources exige une planification des activités et des interventions sur le territoire basée sur une connaissance plus précise des processus de dégradation du couvert végétal. Il est donc vital de développer des stratégies de surveillance et de gestion de l'environnement et de l'agriculture. Ces stratégies doivent reposer sur des moyens et des approches performants en occurrence la télédétection et les systèmes d'information géographique. Cette partie est conçue pour :

- expliciter les champs d'application de la télédétection spatiale, et tout particulièrement des données satellitaires MSS, TM et ETM+ de LANDSAT, pour tout inventaire lié à l'occupation du sol à moyenne échelle 1 : 200 000;
- réaliser une carte d'occupation du sol à l'échelle 1: 200 000;
- réaliser des cartes de changement et de mutation des espaces sur une période de 15 ans (1987-2002) et de 30 ans (1972-2002) afin de comprendre et d'analyser l'évolution de l'extension de l'ensablement à l'intérieur de la région d'étude.

5.2. INTÉRÊT DES IMAGES SATELLITAIRES DANS L'ÉTUDE DE LA DÉGRADATION ET DE L'ENSABLEMENT DES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES

La télédétection permet l'acquisition à distance de scènes terrestres, à partir desquelles on peut extraire les objets d'intérêt. Ceci exige non seulement la maîtrise du processus de télédétection, mais aussi l'interaction entre le rayonnement électromagnétique incident et les objets. La portion, réfléchie de ce rayonnement et modifiée par l'atmosphère constitue l'entrée de base des systèmes de télédétection opérant dans les bandes spectrales allant du visible à l'infrarouge. Les paramètres techniques de certains systèmes de télédétection sont donnés dans le tableau 35 (BENSAID A., 1997).

Face aux problèmes de l'érosion éolienne et de la régression de la végétation steppique qui se manifestent ces dernières années, l'Algérie a depuis les années de 1970 entrepris des actions de lutte et des stratégies réglementaires visant à endiguer et faire face aux effets néfastes de ces problèmes. A cet effet, plusieurs organismes (ANPN, ANAT, HCDS, INRA, BNEDER, CDRS,...) se sont mobilisés pour consolider les plans d'action et de prévention engagés par l'état. Malgré les efforts déployés par ces organismes étatiques et privés et les nombreuses études réalisées dans la plus part des régions touchées par la désertification, ces études restent insuffisantes et ne permettent pas à ces organismes de connaître de façon rationnelle et globale les conséquences de cette désertification. Il est à noter que ces travaux ont été réalisés en se basant principalement sur des observations de terrain et sur des traitements de photo-interprétation sur des photographies aériennes. Or ces méthodes classiques sont coûteuses, fastidieuses et les plus exigeantes en temps, surtout lorsqu'il s'agit de surfaces de grande dimension. De plus, elles sont effectuées d'une manière ponctuelle ce qui nécessite des procédures mathématiques (interpolation) afin d'obtenir une information zonale. Toutefois, ces interpolations engendrent des informations incertaines qui ne peuvent être levées que par un renforcement d'observations et de mesures de terrain. Ces travaux de terrain restent toutefois indispensables pour deux raisons :

- certaines variables du milieu physique ne peuvent être mesurées que par des observations de terrain, le type d'édifice dunaire, le type de sol, la composition floristique des parcours et leur état de dégradation, et l'humidité des sols et leur description, en sont un bon exemple;

- les variables mesurées par avion ou par satellite doivent être calibrées et vérifiées sur le terrain, notamment l'occupation du sol, la mutation dynamique des paysages, le cortège floristique, le recouvrement de la végétation, etc.

Les photographies aériennes peuvent être utilisées pour l'étude et la représentation de divers paramètres d'un milieu naturel notamment la carte d'occupation du sol. Ces dernières constituent une référence de grande valeur, mais en raison de leur coût élevé, dû essentiellement au nombre des photographies que demande l'étude de vastes territoires, cette technique n'est pas appropriée pour des études de suivi régulier notamment sur les parcours steppiques.

Dans les études d'aménagement et de lutte contre les différents phénomènes naturels, la vision synoptique et l'information multi échelle sont indispensables pour appréhender ces phénomènes et plus particulièrement l'érosion éolienne. Ce phénomène ne connaît pas de frontière et doit être combattu à la source. Dans le domaine de la cartographie des ressources naturelles et le suivi de l'extension spatiale de l'ensablement, la télédétection est une technique importante et nécessaire vu les caractéristiques des satellites d'observation de la terre notamment l'acquisition des informations homogènes avec une résolution spatiale et multi-spectrale sur de vastes entendues, le format numérique des données et leur répétitivité.

Les images satellitaires constituent un outil important dont il faut tenir compte dans le cadre de la planification et de la gestion harmonieuse des travaux concernant l'érosion éolienne. Selon POUCHIN T., (2001) les images sont descriptives et elles apportent une information visuelle beaucoup plus importante par rapport à l'homme. L'aspect multi-spectral des données de télédétection offre un atout crucial dans la caractérisation des objets dans une large bande spectrale. Quant à l'aspect multi-résolution le passage d'une échelle fine à une échelle plus petite est tout à fait possible. De cette façon on peut décrire n'importe quel problème, d'ordre naturel ou artificiel, selon les besoins exprimés soit par la nature du phénomène à étudier (étude à l'échelle régionale) soit par le manque de documents cartographiques et thématiques à une échelle imposée par les décideurs en vue d'un aménagement local. A cet égard, la télédétection permet :

- de dégrossir la recherche des secteurs dégradés (parcours steppiques et terrains agricoles ensablés) en donnant une vue synoptique d'un territoire qu'on veut analyser et aménager;

- de comparer dans l'espace et dans le temps les différentes mutations des unités constituant les différents paysages de la région d'étude;
- de localiser les zones où la régénération est possible et les zones où il faut intervenir en urgence pour limiter et atténuer les dégâts;
- d'obtenir des informations concernant des zones isolées ou inaccessibles (la bande frontalière avec le Maroc);
- d'évaluer l'impact des décisions de gestion des ressources.

En outre la télédétection est une source d'information incontournable dans l'étude de l'extension de l'ensablement. Même les SIG sont incapables de fournir des données exogènes. En effet, il y a plusieurs raisons qui militent pour que l'image de télédétection soit une composante intégrale d'un SIG, en particulier , l'absence de cette composante a provoqué une dichotomie apparente entre les producteurs des données spatiales et les utilisateurs des SIG. En effet, ces derniers n'ont pas les outils qui les rendent producteurs de connaissance spatiale. Les images de télédétection sont toujours analysées via une interprétation concernant le positionnement des objets et leur nature. Le processus d'interprétation, qu'il soit visuel ou automatique, transforme les données contenues dans l'image en éléments d'information attachés à une localisation géographique, d'où la possibilité d'intégrer ces éléments dans un SIG. Ce pas permet, donc, d'utiliser les données de la télédétection dans un processus de gestion des ressources en les combinant avec des données pluri-thématisques et multi-sources. C'est dans cette intégration des données que le potentiel de développement des applications de télédétection est le plus important.

En fin, d'après l'étude de **BARDINET C., (1994)** le choix d'un système de télédétection est crucial, il dépend :

- de la résolution au sol du pixel;
- du nombre et de l'intervalle des bandes spectrales;
- du cycle d'enregistrement de données disponibles diurnes, nocturnes, multi-saisons;
- de la superficie couverte par une seule image.

	Landsat (MSS)	Landsat (TM)	Landsat 7 (ETM+)	ASTER	
PAYS	USA	USA	USA	NASA + MITI	
DATE DE LANCEMENT	1972	1984	15 Avril 1999	Décembre 1999	
ALTITUDE CAPTEURS		705 km	705 km	705 km	
CAPTEURS	MSS	TM	ETM+	(VNIR, SWIR, TIR).	
TYPE	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre imageur multi-spectrale	
BANDES SPECTRALES	MSS-1 [0.5 – 0.6 µm] MSS-2 [0.6 –0.7 µm] MSS-3 [0.7– 0.8 µm] MSS-4 [0.8–0.11 µm]	1.[0.45-0.52 µm] 2.[0.52-0.60 µm] 3.[0.63-0.69 µm] 4.[0.76-0.90 µm] 5.[1.55-1.75 µm] 6.[10.4-12.5 µm] 7.[2.08-2.35 µm]	1.[0.45-0.52 µm] 2.[0.52-0.60 µm] 3.[0.63-0.69 µm] 4.[0.76-0.90 µm] 5.[1.55-1.75 µm] 6.[10.4-12.5 µm] 7.[2.08-2.35 µm] Pan [0.52-0.90 µm]	VNIR SWIR TIR	1 [0.52-0.60 µm] 2 [0.63-0.69 µm] 3N [0.78-0.86µm] 3B [0.78-0.86µm] 4 [1.60-1.70µm] 5 [2.145-2.185µm] 6 [2.185-2.225µm] 7 [2.235-2.285µm] 8 [2.295-2.365µm] 9 [2.360-2.340µm] 10 [8.125-8.475µm] 11 [8.475-8.825µm] 12 [8.925-9.275µm] 13 [10.25-10.95µm] 14 [10.95-11.65µm]
RESOLUTION SPATIALE	80x80 m	30 ×30 m Bande 6 : 120 × 120 m	30 × 30 m Bande 6 : 120 × 120 m Pancho : 15 × 15 m	VNIR : 15 × 15 m SWIR : 30 × 30 m TIR : 90 × 90 m	
DIMENTION D'UNE SCENE	185 × 172 km	185 × 172 km	185 × 172 km	60 × 60 km	
STEREOSCOPIE	NON	Non	Oui	Oui	
FREQUENSE DE PASSAGE	16 jours	16 jours	16 jours	16 jours	
VOCATION	Végétation et occupation du sol.	Végétation et occupation du sol.	Végétation, occupation du sol et cartographie.	Végétation, occupation du sol et cartographie.	
PARTICULARITE		Grande variété spectrale.	Grande variété spectrale.	Acquisition de ≈ 650scène /jour, observation en arrière et au nadir.	

Tableau 35 : Les caractéristiques des satellites Landsat et Terra.

5.3. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES ÉTUDES DE DÉGRADATION EN RÉGION ARIDE PAR TÉLÉDÉTECTION

De nombreux travaux traitant le problème de la désertification, de l'évolution de la végétation, de l'ensablement des espaces steppiques ainsi que de la sécheresse dans les zones arides et semi-arides ont été publiés ces dernières années. Nous citerons le travail de MARIUS C., (1995) qui traite le problème évolutif du phénomène d'ensablement et ses impacts négatifs sur les mangroves du Sénégal. L'étude scientifique sur la sécheresse et l'aridité et leur impact sur la désertification (ROGNON P., 1996). De même, le travail de recherche sur le développement de l'agriculture dans les régions semi-arides marocaines YACOUBI *et al.* (1998). Dans les régions arides et semi-arides algériennes, nous citerons les travaux réalisés par CALLOT Y. *et al.* (1996). Ces dernières années ont introduit une nouvelle approche basée sur le principe de la morphologie mathématique. COUREL M. F., *et al.* (1999) ont travaillé sur la contribution de la télédétection à l'étude de la désertification en Afrique de l'ouest tandis que DESJARDINS R. *et al.* (1999) ont étudié l'apport de la télédétection sur l'ensablement de palmeraies dans un secteur menacé du sud-est du Maroc. Quant à HABOUDANE D. *et al.* (1999) ils ont utilisé des indices pour l'évaluation de la dégradation des sols d'un milieu semi-aride au sud-est de l'Espagne. De même, l'étude pour le suivi de la désertification au Maroc à partir d'images AVHRR de NOAA LEMSANNI A. *et al* (1999). L'équipe de BENMOHAMMADI A. *et al.* (2000) a étudié l'analyse des interrelations anthropiques et naturels et leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc. Nous citons également les travaux de (ESCADAFAL R. et POUGET M. 1986; ESCADAFAL R. et POUGET M. 1987 ; ESCADAFAL R.; PONTANIER R. et BELGHITH A. 1993 et ESCADAFAL R. et BACHA S. 1996) qui traitaient le problème de dégradation des terres dans les pays de l'Afrique du Nord. Finalement, nous évoquons le travail de DESJARDINS R. *et al.* (2005) qui a mis en évidence l'avancée des dunes dans plusieurs endroits du Sud-est du Maroc. Ces auteurs ont utilisé des images civiles et militaires de très haute résolution spatiale afin de comprendre la dynamique de l'ensablement ainsi que des mesures sur la progression des édifices dunaires sur une période de quarante ans.

Il est à signaler que les travaux cités ci-dessus ont utilisé les données de télédétection pour la caractérisation du phénomène de désertification. Grâce à ces études l'outil de télédétection s'est révélé incontournable dans ce genre de recherche et d'investigation. Pour le suivi d'une

manière judicieuse de la dynamique de l'écosystème steppique, il est recommandé d'utiliser des nouvelles approches et des outils performants en occurrence la télédétection, les SIRS et les ressources informationnelles. L'identification des unités constituant le paysage, en fonction de la résolution et de la fréquence temporelle des observations spatiales. Les capteurs à haute résolution spatiale (type LANDSAT, SPOT) permettent de caractériser la composition de l'occupation du sol. Mais la surveillance ne peut être envisagée en temps réel, en raison de la répétitivité peu élevée de ces satellites.

5.4. RÉSOLUTION SPATIALE DES IMAGES ET ÉCHELLE CARTOGRAPHIQUE

L'échelle est importante dans les études géographiques. Son choix oriente et influence les résultats escomptés. Toutefois, certaines contraintes peuvent limiter ce choix dans un travail de recherche. Ces contraintes concernent : la disponibilité des données thématiques, la résolution spatiale des images satellitaires et la limite méthodologique (dimension spatiale). Les régions steppiques et du sud de l'Algérie sont cartographiées avec des échelles comprises entre le 1 : 200 000 et le 1 : 50 000. Les cartes au 1 : 50 000 sont éditées en noir et blanc et la plus grande partie de ces régions sont cartographiées au 1 : 200 000. Cependant, au fur et à mesure de l'agrandissement de l'échelle le nombre de carte augmente pour la couverture totale de la zone d'étude.

Le milieu steppique auquel appartient notre zone dans son ensemble peut se concevoir comme un paysage composé d'une mosaique d'écosystèmes dont les limites correspondent, en première approximation, aux grandes unités géographiques : accumulation sableuse, massifs montagneux, glacis, dépression, etc. A l'échelle de ces unités géomorphologiques les images à moyenne résolution spatiale MSS, TM et ETM+ de Landsat trouvent une place privilégiée comme outil d'observation. Avec ce type d'image le niveau perceptible des objets cartographiques est compris du 1: 1 000 000 au 1 : 50 000 (Cf. figure 51). Par contre, le niveau de base constituant les paysages ne peut être perçu qu'avec les photographies aériennes ou des images à très hautes résolutions spatiales (<10 m). Théoriquement si la localisation des objets est parfaite (utilisation d'un GPS différentiel), il suffit simplement d'augmenter la résolution des images afin d'identifier n'importe quel objet en fonction des critères structuraux et spectraux. Toutefois, l'augmentation de la résolution engendre une forte variabilité des mesures liées aux facteurs locaux et à l'hétérogénéité de l'objet

(ANDREFOUËT S.J. et al., 2002). Pour l'instant, ces images de très haute résolution restent très coûteuses comparativement aux images de Landsat pour la couverture totale.

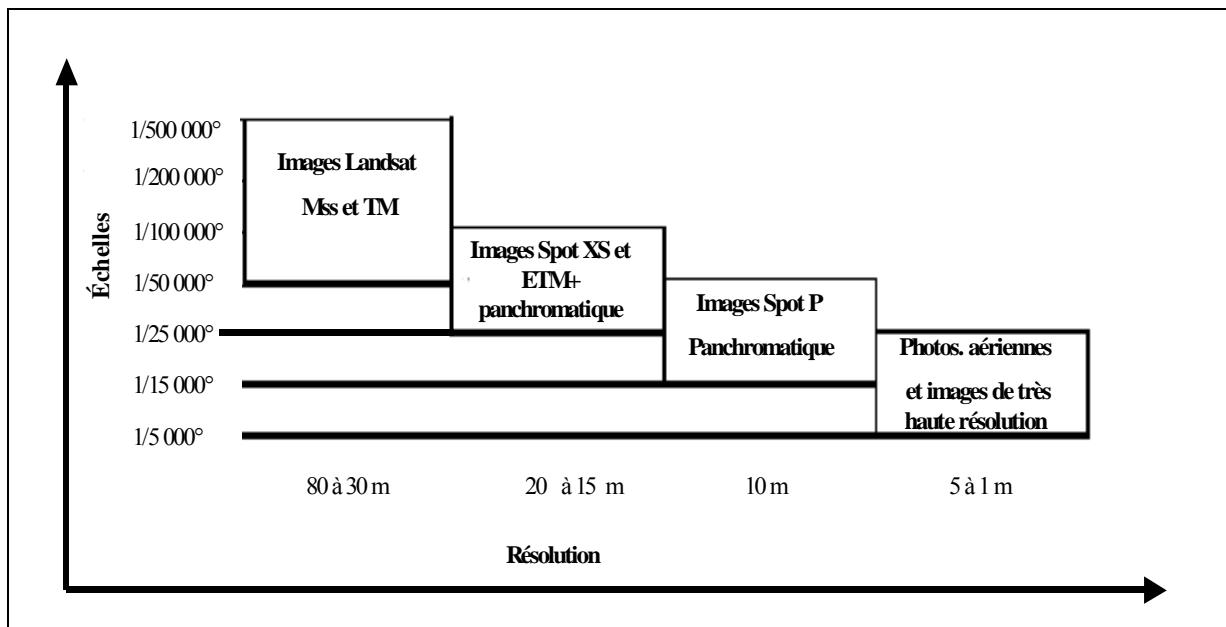


Figure 51 : Résolution spatiale des images satellitaires et échelles de restitutions cartographiques.

5.5. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA WILAYA DE NAÂMA

Confronté au problème de l'ensablement et à une forte croissance démographique, la wilaya de Naâma doit faire face à de multitudes de défis liés aux modes d'occupation des parcours steppiques. La gestion harmonieuse de ces espaces et leur contrôle d'accès à la ressource foncière sont primordiales : renforcement des terres mises en défens, contrôle de la périurbanisation, évaluation et suivi des terrains mis en valeur, instauration de règles et mise en place d'un système d'incitation économique (textes, redevances, aide fiscale). Cependant, les interactions entre les différents modes d'occupation ont pour conséquence une lutte pour l'accès à la terre et aux ressources naturelles.

Dans ce contexte, les différentes institutions ainsi que les responsables de la planification du développement et de l'aménagement du territoire impliqués dans le domaine de la gestion des espaces steppiques ont besoin généralement d'une information claire, mise à jour et fiable sur l'occupation du sol, pour leur prise de décision dans le cadre de l'application de leurs politiques publiques. A cet effet, la carte d'occupation du sol est un outil indispensable. En particulier, cette carte issue des images satellitaires récentes revêt son importance pour les

pays en voie de développement où l'information récente et mise à jour, et plus particulièrement dans les régions marginalisées, est inexistante ou incomplète. Elle représente des données très importantes qui permettent de fournir l'ensemble des informations relatives à l'occupation du sol à un temps t. Ces informations caractérisent au mieux le milieu physique et son évolution spatio-temporelle. Cependant, à partir de ces informations, nous pouvons déduire d'autres cartes thématiques notamment la carte de l'indice de charge (Cf. chapitre 2 § 2.2.2.3). A l'aide de cette carte d'indice de charge les responsables dans le domaine de gestion de la steppe peuvent localiser spatialement les zones de parcours les plus dégradées. Grâce à cette information spatiale ils peuvent déclencher des mesures de sécurité et de prévention afin d'établir un équilibre pour l'accès aux ressources naturelles.

Que ce soit pour l'agronome, le pédologue, le géologue, etc., la connaissance de l'occupation du sol, d'un territoire donné représente une information très importante pour la caractérisation, la gestion et la prévision a posteriori d'un schéma directeur d'aménagement des ressources naturelles les plus vulnérables. L'information contenue dans la carte d'occupation du sol n'a toutefois d'intérêt que si elle est mise à jour toutes les cinq années, et couvre de façon exhaustive l'ensemble de la zone en question. Dans notre pays cette condition n'est pas facile à réaliser pour plusieurs raisons : l'étendue de la zone steppique, le manque de moyen financier et de personnels qualifiés dans le domaine de la télédétection.

Nous avons réalisé une carte d'occupation du sol en utilisant trois scènes récentes ETM+ de Landsat couvrant la zone d'étude. Cette carte va nous permettre de dresser un inventaire des types d'occupation du sol (couvert végétal, type d'accumulation de sable, terre mise en valeur et sol nu). L'approche méthodologique préconisée pour la réalisation de la carte d'occupation du sol est illustrée dans la figure 52.

Il est important de noter que l'occupation du sol de la wilaya de Naâma avait fait l'objet de certaines études sur l'ensemble de la wilaya (carte de phytoécologique 1982, carte pastorale 1980, occupation du sol à l'échelle 1/500 000) ou d'étude intégrées sur des zones limitées (étude relative à la conservation de la biodiversité et de la gestion durable de ressources naturelles à Ain Benkhelile, direction générale des forêts). Cependant, il n'existe aucune information concernant les superficies occupées par les différents types d'accumulation de sable à l'intérieur de chaque commune, excepté les nappes alfatières qui ont fait l'objet d'un inventaire national systématique (**CNTS et al., 1988**).

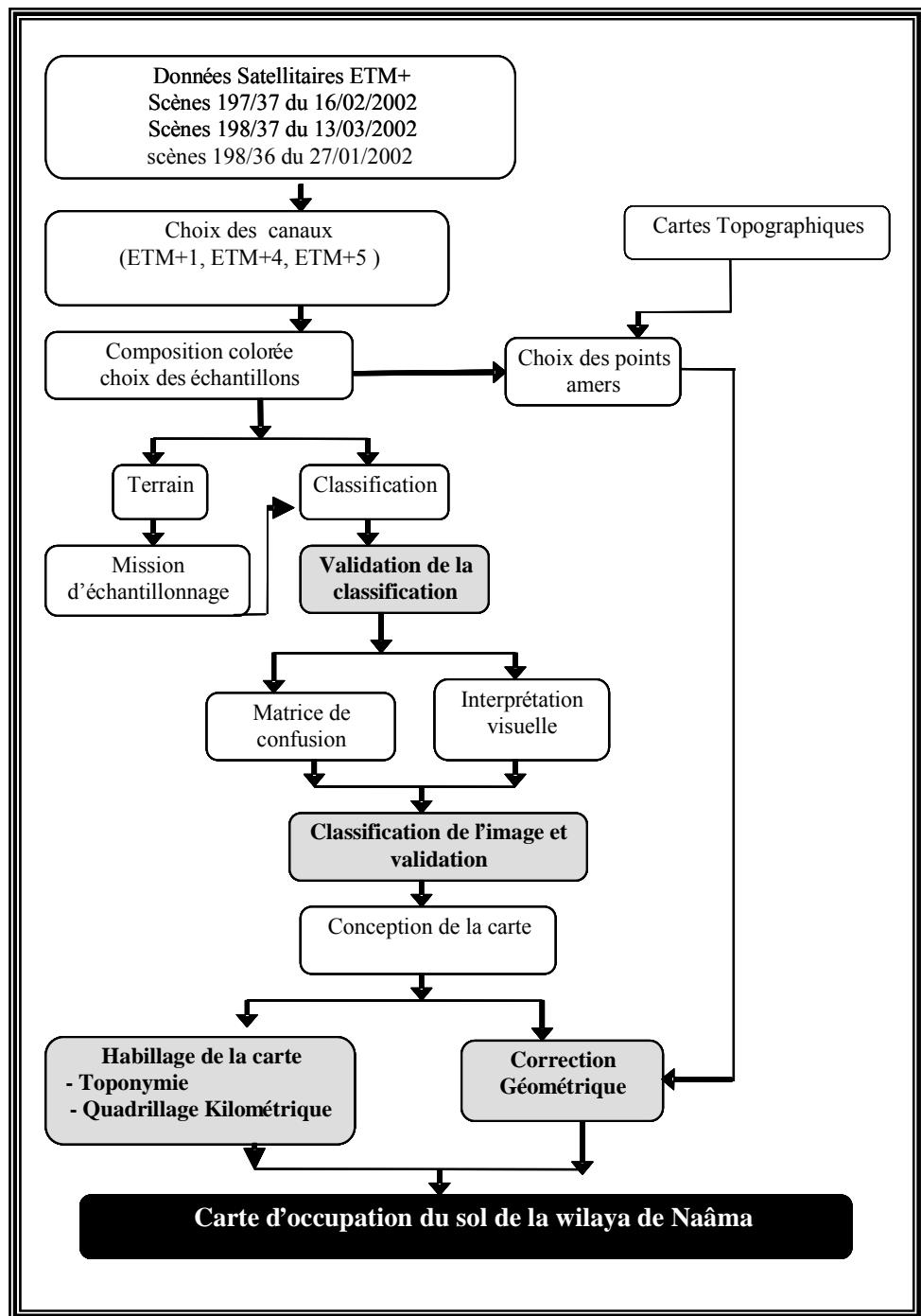


Figure 52 : Schéma méthodologique pour la réalisation de la carte d'occupation du sol.

5.5.1. Critères de choix des images satellitaires

Nous avons vu précédemment que le choix de type de satellite dépend de plusieurs critères et plus particulièrement de la dimension spatiale de la zone d'étude. Dans un pays en voie de développement la contrainte majeure est d'ordre budgétaire, et le rapport qualité/prix est un facteur important à prendre en compte pour l'achat des images satellitaires; bien que l'Algérie

dispose de son propre satellite Baptisé ALSAT-1. Ces images sont commercialisées par l’Institut National de Cartographie et de Télédétection d’Alger (INCT). Malheureusement, nous n’avons pas pu acquérir ces images.

Dans cette étude nous avons préféré acquérir des images MSS, TM et ETM+ de Landsat plutôt que des scènes spot. En effet, il est évident de travailler sur une seule scène image TM que sur huit scènes Spot. Dans le cadre de ce travail les images TM et ETM+ de Landsat sont fournies gratuitement par des organismes internationaux pour encourager les chercheurs et les étudiants à mener à bien leurs recherches scientifiques.

Il importe de rappeler que la plus grande difficulté, malgré la gratuité des images Landsat, porte sur le choix des dates de prises de vue qui devait se faire en fonction des stades végétatifs et des principales cultures. Car les conditions de terrain varient beaucoup au cours d’une année. D’après l’étude de **BRABANT P. et al., (ND)** qui traitait de problème de dégradation des terres et de l’environnement au Togo à l’aide de la télédétection, c’est la période de la saison sèche, entre 20 et 50 jours après la fin de la dernière pluie utile du mois de mars qui est la plus propice. Toutefois, avec le régime irrégulier de la pluie dans ces régions arides cette condition est très délicate à réaliser. Lorsque la date d’acquisition de l’image est arrêtée, il faut vérifier si pour cette date il existe une image de qualité. Une image est considérée de bonne qualité lorsque aucun voile nuageux ne couvre le territoire à étudier. Pour l’ensemble de nos images la vérification est faite par l’examen des codes¹ concernant la couverture nuageuse. A chaque scène est affectée un code allant de 0 à 9 qui renseigne sur la l’absence (code =0) ou abondance des nuages (la zone est couverte totalement de nuages : code = 9). Le tableau 36 illustre les caractéristiques des scènes récentes de la zone d’étude (date de prise de vue, centre de scène, angle zénithal, angle azimuthal, etc.).

La zone pilote est couverte par les scènes TM et ETM+ 197/37, 198/36, 198/37 et par les scènes MSS 212/37, 213/36 et 212/ 37. Cependant, pour renforcer notre interprétation, nous avons utilisé six scènes ASTER du satellite Terra. Pour les scènes de Landsat et de Terra, dont la période d’acquisition est le printemps (Avril, mai) qui correspond au début de la saison sèche coïncidant avec la fin de la saison des pluies, l’appréciation du couvert végétal : parcours steppiques ainsi que les terres mises en cultures est possibles (Cf. Figure 53).

¹ Ces codes sont extraits directement des fichiers entêtes des images.

	ETM+		
IMAGES	TM CCT FORMAT		
Satellite	Landsat 7		
CENTRE D'IMAGES	197/37	198/36	198/37
DIMENSION TOTALE	5761 x 7020	5761 x 7020	5761 x 7020
DATE DE LA PRISE DE VUE	16 /02/ 2002	27 /01/ 2002	13 /03/ 2002
HEURE DE LA PRISE DE VUE	A 09 h 56 min	A 10 h 00 min	A 10h 01 min
LATITUDE AU CENTRE DE LA SCENE (en degré)	33.2	34.61	32.2
LONGITUDE AU CENTRE DE LA SCENE (en degré)	-0.20	-0.91	-1.30
DIMENSION TRAITEE	5761 x 7020	5761 x 7020	5761 x 7020
ANGLE ZÉNITHAL (en degré)	52.4	59.04	43.76
ÉLÉVATION (en degré)	37.60	30.96	46.24
ANGLE AZIMUTAL (en degré)	146.09	149.57 (2002)	140.11

Tableau 36 : Les caractéristiques des images ETM+ de la zone d'étude.

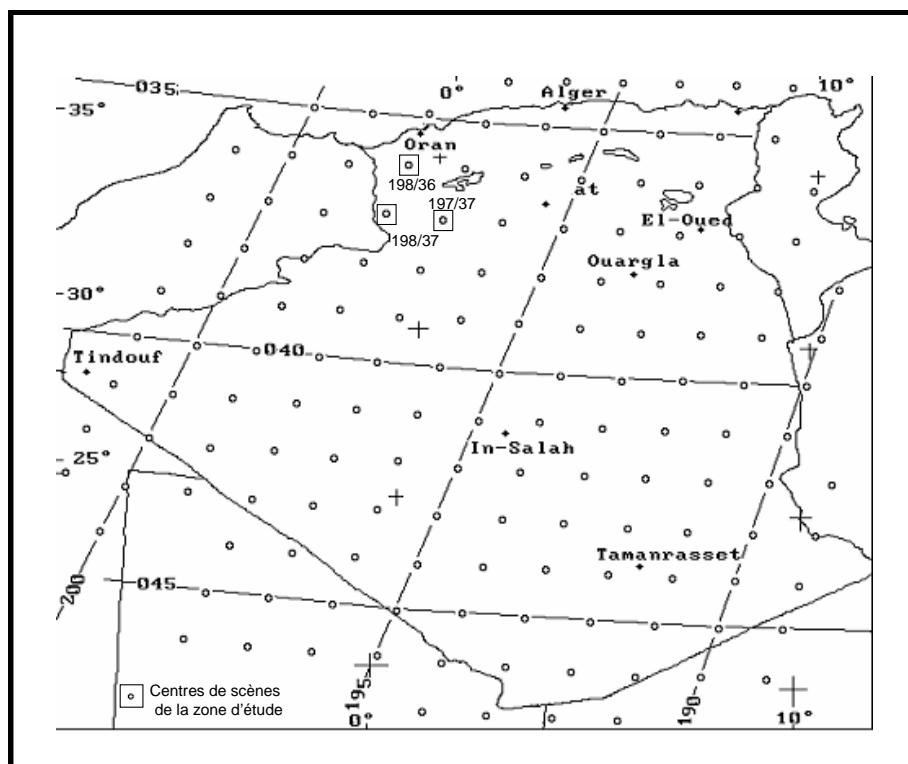


Figure 53 : Les centres de scènes des images TM et ETM+ de Landsat.

5.5.2. Choix des canaux multi-spectraux des images ETM+ de Landsat

En télédétection chaque objet naturel est identifié par sa signature spectrale. Il ne réagit pas de la même façon le long du spectre électromagnétique. L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation du sol est une étape importante pour le choix des canaux ETM+ des scènes Landsat. Face aux nombres élevés de canaux ETM+ on est obligé de faire une analyse de séparabilité des classes afin de minimiser l'aspect dimensionnel afin de garder le maximum d'information sur la thématique recherchée. L'estimation de la séparabilité spectrale entre les différentes unités constituant le paysage pour l'ensemble des bandes spectrales des images ETM+ de Landsat, est une procédure primordiale pour :

- le choix du nombre optimal des bandes spectrales pertinentes pour une éventuelle classification des images;
- la visualisation de la composition colorée et la caractérisation des espaces de l'occupation du sol.

Les canaux des capteurs ETM+ ont été choisis de manière à éviter la redondance de l'information et à avoir le maximum de cette dernière contenue dans ces canaux. Pour ce faire nous nous sommes basé sur l'analyse des bandes spectrales (Cf. Tableau 37), le calcul des coefficients de corrélation qui existent entre les canaux deux à deux et sur l'indice de facteur optimum (OIF : optimum index factor) (Cf. Tableaux 38). Ce dernier est développé par **CHAVEZ G.L., (1982)**, il est défini par l'équation suivante :

$$\text{OIF} = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i}{\sum_{j=1}^3 |cc_j|} \quad (9)$$

Où σ_i est l'écart type de chaque bande spectrale et cc_j est le coefficient de corrélation entre deux bandes spectrales.

L'indice OIF a permis la sélection des trois meilleures bandes spectrales ayant une forte variance et une corrélation faible. Nous considérons que les trois bandes spectrales sélectionnées présentent le maximum d'information concernant l'occupation du sol (Cf. Tableau 39). D'après ce dernier la combinaison des bandes 4, 5 et 7 représente le maximum d'information pour notre région d'étude. Toutefois, nous avons préféré travailler sur la

combinaison des bandes 1, 4 et 5; car sur cette combinaison de canaux l'aspect visuel des différentes unités paysagères est mieux représenté. En effet, les espaces ensablés sont facilement identifiables et apparaissent avec une couleur jaunâtre. De plus, l'analyse du tableau 38 montre des corrélations élevées entre les différentes bandes spectrales du visible (ETM+1, ETM+2, ETM+3) et entre les bandes correspondant au moyen infrarouge (ETM+5, et ETM+7). Nous constatons que la seule bande qui présente une corrélation moins élevée est la bande ETM+4.

Canaux	Longueur d'onde	Caractéristiques et équivalences
1	0,45 à 0,52 µm	Bleu-vert, pas d'équivalence avec MSS. Maximum de pénétration d'eau, qui est utilisé pour la cartographie bathymétrique dans les eaux peu profondes et aussi à différencier le sol de la végétation.
2	0,52 à 0,60 µm	Vert, coïncidence avec MSS-4. Présence des pics de réflectances vertes de la végétation, utilisé pour la détermination des plantes vigoureuses.
3	0,63 à 0,69 µm	Rouge, coïncidence avec MSS5. Il met en évidence la bande d'absorption chlorophyllienne qui est importante pour la discrimination des types de végétations.
4	0,76 à 0,90 µm	Proche Infrarouge, coïncidence avec des portions des bandes MSS6 et MSS7. Utilisable pour déterminer la contenance de la biomasse et pour la cartographie littorale.
5	1,55 à 1,75 µm	Proche Infrarouge, pas de correspondance avec MSS. Il indique la teneur en humidité du sol et de la végétation. Elle traverse les nuages minces. Un bon contraste entre les types de végétations.
6	10,40 à 12,50 µm	Infrarouge thermique. Les images prise de nuit sont utilisées pour la cartographie thermique et pour l'estimation de l'humidité du sol.
7	2,08 à 2,35 µm	Proche Infrarouge, coïncidence avec la bande d'absorption causée par les ions hydroxydes des minéraux. Les rapports des canaux 5 et 7 sont utilisés pour la cartographie des roches altérées par le phénomène hydro-thermique ainsi que les dépositions minérales.

Source : (FLOYD F. et SABINS J.R., 1986)

Tableau 37 : Caractéristiques des bandes spectrales ETM+ de Landsat

Scène 197-37 du 16-02-2002								
Bandes	ETM+ 1	ETM+ 2	ETM+ 3	ETM+ 4	ETM+ 5	ETM+ 7	Moy	ECART
ETM+ 1	1.000	0.986	0.953	0.918	0.889	0.855	78.968	32.033
ETM+ 2	0.986	1.000	0.986	0.911	0.912	0.896	46.968	19.977
ETM+ 3	0.953	0.986	1.000	0.889	0.934	0.936	70.123	31.421
ETM+ 4	0.918	0.911	0.889	1.000	0.918	0.865	85.412	34.199
ETM+ 5	0.889	0.912	0.934	0.918	1.000	0.985	139.131	59.083
ETM+ 7	0.855	0.896	0.936	0.865	0.985	1.000	82.316	37.622

Tableau 38 : Matrice de corrélation des données ETM+ de la scène 197/36 du 16 avril 2002.

bandes	457	145	345	135	147	347	137	134
OIF	47.28	45.98	45.49	44.16	39.35	38.36	36.83	35.38
Rang	1	2	3	4	5	6	7	8

Tableau 39 : indice OIF de la combinaison de trois bandes spectrales des images ETM+ de Landsat de la scène 197/36 du 16 avril 2002.

5.5.3. Données cartographiques et thématiques

L'analyse de la situation actuelle de l'ensablement de l'écosystème steppique et le suivi régulier de son extension nécessitent des documents cartographiques récents pour être proche de la réalité. Dès lors, ces documents doivent être mis à jour tous les cinq ans. Durant cette période l'évolution humaine est susceptible d'être significative. Toutefois, une durée inférieure à cette période n'est pas envisageable compte tenu de la dimension spatiale de la zone d'étude. Dans notre cas d'étude, on est loin de réunir des documents récents concernant la recomposition spatiale de l'occupation du sol de la wilaya de Naâma. La plus part des études d'aménagement ont commencé il y a une vingtaine d'années, une analyse de leur contenu montre qu'elles se sont d'avantage intéressées aux problèmes d'aménagement pastoral et à la régression de la végétation naturelle (alfa). Par contre, l'analyse de l'extension du sable comme vrai problème n'apparaît que partiellement. De plus, les cartes topographiques et thématiques concernant la zone sont anciennes. Face à l'absence de documents récents, le recours à l'utilisation des données de la télédétection s'avère indispensable pour l'établissement de cartes thématiques fiables et d'une manière rapide. Les documents cartographiques retenus sont :

- les quatre cartes topographiques de 1957 (carte de Ainsefra, de Mécheria, de Béni-ounif et du Chott Rharbi à l'échelle 1 : 200 000). Ces cartes ont été utilisées aussi bien pour la correction géométrique des images satellites que pour la préparation des missions de terrain. Quant au suivi spatio-temporel des mutations de l'espace ces anciennes cartes ont permis de cartographier l'évolution des espaces ensablés avant le lancement du satellite Landsat en 1972;
- la carte thématique d'occupation du sol au format papier dressée par le BNEDER en 1987.

5.5.4. Composition colorée et amélioration de la qualité des images

La composition colorée couvrant la totalité de la zone d'étude a été obtenue à partir d'une mosaïque de trois compositions colorées issues de la superposition des canaux (ETM+1, ETM+4 et ETM+5) des trois scènes ETM+ 197/37, 198/36 et 198/37 de Landsat (Cf. Figure 54). L'ensemble des images des trois scènes ont subi un traitement de rehaussement et d'amélioration de contraste afin de parvenir à une composition colorée mettant en évidence la plus grande partie de l'occupation des espaces qui composent l'écosystème steppique. Cependant, elle a été utilisée comme un document d'interprétation de départ afin de guider les traitements numériques subséquents, l'échantillonnage au sol (reconnaissance des différents types d'occupation du sol) et l'extraction des points d'appui pour une éventuelle correction géométrique des images. Afin de bien mettre en évidence les différents structures linéaires (route, piste, réseau hydrographique, etc.), un filtre de rehaussement moyen a été utilisé sur cette composition colorée pour la sélection des points d'appui.

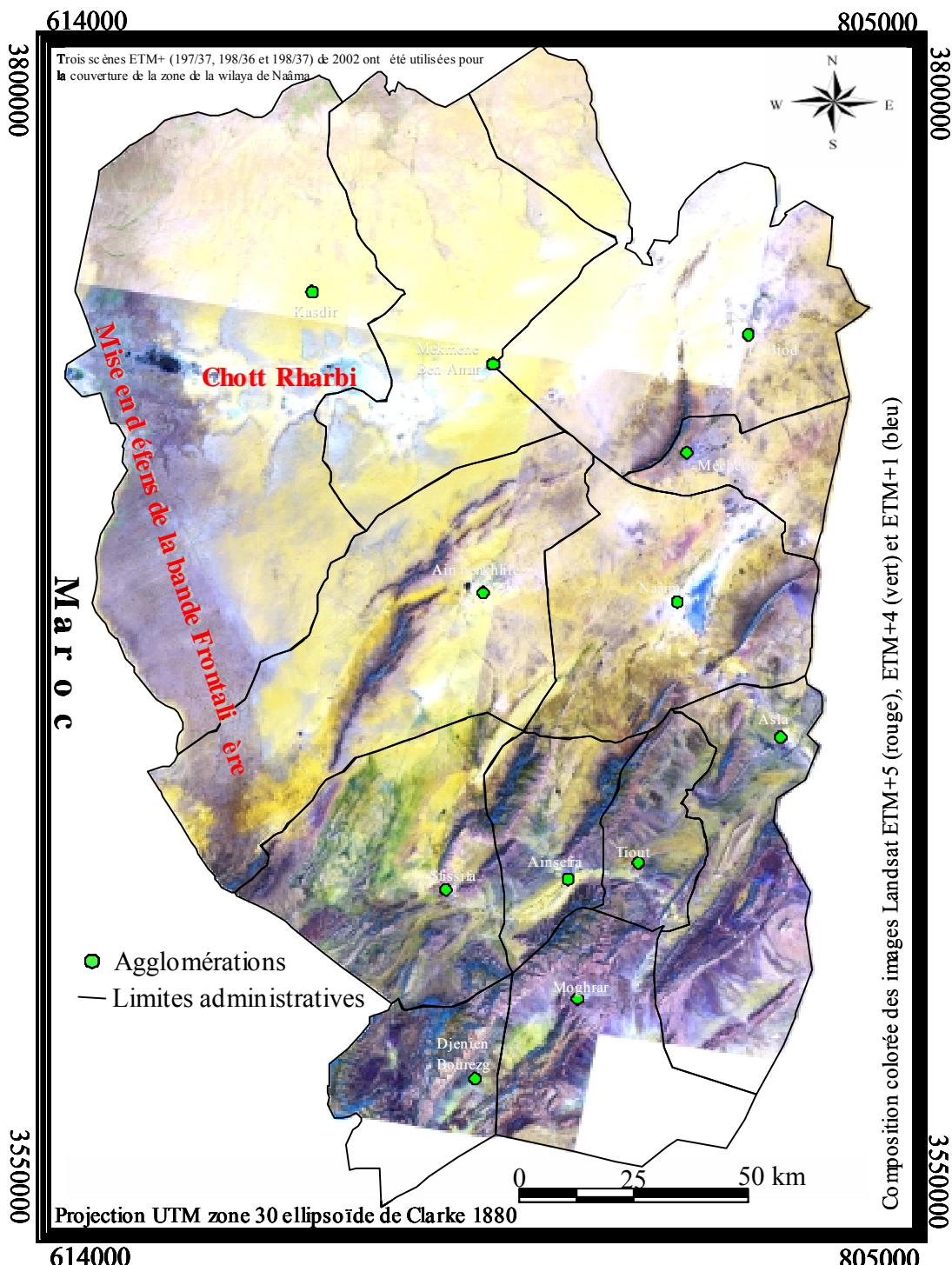


Figure 54 : Composition colorée de la wilaya de Naâma.

L'analyse visuelle de la figure 54 montre clairement la dimension spatiale qu'a pris le phénomène de l'ensablement dans la région d'étude. Au nord est de Mécheria et à l'ouest de la commune d'El Biad apparaît une grande zone dégradée en jaune. De même pour la zone se trouvant au sud-ouest de Ain Benkhelile où le sable transite de la frontière algéro-marocaine vers les contrées de la wilaya.

5.5.5. Missions de reconnaissance et données de terrain

Plusieurs missions de reconnaissance de terrain ont été effectuées pour le repérage et la connaissance d'un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol que l'on rencontre sur la zone d'étude. Avant d'entamer les missions de reconnaissance et de repérage des zones test, nous étions amené à faire un travail de photo-interprétation. La composition colorée ainsi réalisée a été corrigée géométriquement par rapport aux cartes topographiques et imprimée à la même échelle que celles des cartes. La correction géométrique de la trichromie nous a permis une localisation simple et immédiate des zones test dans le système de projection UTM zone 30, et à ellipsoïde de Clarke 1880. Cependant, nous avons généré une spatio-carte où on peut facilement identifier les coordonnées (x,y) de n'importe quel échantillon. L'aspect visuel sur cette spatio-carte rend instantanément compte du type d'occupation de sol (végétation naturelle, sol nu, agriculture, reboisement, zone de montagne, accumulation sableuse, etc.). En effet, sur cette carte, plusieurs zones ont été définies à l'intérieur desquelles seront pris les différents échantillons. Le choix de ces différentes régions est établi selon plusieurs critères tels que la teinte de couleur de la strate, la texture, la forme géométrique et la localisation géographique. Une fois l'opération réalisée, ces entités physiques ont été superposées sur un fond de carte topographique scanné cela pour faciliter leur reconnaissance sur le terrain et définir avec précision les itinéraires que nous devons suivre chaque jour une fois sur le terrain (Cf. Figure 55). Ces zones ont été facilement identifiées grâce à l'utilisation du GPS portable de précision planimétrique plus au moins 20 mètres. Cette précision est suffisante lorsque qu'on travaille à petite échelle (1 : 200 000).

A l'intérieur de chacune de ces parcelles, des relevés de terrain ont été réalisés. Pour chaque relevé, des observations et des mesures ont été effectuées :

- description générale du relevé : localisation, géomorphologie, pente et type de sol;
- recouvrement de la végétation naturelle et état de dégradation.

Toutefois, il est à noter, que la végétation steppique dans ce milieu naturel aride présente quelques difficultés pour différencier les différents types de parcours (l'Alfa, le sparte et l'armoise) en se référant uniquement à leur comportement spectral. Car il fallait distinguer les différents types de parcours et préciser également leur état de dégradation. L'ensablement et l'état de dégradation avancée de la végétation de l'espace steppique rendaient très difficile

toute discrimination entre les types de parcours, même en effectuant un échantillonnage exhaustif selon la méthode des points quadrats alignés (DAGET P.H et POISSONNET J., 1971). Cette difficulté a été en bonne partie, surmontée en regroupant l'ensemble de la végétation naturelle en une seule classe. Par contre, l'état de dégradation des parcours est spécifié selon le recouvrement global de la végétation. Nous distinguons deux états de dégradation :

- parcours moyennement dégradés (recouvrement global : $25\% \leq \text{REC} \leq 50\%$);
- parcours dégradés (recouvrement global $\text{REC} < 25\%$).

Bien que l'enquête de terrain ait été réalisée, il existe quand même plusieurs difficultés liées à cette mission, dont les principaux sont :

- la mission sur le terrain a été effectuée en hiver 2004 (11/12/2004 au 15/12/2004), alors que les images sont prises à la fin de l'hiver de l'année 2002;
- les endroits difficiles d'accès, notamment les espaces montagneux et la bande frontalière n'ont pas été concernés par cette mission. La bande frontalière entre l'Algérie et le Maroc est une zone contrôlée par l'armée et l'accès est strictement contrôlé. Toutefois, la délimitation spatiale de cette bande est bien visible sur l'image ce qui facilite son identification. Par contre, nous ne disposons d'aucune information en ce qui concerne le cortège floristique de la végétation naturelle ainsi que son taux de recouvrement.

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

- **végétation steppique** : ce sont des zones n'ayant pas de parcellaire clairement défini et dont la végétation est très hétérogène et le taux de couverture des sols est faible. Dans la composition colorée elles sont difficilement repérables à cause du voile sableux;
- **Terres mises en valeur (agriculture en sec et en irrigué)** : il s'agit généralement de la céréaliculture pour l'agriculture en sec (blé dur et tendre, son, orge et avoine) et des maraîchages pour l'agriculture en irrigué. Ces deux cultures se pratiquent généralement près des oueds et à l'intérieur des zones de dépression non salée (Mekmene, Daïas, oglat);
- **reboisement** : il se localise autour des centres urbains, au flanc sud-est de djebel Antar et le long de la route nationale RN6;

- sol nu;
- zone de montagne (lithosols et regosols);
- accumulations sableuses :
 - anciens cordons dunaires;
 - nappage de sables;
 - amas de sables;
 - voile sableux et barkhane;
 - champ de barkhane.

- Zones humides (Chott, Sebkha, Daïa, Mekmene, Haoud, Oglat)

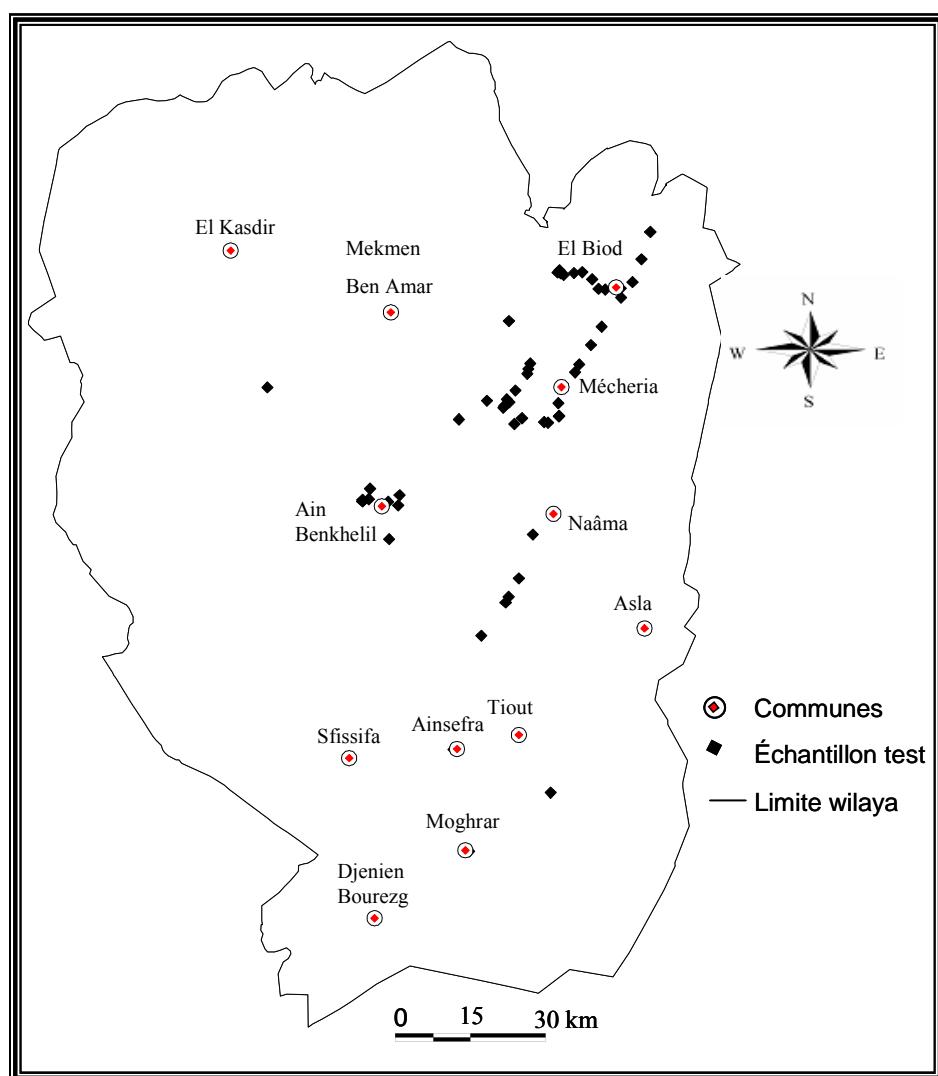


Figure 55 : localisation des échantillons tests sur la zone d'étude.

5.5.6. Classification de la composition colorée

L'apparition de la télédétection spatiale a entraîné le développement de nombreuses méthodes de traitement de l'information numérique fournie par les satellites actuellement disponibles. Toutes s'appliquent à identifier, puis regrouper (on appelle cette démarche classification) les différents thèmes d'après leurs signatures spectrales. Dans le cas de la classification supervisée, l'opérateur définit a priori les classes qu'il désire constituer et recueille un certain nombre de réalités terrain se rapportant à chacune des classes qu'il envisage de mettre en évidence. La méthode repose alors sur l'hypothèse suivante : la distribution statistique des réponses radiométriques de chaque classe caractérise l'objet physique correspondant. Celle-ci sert donc à établir les plages radiométriques pour lesquelles un pixel donné correspond à une classe donnée. La réalité de terrain est ainsi garante de la relation existante entre le terrain et la classification finale effectuée.

C'est le mode supervisé qui a été choisi pour réaliser la classification du milieu steppique de la zone d'étude. La méthode du maximum de vraisemblance a été retenue pour la classification de la composition colorée. Cette méthode est considérée comme une technique puissante de classification. La règle de décision de cette méthode est basée sur la probabilité d'un pixel d'appartenir à une classe particulière. La figure 56 illustre les différentes étapes de la classification supervisée.

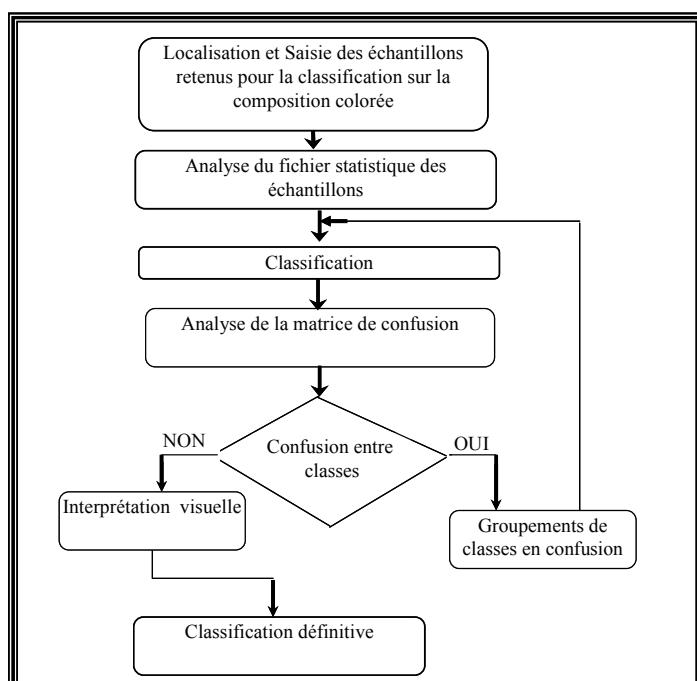


Figure 56 : Les différentes étapes de la classification supervisée.

5.5.6.1. Parcelles d'entraînement de vérité de terrain et analyse de séparabilité des classes

L'opération « classification » des images a nécessité de délimiter spatialement les parcelles test sur la composition colorée. Dès lors, en utilisant le logiciel ENVI, une véritable image de réalité de terrain a été créée sur la trichromie dont les valeurs radiométriques qui les caractérisent serviront de référence pour l'ensemble des pixels non pris en compte dans cette image de vérité terrain. Cependant, la saisie de la réalité terrain est réalisée sur des fenêtres de la scène totale représentant la région d'étude, afin de travailler à pleine résolution. Chaque réalité de terrain décrit une occupation du sol précise où sont associés un nom de classe et une couleur qui la différencie des autres thèmes. Les valeurs radiométriques caractérisant cette réalité terrain résulteront de la moyenne des valeurs radiométriques prises par la totalité des pixels contenus dans l'ensemble des parcelles décrivant cette réalité de terrain. Un écart type moyen autour de cette valeur radiométrique est aussi calculé décrivant la variabilité de réponse radiométrique de la réalité considérée (Cf. Tableau 40).

A près avoir délimité les parcelles d'apprentissage sur la composition colorée, nous avons procédé à la création d'un masque afin d'éliminer les zones se trouvant en dehors des limites administratives de la wilaya. De même, les thèmes (montagnes, chott, Mekmene, sebkha, bande frontalière) qui apparaissent d'une façon claire sur l'image ont été identifiés par photo-interprétation. Cette interprétation visuelle consiste à reprendre le contour de l'objet sachant, au préalable, à quel thème cartographique il appartient. Ainsi, nous avons généré un fond cartographique sur lequel a été créé un masque afin d'écartier ces thèmes, déjà identifiés à partir de différents traitements effectués sur la composition colorée. Ensuite ces thèmes vont être ajoutés à la fin des traitements effectués sur l'image classifiée.

Avant d'entamer la procédure de la classification nous avons fait une analyse statistique de séparabilité des différentes parcelles d'entraînement pour l'ensemble des canaux ETM+. Cette analyse de séparabilité par paire entre les classes a été réalisée grâce à des mesures de transformées de séparabilité de divergence (Richards J.A., 1999). Selon l'auteur les valeurs de séparabilité s'étendent entre 0 et 2 et indiquent à quel point les paires sont statistiquement séparées. En effet, les valeurs supérieures à 1.9 indiquent que les paires de classes sont statistiquement bien séparées. Toutefois, pour les paires dont la valeur est très basse (<1), il est recommandé soit de les éditer ou de les combiner en une seule classe (Cf. Tableau 41).

Dès lors, il ressort de ce tableau que les classes par paire : (amas de sable et anciennes dunes, amas de sable et voile sableux + barkhane, nappage et végétation à faible recouvrement, mise en valeur et reboisement) ont des valeurs moyennes indiquant une certaine confusion entre ces différentes classes. Il importe de noter que ce tableau nous a permis uniquement d'avoir des indications quant à la séparabilité ou non des différentes classes de la nomenclature de départ. Le regroupement des parcelles est basé sur l'analyse de la séparabilité effective en utilisant le fichier statistique de ces échantillons ainsi que sur les mesures de transformées de séparabilité de divergence. C'est ainsi que même si des échantillons ne représentent pas physiquement la même occupation du sol, ils seront confondus au vu de leurs réponses radiométriques similaires.

Dans notre étude les parcelles d'entraînement dont l'écart type est jugé grand ou bien la valeur de transformée de séparabilité de divergence est inférieure à 1 sont automatiquement remplacées par d'autres, afin de minimiser les problèmes de confusion entre les différentes classes de l'occupation du sol. De plus, nous avons essayé de représenter sur un graphique chaque échantillon dans un espace défini par les différents canaux ETM+ du satellite Landsat. A l'aide de ce graphe (Cf. Figure 57), il possible de distinguer entre les classes différenciables et celles qui ne le sont pas dans chaque canal ETM+ de Landsat. La plus part des classes sont séparables dans les canaux du moyen infrarouge. Par contre dans le visible et le proche infrarouge la séparabilité est délicate surtout lorsqu'il s'agit de différentes formes d'accumulation sableuse. En pratique dans le milieu steppique la mise en évidence des édifices dunaires comme : barkhane, nappage, amas de sable est difficile à cause de l'inadéquation entre la taille de ces édifices et la résolution spatiale de l'image. Les grands édifices dunaires homogènes (dune de djebel Antar et celle de Magroune) ne posent pas de problème pour leur classement et leur identification. Néanmoins, le problème demeure quand on s'intéresse à identifier des édifices ayant une dimension spatiale inférieure à 900 m². D'après le travail de ANDREFOUËT S.J. *et al.*, (2002) la résolution spatiale et l'erreur de localisation d'un pixel limitent la taille des objets que l'on peut identifier à l'image. En effet, les objets de reconnaissance de terrain doivent être localisés parfaitement sur les images dans le but de bien définir leur trace spectrale. C'est à partir de ces traces spectrales que se base la classification pour la construction des zones homogènes. Donc, la moindre négligence au niveau de la localisation des objets engendre des erreurs dans l'homogénéisation de l'espace étudié. Pour chaque niveau de perception (échelle) du paysage une tolérance est admise qui

est de l'ordre de 2/10 de millimètres par rapport à l'échelle. Dans notre cas, cette tolérance est comprise entre 20 à 40 mètres. Avec cette marge d'erreur, l'utilisation d'un simple GPS suffit pour une bonne localisation des objets sur terrain et sur l'image. Pour ce qui concerne les mesures sur terrain BAINBRIDGE S.J. *et al.*, (1998) in : (ANDREFOUËT S.J. *et al.*, 2002) ont défini la dimension spatiale de la plus petite unité discernable par la formule suivante :

$$S = R * (1+2E) \quad (10)$$

Où : R est la résolution spatiale et E est l'erreur de localisation en nombre de pixels. Donc, pour une image TM, ETM+ de Landsat et E inférieure ou égale à un pixel, la valeur de S est de l'ordre de 90 m. Avec ces considérations, la dimension des objets de reconnaissance sur terrain devrait être au minimum de 90 x 90 m (0.81 ha). Cependant, pour les objets ayant une dimension supérieure à 1 hectare la reconnaissance est possible.

	Bandes ETM+	MIN	MAX	MOYENNE	ECART_TYPE
Amas de sable	ETM+1	61.00	103.00	75.57	9.84
	ETM+2	72.00	114.00	89.55	11.27
	ETM+3	106.00	192.00	149.41	17.36
	ETM+4	93.00	162.00	125.12	15.20
	ETM+5	126.00	208.00	165.62	19.16
	ETM+7	113.00	195.00	149.68	13.00
Anciennes dunes	ETM+1	59.00	129.00	89.78	9.87
	ETM+2	53.00	177.00	113.06	16.69
	ETM+3	66.00	255.00	194.09	31.08
	ETM+4	47.00	250.00	164.08	26.71
	ETM+5	40.00	255.00	206.42	34.41
	ETM+7	43.00	255.00	191.07	34.10
Barkhane	ETM+1	55.00	73.00	61.46	2.51
	ETM+2	60.00	93.00	71.73	3.86
	ETM+3	87.00	176.00	119.85	10.30
	ETM+4	74.00	151.00	102.20	9.26
	ETM+5	105.00	205.00	141.76	12.06
	ETM+7	92.00	195.00	130.45	12.43
Nappage de sable	ETM+1	43.00	96.00	64.09	17.75
	ETM+2	50.00	108.00	71.81	18.49
	ETM+3	88.00	170.00	120.89	27.76
	ETM+4	111.00	143.00	124.31	4.37
	ETM+5	143.00	188.00	165.26	6.54
	ETM+7	127.00	165.00	151.52	4.44
Voile sableux + barkhane	ETM+1	59.00	80.00	66.45	1.95
	ETM+2	71.00	92.00	78.95	1.88
	ETM+3	117.00	144.00	131.32	3.01
	ETM+4	100.00	117.00	109.52	2.04
	ETM+5	131.00	157.00	145.56	3.20
	ETM+7	119.00	150.00	135.18	3.67
Urbain	ETM+1	67.00	139.00	95.95	10.89
	ETM+2	55.00	142.00	94.62	13.80
	ETM+3	59.00	183.00	124.28	21.92
	ETM+4	43.00	144.00	102.73	14.53
	ETM+5	49.00	200.00	121.62	23.35
	ETM+7	37.00	174.00	106.01	21.65

	Bandes ETM+	MIN	MAX	MOYENNE	ECART_TYPE
Sol nu	ETM+1	114.00	150.00	132.92	6.10
	ETM+2	134.00	172.00	152.70	6.23
	ETM+3	194.00	242.00	214.63	7.45
	ETM+4	154.00	188.00	169.03	4.92
	ETM+5	181.00	220.00	202.00	5.34
	ETM+7	118.00	163.00	149.49	5.38
Mise en valeur	ETM+1	60.00	88.00	76.91	3.98
	ETM+2	51.00	94.00	79.26	6.24
	ETM+3	52.00	142.00	115.25	12.40
	ETM+4	79.00	121.00	103.15	7.87
	ETM+5	67.00	159.00	130.58	12.45
	ETM+7	47.00	136.00	111.41	11.81
Reboisement	ETM+1	63.00	94.00	80.04	5.71
	ETM+2	56.00	106.00	83.58	9.07
	ETM+3	60.00	161.00	120.35	19.54
	ETM+4	85.00	133.00	112.21	7.48
	ETM+5	76.00	177.00	141.66	17.00
	ETM+7	58.00	158.00	120.12	18.17
Végétation à recouvrement moyen	ETM+1	38.00	59.00	47.88	2.42
	ETM+2	36.00	65.00	49.24	3.55
	ETM+3	42.00	95.00	70.78	6.55
	ETM+4	67.00	127.00	100.38	6.56
	ETM+5	88.00	162.00	128.77	8.24
	ETM+7	64.00	141.00	115.14	10.25
Végétation à recouvrement faible	ETM+1	44.00	104.00	73.25	17.91
	ETM+2	47.00	118.00	81.54	21.43
	ETM+3	69.00	191.00	130.69	34.02
	ETM+4	73.00	159.00	120.60	17.95
	ETM+5	81.00	206.00	157.48	23.63
	ETM+7	82.00	192.00	145.45	20.50

Tableau 40 : Données statistiques des parcelles d'entraînement.

	Amas de sable	Anciennes dunes	Barkhane	Nappage de sable	Voile sableux + Barkhane	Urbain	Sol nu	Mise en valeur	Reboisement	Végétation à recouvrement moyen	Végétation à recouvrement faible
Amas de sable											
Anciennes dunes	<u>1.64</u>										
Barkhane	1.79	1.97									
Nappage de sable	1.84	1.95	1.99								
Voile sableux + Barkhane	<u>1.51</u>	1.97	1.72	1.69							
urbain	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99						
Sol nu	1.99	1.99	2	1.99	2	1.99					
Mise en valeur	1.97	1.95	1.99	1.98	1.99	1.89	1.99				
Reboisement	1.96	1.96	1.99	1.93	1.99	1.99	1.99	<u>1.23</u>			
Végétation à recouvrement moyen	2	1.99	2	1.99	2	2	2	2			
Végétation à recouvrement faible	1.66	1.77	1.93	<u>1.56</u>	1.91	1.99	1.99	1.90	1.87	1.94	

Tableau 41 : Valeurs de transformée de séparabilité de divergence (Richards J.A., 1999).

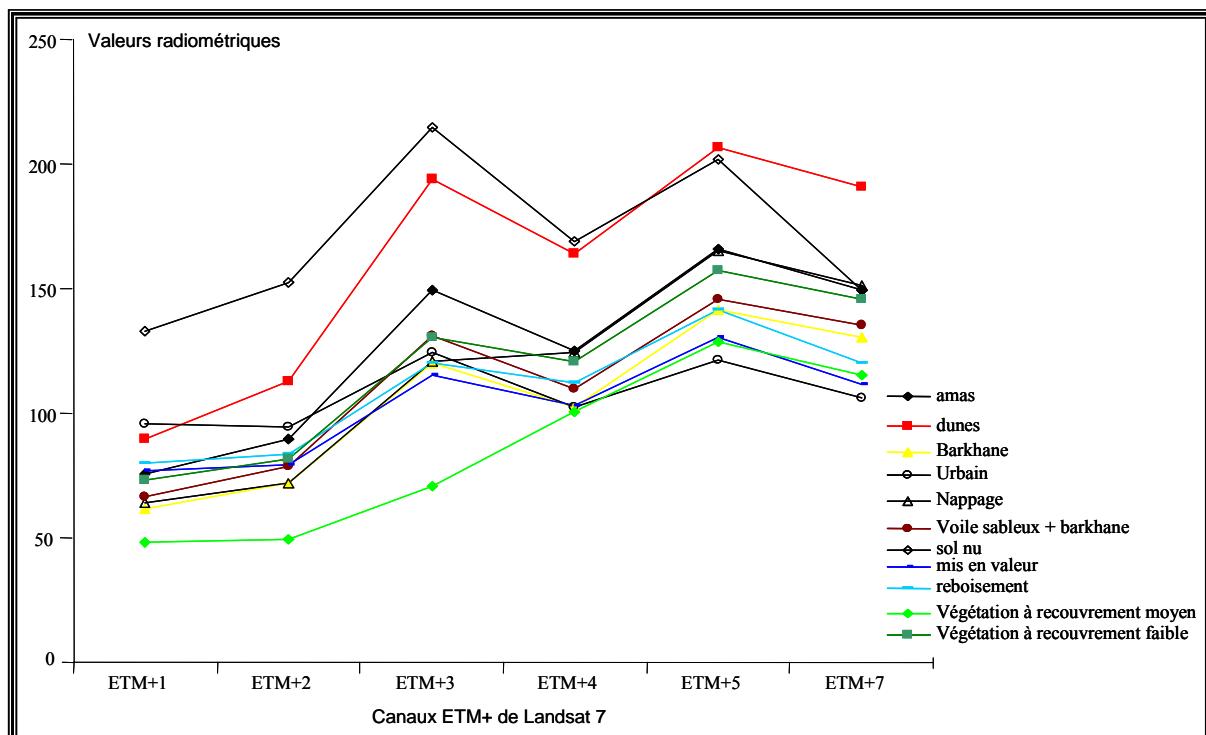


Figure 57 : Courbes des signatures spectrales en valeurs radiométriques des parcelles d'entraînement de la zone d'étude dans les six canaux ETM+ de Landsat.

5.5.6.2. Performance et validation de la classification

Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en estimant le pourcentage de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test de vérité de terrain. Cette

évaluation a été complétée par des visites sur terrain visant à valider la classification effectuée sur les images Landsat. Toutefois, vue l'étendue de la zone d'étude il n'a pas été possible pour nous de visiter tout le territoire. Cependant, pour les zones non investiguées nous nous sommes basé sur une interprétation visuelle effectuée sur l'image classée et sur la composition colorée. Grâce à cette interprétation nous avons pu extrapoler pour ces zones présentant des critères de similitudes (teinte de couleur, forme géométrique, signature spectrale) qui s'approchent des zones ayant subi une reconnaissance de terrain. Le tableau 42 illustre cette performance et son analyse a permis d'émettre quelques remarques :

- les parcelles test homogènes sont particulièrement bien classées, c'est le cas des classes : végétation à recouvrement moyen, anciennes dunes, urbain, barkhane, et sol nu dont le pourcentage de précision statistique (indice de HELLDEN²) est supérieur à 90%. Ces catégories d'occupation du sol sont bien appréhendées et bien restituées, leur précision cartographique est fidèle avec moins de 8% d'imprécision;
- les parcelles test dont le contenu taxonomique correspond en fait à une mosaïque sont moins performants, citons par exemple les classes : amas de sable, voile sableux + barkhane, reboisement et mise en valeur dont le pourcentage de précision statistique ne dépasse pas les 70%. Cela est dû à une certaine confusion entre ces parcelles. En effet, sur les 2978 pixels affectés à la classe reboisement 1839 se sont trouvés regroupés avec les thèmes végétation à faible recouvrement (52%), amas de sable (3.4%), anciennes dunes (0.2%), nappage de sable (2%) et mise en valeur (3.8%). A cet effet, il n'a pas été possible d'obtenir une précision thématique de plus de 52% pour les classes (voile sableux + barkhane, reboisement et mise en valeur). Donc seule la précision cartographique de ces groupes peut être considérée comme satisfaisante.

De cette analyse il ressort que malgré les différentes dates de prise de vue des trois scènes ETM+ de Landsat, nous arrivons à avoir une performance moyenne de la classification de l'ordre de 79.09%.

Il est à noter que les confusions qui existent entre les différentes catégories de l'occupation du sol de la wilaya de Naâma ont été levées grâce à une interprétation visuelle effectuée sur

² L'indice de HELLDEN de (KEERSMAECKER, 1987) in : (GODARD V. *et al.*, 1990) est donné par la formule suivante : $H=(2X_{ii})/(X_i + X_{.i})$ où $X_{.i}$ est la somme par colonne des points du thème considéré de la matrice de confusion; $X_{.i}$ la somme par ligne et X_{ii} est la valeur de la diagonale sur la matrice de confusion.

l'image classifiée. Cette interprétation consiste à balayer l'image classée par une fenêtre de dimension bien définie, de telle sorte que si on clique sur cette fenêtre, il apparaîtra le contenu correspondant sur la composition colorée. Ce traitement a été effectué à l'aide du logiciel de traitement d'image (E.N.V.I).

Classes	Végétation à recouvrement faible	Végétation à recouvrement moyen	Amas de sable	Anciennes dunes	Nappage de sable	urbain	Barkhane	Voile Sableux+barkhane	Sol nu	Reboisement	Mise en valeur	Totale
Non classé	0	1	0	111	9	0	0	0	1	0	0	122
Végétation à recouvrement faible	20614	86	923	655	95	0	53	53	0	12	0	22491
Végétation à recouvrement moyen	232	15750	0	0	7	0	0	0	0	0	0	15989
Amas de sable	1985	0	9511	369	403	0	92	125	0	2	2	12489
Anciennes dunes	1254	0	744	14893	21	0	17	6	0	0	0	16935
Nappage de sable	3703	0	549	16	4481	0	0	0	0	2	0	8751
urbain	36	0	1	2	0	364	0	0	0	5	12	420
Barkhane	1673	0	28	3	0	0	12015	104	0	0	0	13823
Voile Sableux+barkhane	428	0	6108	2	0	0	179	6884	0	0	0	13601
Sol nu	0	0	0	0	0	0	0	0	2163	0	0	2163
Reboisement	1552	0	103	6	63	0	0	0	0	1139	115	2978
Mise en valeur	1223	0	212	27	1	1	2	0	0	65	985	2516
Totale	32700	15837	18179	16084	5080	365	12358	7172	2164	1225	1114	112278

Classes	Indice de Heeldden (%)	Précision thématique (%)	Précision cartographique (%)	Indice Kappa	Précision générale de la classification (%)
Végétation à recouvrement faible	74.70	91.65	63.04	0.7558	79.09
Végétation à recouvrement moyen	98.98	98.51	99.45		
Amas de sable	62.03	76.16	52.32		
Anciennes dunes	90.21	87.94	92.60		
Nappage de sable	64.80	51.21	88.21		
urbain	92.74	86.67	99.73		
Barkhane	91.78	86.92	97.22		
voile Sableux+barkhane	66.28	50.61	95.98		
Sol nu	99.98	100.00	99.95		
Reboisement	54.20	38.25	92.98		
Mise en valeur	54.27	39.15	88.42		

Tableau 42 : Matrice de confusion de la classification des images ETM+ pour la période de 2002.

5.5.7. Interprétation des résultats

A l'aide des données de télédétection nous avons mis en évidence les grandes recompositions spatiales des différents types d'occupation du sol ainsi que leur surface pour l'ensemble de la wilaya de Naâma. Les résultats sont mentionnés dans le tableau 43. De ce dernier il ressort que :

- la végétation steppique se trouve dans un état très avancé de dégradation et cela pour la majeure partie de la zone d'étude. Toutefois, les zones mises en défens ainsi qu'une partie se trouvant plus nord de Chott Rharbi et près de la limite administrative de la wilaya de Tlemcen, présentaient un taux de recouvrement moyen. Ces zones si elles ne sont pas protégées, subiront le même sort qu'ont subi les zones d'intérieures. La végétation steppique entre l'axe Mécheria et Ain Benkhile, autrefois présentant un bon taux de recouvrement, a disparu et cédé la place à l'extension des espèces de production énergétique pastorale médiocre et des accumulations sableuses. A ce même endroit, (COLONEL NIOX., 1890) a décrit dans son ouvrage l'existence de véritables zones d'alfa (mer d'alfa) qui couvraient les plateaux avec un bon de taux recouvrement avoisinant les 90%. Ce témoignage nous a aidé à nous faire une idée sur l'évolution du paysage steppique depuis l'époque coloniale jusqu'à présent. De ce fait, pendant un siècle on a assisté à un véritable changement de paysage, en passant d'un environnement steppique à un environnement désertique avec l'installation d'édifices dunaires qui gagnent du terrain au détriment des parcours steppiques (Cf. Photo 8);
- Les mises en valeurs (culture irriguée et céréaliculture) sont très limitées dans l'espace et elles représentent une superficie de l'ordre de 9414 hectares. Ce chiffre est différent de ce qui a été déclaré par les collectivités locales de la région (7537 ha). Donc 25% des terres mises en valeur recensées à travers les images ne sont pas déclarées. En effet, plusieurs parcelles agricoles sont mises en valeurs au profit des terres de parcours d'une façon illicite. La dimension spatiale de la zone ne permet pas de contrôler tout le territoire. Avec le peu de moyens dont ont disposé les responsables de la gestion des espaces de parcours et les élus locaux, l'opération de contrôle s'avère délicate voire impossible. Les agropasteurs de toute la steppe algérienne profitent de cette situation pour défricher plus de terre afin de subvenir à leurs besoins alimentaires. Sur l'image classifiée nous avons créé un masque où il apparaît uniquement les terres mises en valeurs, les autres thématiques ont été multipliées par la valeur 0. Sur ce masque nous avons procédé au calcul de la superficie totale des mises en valeur se trouvant à l'intérieur de la zone d'étude afin d'avoir une idée sur leur étendue. Nous tenons à

signaler aussi que certaines parcelles ne sont pas prises en compte, car leur mise en évidence sur les images satellitaires était très difficile à cause de la présence du sable. La majeure partie des parcelles de mise en valeur sont localisées autour des dépressions (daïa, mekmene, oglat, les zones d'épandages d'oueds). Il est à noter qu'une grande partie de ces parcelles de mise en valeur sont menacées par l'ensablement, c'est le cas des périphéries de Ain Benkhelile et du périphérique de Mekmene Ben Amar;

- les accumulations sableuses sont omniprésentes dans la plus part des communes. Elles ont favorisé l'extension des psammophites. A l'échelle de la wilaya elles occupent une superficie de 1279210 hectares soit 42.9% de la surface totale de la zone d'étude. Ce chiffre indique que la tendance est renversée dans cette wilaya. Dans le passé c'était l'alfa qui dominait le paysage steppique, mais actuellement c'est le sable qui domine.

Unité d'occupation du sol	Superficie en (ha)	Superficie en (%)
anciennes dunes	60310	2.02
amas de sable	204500	6.86
barkhane	30300	1.02
mise en défens	273900	9.18
voile sableux + barkhane	311900	10.46
nappage de sable	672200	22.54
mise en valeur	9414	0.32
végétation dégradée	805100	26.99
Végétation à recouvrement moyen	21740	0.73
zone humide	158500	5.31
massif	324046	10.86
REBOISEMENT	11600	0.39
SOL NU	14190	0.48
URBAIN	1920	0.06
Zone non couverte par les images	82920	2.78

Tableau 43 : Les superficies d'occupation du sol à l'intérieur de la wilaya De Naâma.



Photos 8 : Installation d'un champ de barkhane sur le terrain de parcours au sud de la commune de Ain Benkhelile

5.5.8. Conception de la carte d'occupation du sol

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

5.5.8.1. Correction géométrique de l'image classée

Les images de Landsat sont entachées d'un certain nombre de déformations géométriques, dont la plus importante est causée par la rotation de la terre pendant le laps de temps de prise de vue. Ce phénomène entraîne deux types de déformations : un décalage géométrique de ligne de la droite vers la gauche et un étirement de l'image du haut vers le bas. Les corrections géométriques permettent de compenser en totalité ou en partie ces déformations. Pour obtenir, à partir de données satellitaires brutes, une représentation graphique superposable à des documents cartographiques, il est nécessaire d'appliquer une correction géométrique à cette image. Ainsi, dans notre cas, la rectification est effectuée par l'acquisition de points d'amer figurant à la fois sur la composition colorée et sur les cartes topographiques qui sont, en effet, le standard utilisé pour ces rectifications.

Pour la correction géométrique de l'image classée, un modèle polynomial de déformation du second degré a été adopté, en utilisant 14 points d'appui de référence (Cf. Annexe 2). L'écart type moyen obtenu à la fin du traitement est de l'ordre d'un pixel : cette écart entre le pixel de

référence et la situation de ce même pixel après transformation vaut au maximum 30 m dans cette étude (la résolution des images ETM+ est de 30 mètres). De plus, la méthode du plus proche voisin a été utilisée comme méthode de rééchantillonnage.

5.5.8.2. Superposition des plans d'informations sur la carte d'occupation du sol

Sur cette image classée, nous avons essayé de superposer : un quadrillage kilométrique et la toponymie. Les plans d'information superposés à l'image classée constituent notre document final qui est la carte d'occupation du sol de la région d'étude (Cf. Figure 58).

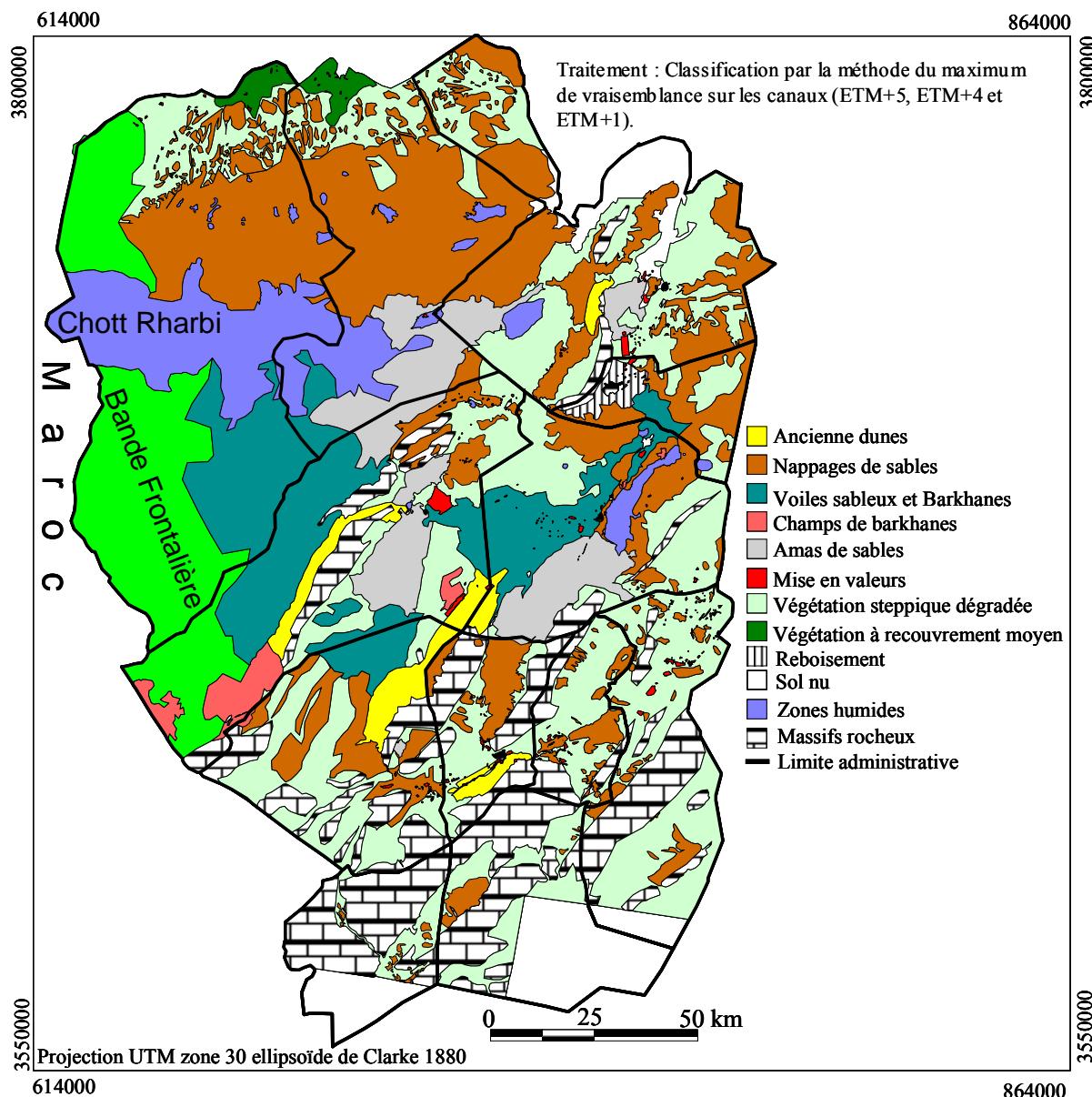


Figure 58 : Carte d'occupation du sol de 2002 de La wilaya de Naâma.

**CHAPITRE VI : CARTOGRAPHIE DIACHRONIQUES DES CHANGEMENTS
DYNAMIQUES DU MILIEU STEPPIQUE À L'AIDE DES
IMAGES ETM+ ET TM DE LANDSAT**

6.1. DÉTECTION DES CHANGEMENTS DYNAMIQUES DE L'ESPACE STEPPIQUE DANS LA WILAYA DE NAÂMA.

La détection et l'identification des changements, apparaissant à la surface de la terre, constituent l'une des préoccupations essentielles pour les scientifiques et les gestionnaires impliqués dans la compréhension et la gestion des écosystèmes naturels et artificiels (MANIERE R., 1987). Ainsi, ces dernières années, on assiste à un véritable changement dynamique de la steppe avec l'avancée et l'extension de l'ensablement vers l'intérieur du pays. En effet, les effets néfastes des périodes de sécheresses à partir des années de 1970 conjugués avec l'accroissement de la population ainsi que la conjoncture qu'a connu le pays dans les années 1990 ont fortement bouleversé l'équilibre fragile du milieu steppique aride. Ces effets néfastes risquent d'entraîner la disparition partielle ou totale des parcours steppiques (irréversibilité) et certaines parties des réserves nationales que constitue la wilaya de Naâma (Haoud ed Deïra, Brézina, Noukhila, Chott chergui, chott Rharbi et les oasis de Moghrar et de Tiout classées site RAMSAR). Cependant, la localisation dans l'espace et dans le temps des différents secteurs en mutation les plus significatifs permet aux spécialistes de l'aménagement du territoire et aux responsables locaux de bien comprendre ces différentes mutations socio spatiales qui affectent la steppe sud-ouest de l'Algérie. De la sorte, en milieu steppique, évaluer l'ampleur des changements peut aider à mieux appréhender le processus de l'ensablement et la régression des graminées (*Stipa tenacissima*, *Artemisia herba Alba* et *Lygeum spartum*) dans leur dimension spatiotemporelle.

Au niveau de notre zone d'étude les données de terrain concernant le phénomène d'ensablement sont rares. Toutefois, si elles existent, elles ne permettent pas de présenter le processus de l'ensablement dans une vision synoptique. La plus part des études qui existent concernent uniquement des zones restreintes alors que le phénomène nécessite d'être étudié dans une approche multidimensionnelle (échelles supranationale, régionale et locale). A cet égard, le recours aux données de télédétection est primordial afin de dresser des bilans et des hypothèses fiables sur la dégradation des parcours et l'installation des édifices dunaires. Dans ce contexte les images des données satellitaires et multidates constituent une excellente source d'information. Toutefois, elles demeurent insuffisamment exploitées pour l'évaluation de la dynamique des espaces steppiques.

La carte d'occupation du sol reste un document nécessaire mais insuffisant pour l'apprehension de l'évolution rapide du phénomène de dégradation du sol et les mouvements des dunes. En effet, la surveillance régulière de ce phénomène sur de longues périodes en utilisant les imageries satellitaires peut mieux évaluer le mécanisme d'évolution des dunes sur les terrains de parcours steppiques. D'après les travaux menés par BOURCIER A. *et al.*, (1999) l'estimation régulière (année après année) de la transformation d'un milieu permet de dresser des courbes qui illustrent la tendance de l'évolution du phénomène. Dès lors, il est possible de prévoir les évolutions dans le futur proche des phénomènes naturels et d'établir un calendrier pour l'acquisition des images en fonction de la rapidité d'évolution de l'ensablement.

La réalisation des cartes d'occupation du sol pour les années 1972, 1987 et 2002 n'est donc pas nécessaire puisqu'elle exige des missions d'échantillonnage des années concernées ou à des périodes non éloignées de celles-ci, de telle manière que l'état des parcours présente une situation analogue à celle existant au moment de la prise de vue.

6.2. MÉTHODOLOGIE

Les méthodes de détection des changements sont généralement soumises à des niveaux de contraintes : radiométrique et spatiale. Les conditions d'éclairement et d'atténuation atmosphérique sont très variables dans le temps et dans l'espace. Les images nécessitent donc obligatoirement des corrections radiométriques et atmosphériques, afin d'homogénéiser les données multispectrales des images multidiplinaires utilisées. Enfin, il importe que les images soient également corrigées géométriquement.

Plusieurs méthodes de détection des changements de l'occupation du sol ont été utilisées. Ces méthodes se basent sur la comparaison de six scènes TM et ETM+ de Landsat. Il est important de signaler que les trois scènes MSS de 1972 présentent des défauts d'ordre spectral et spatial. Nous n'avons pas pu construire la mosaïque pour couvrir la totalité de la zone et faire une analyse comparative multidiplinaire. Les scènes 212/37 et 213/37 ne se juxtaposent pas. Toutefois, elles ont été utilisées dans l'analyse rapide de l'évolution du milieu. Cette analyse est basée sur l'interprétation des différentes images multidiplinaires. Avant l'application des méthodes de détection des changements qui affectent le milieu, les images ont subi des traitements d'amélioration géométrique, radiométrique et atmosphérique. De plus, la carte

d'occupation du sol réalisée précédemment est utilisée comme un document de référence. La figure 59 illustre les différentes méthodes qui ont été mises en œuvre.

Dans notre zone d'étude la détection des mutations significatives de l'occupation du sol a nécessité la réalisation des étapes suivantes :

- sélection d'images multispectrales multidates;
- choix de l'image de référence;
- correction radiométrique des images TM et ETM+;
- correction géométrique des images TM et ETM+;
- méthodes de détection de changements :
 - méthode I : identification rapide et quantification de l'évolution des changements;
 - méthode II : technique de la composition colorée multiday;
 - méthode III : indice dynamique de couverture des sols.

6.2.1. Données utilisées

Pour cette étude nous disposons de neuf scènes multidates du satellite Landsat (ETM+, TM et MSS) plus des cartes topographiques de 1957 pour analyser la dynamique spatiale des accumulations sableuses sur une période de 45 ans. Le tableau 44 illustre les caractéristiques des scènes utilisées.

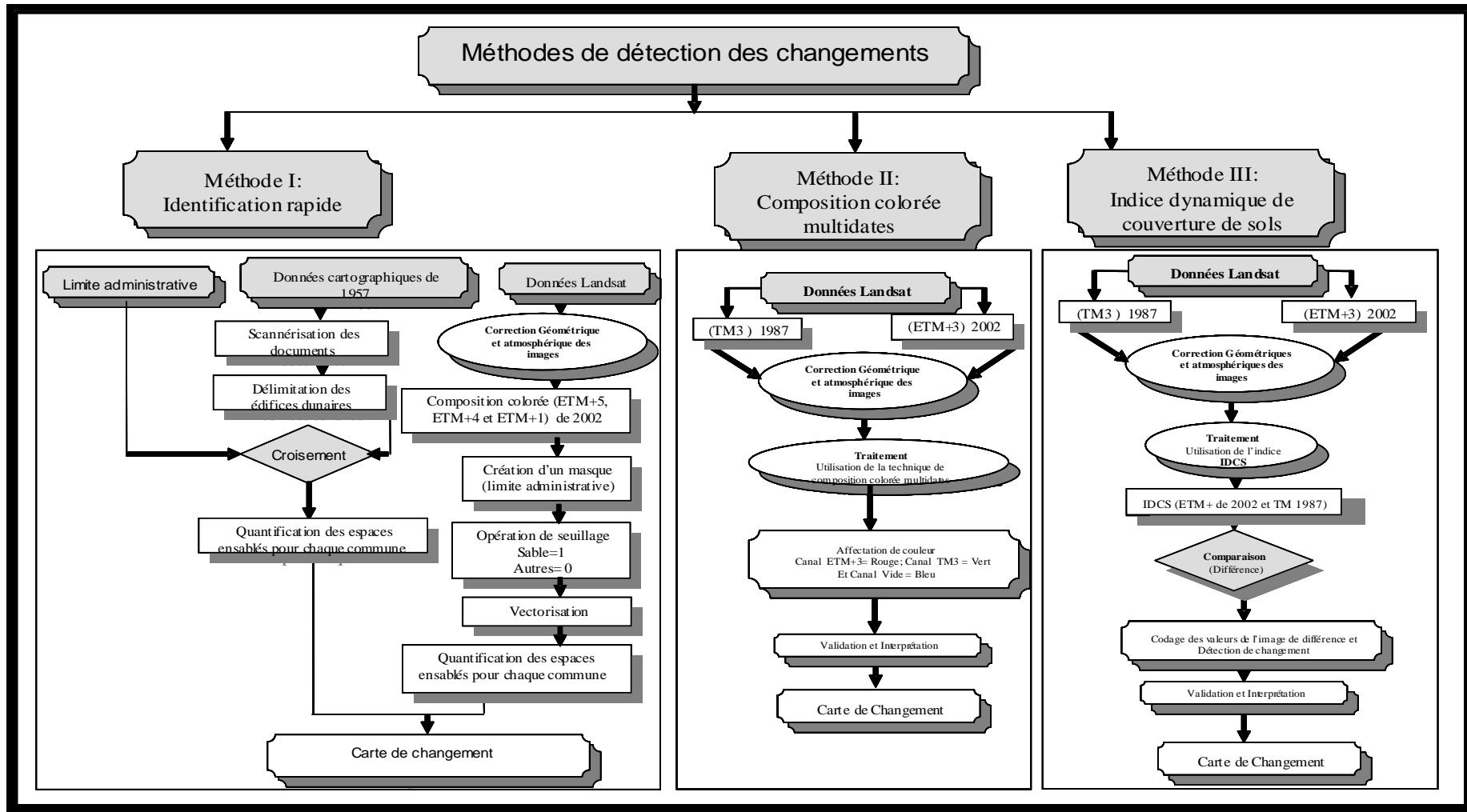


Figure 59 : Schéma méthodologique pour la détection des changements.

	MSS			TM et ETM+		
Images	MSS CCT FORMAT			ETM+ et TM CCT FORMAT		
Satellite	Landsat 1			Landsat 5 et Landsat 7		
Centre d'image	212/37	213/36	213/37	197/37	198/36	198/37
Dimension totale	3512X 3310	3512X 3310	3512X 3310	5761 x 7020	5761 x 7020	5761 x 7020
Date de prise de vue	15/11/1972	16/11/ 1972	29/01/1972	25/04/ 1987 16/02/ 2002	31/03/ 1987 27/01/ 2002	31/03/ 1987 13/03/ 2002
Heure de prise de vue	A 10 h 06	A 10 h 00	A 10 h 02	A 09 h 56	A 10 h 00	A 10h 01
Latitude au centre de la scène (en degré)	33.10	34.5	33.10	33.2	34.61	32.2
Longitude au centre de la scène (en degré)	-0.20	-0.80	-1.20	-0.20	-0.91	-1.30
DIMENSION TRAITEE	3512X 3310	3512X 3310	3512X 3310	5761 x 7020	5761 x 7020	5761 x 7020
Angle zénithal (en degré)	55.89	52.35	60.36	33.53 (1987) 52.4 (2002)	59.04 (2002)	41.3 (1987) 43.76 (2002)
Élévation (en degré)	34.11	32.65	29.64	56.47 (1987) 37.60 (2002)	30.96 (2002)	48.70 (1987) 46.24 (2002)
Angle azimutal (en degré)	152.89	153.74	143.05	120.25 (1987) 146.09 (2002)	149.57 (2002)	128.66 (1987) 140.11 (2002)

Tableau 44 : Caractéristiques des images MSS, TM et ETM+ de la zone d'étude.

6.2.2. Correction radiométrique et atmosphérique

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

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

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

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

6.2.2.1. Principe du modèle absolu de correction radiométrique utilisé

Le modèle qui a été retenu pour effectuer les corrections radiométriques est celui proposé par OLSSON H., (1994). Ce dernier tient compte des variations induites par l'atmosphère et les conditions de prise de vue. Il est employé pour corriger les différences induites par l'angle du soleil, de l'atmosphère et pour procéder au calcul de la réflectance de l'objet au niveau du sol. Ce modèle de calibration absolu est basé sur l'utilisation et la sélection des zones communes (échantillons tests) invariantes pour lesquels on extrait à partir d'un zonage de pixels communs, les statistiques de chaque échantillon (moyenne, écart type). La moyenne de chaque échantillon est utilisée pour la détermination de la luminance de chaque échantillon au niveau du capteur selon l'équation suivante :

$$L_{sat} = L_{min}(\lambda) + \frac{L_{max}(\lambda) - L_{min}(\lambda)}{V_{max}} CN \quad (11)$$

Où : L_{sat} est la luminance apparente mesurée par les capteurs embarqués sur le satellite; L_{min} et L_{max} sont des valeurs de luminances maximum et minimum de chaque capteur; CN est le compte numérique de chaque pixel de l'image, $v_{max}=255$, 127 ou 63 suivant les valeurs numériques utilisées sur (8,7 et 6) bits et CN est le compte numérique.

Mais le plus important à réaliser est l'estimation de la valeur de la réflectance de chaque échantillon au niveau du sol. Cette réflectance nécessite soit l'utilisation d'un radiomètre de terrain soit des courbes spectroradiométriques réalisées dans des laboratoires spécialisés. Ces

courbes sont généralement données dans des livres sous forme de graphes. Pour l'extraction de la valeur de la réflectance à partir du graphe, il suffit de connaître la valeur de la longueur d'onde de l'échantillon dans chaque image. De Même, Si on utilise le radiomètre de terrain, celui-ci, va être calibré pour chaque mesure effectuée sur le terrain à l'intérieur de chaque zone test.

Selon le modèle de OLSSON H., (1994) la réflectance absolue d'un objet est donnée par la formule suivante :

$$R_{sol} = \pi \frac{L_{sol}(\lambda)}{E_s \cos(\vartheta_s) T} = \pi \frac{(L_{sat}(\lambda) - L_{atm}(\lambda))}{E_s \cos(\vartheta_s) T} \quad (12)$$

Les équations (11) et (12) peuvent être combinées par une simple expression pour la conversion du pixel du compte numérique (CN) en réflectance absolue. En effet, nous obtenons l'équation suivante :

$$R_{sol} = \alpha + \beta CN \quad (13)$$

avec:

$$\alpha = \pi \frac{(L_{min}(\lambda) - L_{atm}(\lambda))}{E_s \cos(\vartheta_s) T}$$

$$\beta = \pi \frac{(L_{max}(\lambda) - L_{min}(\lambda))}{E_s \cos(\vartheta_s) T \cdot V_{max}}$$

Où :

CN_j : valeur du pixel mesurée dans une bande pour le pixel j;
 R_{satj} : réflectance absolue pour le pixel j;

L_{sol} : luminance spectrale de l'objet mesurée au niveau du sol ($w \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$);

L_{sat} : luminance spectrale de l'objet mesurée au niveau du satellite ($w \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$);

L_{atm} : luminance atmosphérique ($w \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$);

E_s : constante solaire (irradiance) en ($w \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$);

T : Transmittance totale qui est donnée par la formule suivante :

$$T = \frac{1}{1 + \frac{b\tau}{\cos(\vartheta_s)}} \quad \text{et} \quad b\tau = 0.5 \tau_r + 0.16 \tau_p \quad (14)$$

avec :

$$\tau_r = \tau_0 [1 - \exp(-z/8)] \quad \text{et}$$

$$\tau_p = \exp(-2v/30) C(\lambda)$$

où :

τ_r : facteur relatif à la diffusion moléculaire de Rayleigh;.

τ_p : facteur relatif à la diffusion par les aérosols de MIE;

τ_0 : représente l'épaisseur optique de Rayleigh pour toute l'atmosphère, elle est donnée par la formule suivante :

$$\tau_0 = (84.35 \cdot 10^{-4}) \lambda^{-4} + (-1.225 \cdot 10^{-4}) \lambda^{-5} + (1.4 \cdot 10^{-4}) \lambda^{-6}$$

z : est l'altitude des aérosols exprimée en km

$C(\lambda)$: est une fonction de longueur d'onde, elle est donnée par :

$$C(\lambda) = 0.632 \lambda^{-1} - 0.02 \lambda^{-2}$$

V : représente la visibilité exprimée en km.

L_{min} , L_{max} : valeurs de luminances maximum et minimum.

θ_s : angle zénithal solaire.

Les paramètres (L_{min} , L_{max} , E_s et θ_s) du modèle sont obtenus à partir des fichiers entête de chaque image (Cf. tableaux 45 et 46).

Canal	Images ETM+ de 2002						Images TM de 1987	
	Scène 197/37		Scène 198/36		Scène 198/37		Scenes 197/37, 198/36 et 198/37	
	a	b	a	b	a	b	a	b
ETM1	0.7757	-6.2000	1.1761	-6.2000	1.1761	-6.2000	0.6024	-1.520
ETM2	0.7957	-6.4000	1.2051	-6.4000	1.2051	-6.4000	1.1750	-2.8399
ETM3	0.6192	-5.0000	0.9388	-5.0000	0.9388	-5.0000	0.8500	-1.1700
ETM4	0.6373	-5.1000	0.6357	-5.1000	0.9667	-5.1000	0.8145	-1.5100
ETM5	0.1278	-1.0000	0.1278	-1.0000	0.1905	-1.0000	0.1080	-0.3700
ETM7	0.0437	-0.3500	0.0437	-0.3500	0.0662	-0.3500	0.0562	-0.1500

Tableau 45 : Valeurs de calibrations a et b ($a = (L_{max}-L_{min})/v_{max}$ et $b = L_{min}$) des données ETM+ et TM de Landsat.

		Images ETM+ de 2002			Images TM de 1987		
Scènes		197/37	198/36	198/37	197/37	198/36	198/37
Angle zénithal en degré		52.4	59.04	43.76	33.53	41.3	41.3
Constante solaire Es en ($\text{w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)	ETM1	2110.99	2124.20	2086.46	2036.64	2065.69	2065.69
	ETM2	1747.95	1758.90	1727.64	1686.39	1710.44	1710.44
	ETM3	1509.67	1519.12	1492.13	1456.50	1477.27	1477.27
	ETM4	1060.51	1067.14	1048.19	1023.16	1037.75	1037.75
	ETM5	239.71	241.21	236.93	231.27	234.57	234.57
	ETM7	77.40	77.88	76.50	74.67	75.74	75.74
Transmittance Total	ETM1	1.40	1.52	1.32	1.27	1.31	1.31
	ETM2	1.15	1.18	1.12	1.10	1.12	1.12
	ETM3	1.05	1.06	1.04	1.03	1.04	1.04
	ETM4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	ETM5	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98
	ETM7	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99

Tableau 46 : Paramètres d'entrée du modèle de correction atmosphérique des images ETM+ et TM de Landsat.

6.2.2.2. Validité du modèle en utilisant des images Multidates

Nous avons calculé les coefficients α et β du modèle qui permettent le passage d'un compte numérique (CN) d'un pixel en donnée de réflectance réelle du sol. L'estimation de ces deux paramètres du modèle a été effectuée en choisissant sur les images des six scènes entre la période de 1987 et 2002 des échantillons représentant des objets invariants dans le temps. Le choix est défini de telle sorte que l'échantillon sélectionné sur l'image de chaque scène de 1987 doit être le même sur la même image de la période de 2002. Ces deux échantillons vont servir uniquement dans la détermination de la luminance atmosphérique (Latm). Cette dernière est évaluée à partir de l'équation suivante :

$$\text{Latm} = \text{Lsat} - \text{Lsol} * T \quad (15)$$

La luminance Lsat est déduite de l'équation (11), par contre Lsol est estimée à partir des courbes spectroradiométriques existantes dans la base de données du logiciel Teravue. A l'aide de ces courbes nous avons sélectionné le sable et le sol nu afin de noter leurs réflectances réelles mesurées au niveau du sol dans l'intervalle des longueurs d'ondes des capteurs TM et ETM+ de Landsat. Une fois la luminance Lsol calculée, la luminance Latm est déduite directement de l'équation (15). Ensuite, nous avons calculé une moyenne Latm des deux échantillons pour la correction atmosphérique de la totalité des images en utilisant le modèle de OLSSON H., (1994). Le résultat pour le calcul de α et β est illustré dans le tableau suivant :

Scènes	Images ETM+ de 2002						Images TM de 1987					
	197/37		198/36		198/37		197/37		198/36		198/37	
Coefficients α et β du modèle	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
ETM1	0.0413	0.0013	0.0265	0.0022	0.0091	0.0019	0.0594	0.0007	0.0367	0.0009	0.0231	0.0009
ETM2	-0.0467	0.0020	-0.0311	0.0035	-0.0481	0.0027	-0.0222	0.0022	-0.0181	0.0026	-0.0361	0.0026
ETM3	-0.1318	0.0020	-0.0939	0.0036	-0.1094	0.0026	-0.1073	0.0021	-0.0772	0.0023	-0.1015	0.0023
ETM4	-0.1992	0.0031	-0.1431	0.0037	-0.0754	0.0026	-0.1915	0.0032	-0.1185	0.0033	-0.1025	0.0033
ETM5	-0.1551	0.0028	-0.1066	0.0033	-0.0105	0.0024	-0.1476	0.0022	-0.0808	0.0020	-0.0013	0.0020
ETM7	-0.2295	0.0030	-0.2114	0.0035	-0.1331	0.0025	-0.2120	0.0029	-0.1967	0.0033	-0.1599	0.0031

Tableau 47 : Coefficients α et β du modèle de correction atmosphérique des images TM et ETM+ de Landsat.

Pour la validité du modèle de correction atmosphérique, nous avons fait une comparaison entre les valeurs de réflectances absolues calculées à partir du modèle de deux échantillons test pour 1987 et 2002. Nous avons obtenu une variation de réflectance absolue relative à chaque échantillon inférieure à 1% (Cf. Tableau 48). Ce résultat ne peut que confirmer la performance du modèle dans la rectification des perturbations radiométriques et atmosphériques des images satellitaires. La faible variation dans la mesure de la réflectance des objets pour chaque scène renforce la qualité des traitements effectués sur les images pour la détection des changements entre les deux dates.

Après la normalisation atmosphérique, nous avons procédé au traitement des images pour définir les zones de changement dans la zone de Naâma. Finalement, nous avons réalisé un programme¹ en C qui permet la rectification automatique des images satellitaires en se basant sur le principe du modèle décrit ci-dessus ainsi que sur l'utilisation d'un autre modèle relatif.

Échantillon Sable									
	197/37			198/36			198/37		
	Réflectance absolue en (%)			Réflectance absolue en (%)			Réflectance absolue en (%)		
Années	1987	2002	(-)	1987	2002	(-)	1987	2002	(-)
ETM1	10.51	10.31	-0.20	9.95	9.29	-0.66	9.48	10.53	1.04
ETM2	20.42	19.64	-0.77	17.39	17.27	-0.12	17.39	17.50	0.11
ETM3	36.51	36.13	-0.38	32.15	31.70	-0.45	32.38	32.31	-0.07
ETM4	47.51	46.79	-0.72	41.20	41.28	0.08	26.44	26.72	0.28
ETM5	54.87	53.89	-0.98	49.28	49.68	0.40	34.13	34.37	0.24
ETM7	53.71	53.03	-0.68	53.67	53.02	-0.66	52.87	52.95	0.07
Échantillon Sol nu									
ETM1	11.93	11.72	-0.20	10.04	10.85	0.81	13.22	13.50	0.28
ETM2	22.19	22.05	-0.14	19.19	19.39	0.20	22.79	23.45	0.66
ETM3	37.62	37.31	-0.31	32.15	32.77	0.62	36.78	36.26	-0.53
ETM4	48.06	48.35	0.29	42.18	42.37	0.19	45.01	45.10	0.09
ETM5	53.89	55.15	1.26	49.68	50.67	0.99	48.98	48.19	-0.79
ETM7	52.44	52.53	0.09	49.43	49.18	-0.25	43.04	43.17	0.12

Tableau 48 : Estimation de la réflectance absolue de deux échantillons (sable et sol nu) en utilisant le modèle de OLSSON H., (1994) et validation du modèle pour la zone d'étude.

¹ Un travail sur les corrections atmosphériques des images satellitaires a été communiqué dans le second Workshop de EARSeL Special Interest Group on REMOTE SENSING FOR DEVELOPING COUNTRIES Bonn, Germany 18-20 September 2002, ISBN : 2-908885-55-7.

6.2.3. Rééchantillonnage

Le rééchantillonnage des images spatiales a pour but de les ramener à une même résolution spatiale. Dans notre cas, les images MSS (résolution 57 m) ont été rééchantillonnées à la même résolution que celle des images TM et ETM+. Cette étape est utilisée afin de faciliter l'interprétation visuelle des images MSS et la détection des changements.

6.2.4. Correction géométrique

La correction géométrique consiste à rectifier géométriquement une image par rapport à l'autre de façon à ce qu'un élément au sol ait les mêmes coordonnées sur les deux images. Quatorze points d'appui ont été sélectionnés pour la rectification de chaque scène. En effet, toutes les images sont corrigées par rapport aux images de référence (scènes ETM+ de 2002). Ces images de référence ont été rectifiées par rapport aux cartes topographiques avec la projection cartographique UTM zone 30 Ellipsoïde de Clarke 1880. L'écart type moyen (RMS) obtenu à la fin du traitement est de l'ordre de 0.53.

6.2.5. Méthodes de détection de changements dynamiques de l'espace.

Une fois les images satellitaires corrigées géométriquement et radiométriquement, nous étions amenés à appliquer plusieurs approches qui sont basées sur l'utilisation des données multidiates (MSS de 1976, TM de 1987 et ETM+ de 2002) pour la détection des changements. Le principe de ces approches diffère d'une méthode à une autre.

6.2.5.1. Identification rapide et quantification de l'évolution significative de l'extension de l'ensablement entre 1972 et 2002.

L'analyse qualitative et quantitative de l'évolution rapide du paysage et plus particulièrement l'évolution de l'ensablement dans les communes s'avère intéressante dans la mesure où elle permet de dresser un bilan provisoire sur l'état actuel de la zone d'étude. A l'aide de cette analyse nous pouvons sensibiliser la population, les élus locaux ainsi que les décideurs sur l'ampleur du phénomène de l'érosion éolienne.

Avant d'entamer ce travail d'analyse dynamique rapide du milieu, nous avons rencontré quelques difficultés dans la détermination et la connaissance de l'état de référence du milieu

de la zone d'étude. En effet, il n'est pas possible de dresser un bilan sur l'état de dégradation du milieu et de l'ensablement si on ne se réfère pas à un état antérieur ou à des conditions initiales. Le seul moyen pour connaître l'état de référence est de faire une recherche sur les documents anciens et historiques. Toutefois, dans la plus part des cas ces documents n'existent pas. A ce stade les seuls documents de référence que nous avons pu acquérir datent des années cinquante, concernent les photos aériennes de l'IGN, la carte géologique et les cartes topographiques. Nous avons préféré travailler sur les cartes topographiques, car la carte géologique est établie à une échelle plus petite (1 : 500 000) que les cartes topographiques. Par contre, les photos aériennes nécessitent un travail colossal en vue de les exploiter. Dans un travail de thèse on est limité par le temps et on n'a pas tous les moyens pour traiter de milliers de photographies aériennes. Toutefois, quelques-unes ont été choisies pour vérification et validation des résultats.

Dès lors, les quatre cartes topographiques à l'échelle 1 : 200 000 ont été scannées² et géoréférencées dans un système international (**UTM zone 30, ellipsoïde Clarke 1880**) avant d'être intégrées dans le SIG. Ensuite nous avons procédé à la digitalisation des édifices de sable figurant sur les quatre cartes. Le fichier vectoriel ainsi obtenu a été à son tour croisé avec le fichier des limites administratives dans le but d'établir une quantification des superficies ensablées à l'intérieur de chaque commune.

Après avoir établi le fichier de référence des espaces ensablés, nous avons procédé à l'étude de dynamique éolienne en utilisant les images satellitaires récentes ETM+ de Landsat. Ces images ont subi plusieurs opérations de traitement d'images en vue de leur exploitation notamment :

- correction géométrique des images afin de les rendre superposables aux cartes topographiques déjà scannées;
- établissement d'une composition colorée (ETM+5, ETM+4 et ETM+1) et application d'un masque (limite administrative) pour ignorer les zones situées en dehors de ces limites administratives;
- création d'une image binaire où figure uniquement le thème sable; les autres thèmes ont été masqués pour éviter toute confusion entre ces derniers lors du traitement. Toutefois, cette technique est délicate dans la mesure où elle demande une certaine précision dans la

² Nous avons scanné ces cartes avec une résolution de 600 dpi qui est largement suffisante pour une échelle du 1 : 200 000 où la tolérance est entre 20 à 40 mètres.

définition de l'intervalle des valeurs extrêmes qui bornent le thème sable. Une erreur sur la définition de l'intervalle pouvait influencer le résultat sur la quantification des superficies ensablées. A cet égard, nous avons procédé à des vérifications sur les limites des zones ensablées en se basant sur quelques photographies aériennes. De plus, pour rendre le résultat du traitement assez acceptable, nous avons appliqué un filtre morphologique (dilatation) sur l'image binaire afin d'éliminer les pixels isolés et pour rendre les structures de l'élément sable plus homogènes;

- digitalisation directe sur l'écran de l'ordinateur des limites des zones ensablées;
- vectorisation et croisement du fichier avec les limites administratives;
- enfin, quantification des espaces ensablés pour chaque commune est établie à l'aide d'une requête spatiale effectuée sur le fichier via le langage SQL sur le logiciel MapInfo.

Le résultat de ces traitements est illustré dans le tableau 49. Cependant, d'après ce dernier, il résulte que dans les années cinquante, les espaces ensablés à l'intérieur de chaque commune ne dépassent guère les 6% de la surface totale communale. D'ailleurs, dans les communes de Djenien Bourezg, Kasdir, Mekmen Ben Amar, Mécheria et Tiout la superficie des espaces ensablés est quasiment nulle. La plus grande extension est localisée dans les communes de Naâma et d'El Biod avec un pourcentage qui varie respectivement de 2.42 à 5.77% de la surface totale communale. En 1957³ la surface totale ensablée représente un pourcentage de 1.38% par rapport à la surface totale de la wilaya.

Par contre, les images récentes de 2002 ont montré une évolution alarmante de l'extension du sable particulièrement dans les communes du nord-ouest (Ain Benkhelile, Mekmene Ben Amar, El Biod, Naâma, Kasdir et Mécheria). La commune de Mekmene Ben Amar est la plus touchée par l'érosion éolienne où la surface des espaces ensablés est de l'ordre de 78.78% de la surface totale de la commune. Pour l'ensemble de la région la surface des zones ensablées est passée de 1.38% en 1957 à 42.94% en 2002; ce qui correspond à une extension de 27548.20 ha par an. Ce chiffre est énorme et il montre l'ampleur du phénomène.

Cette analyse nous a permis de voir l'étendue de la superficie ensablée (1280762.01 hectares) ce qui correspond presque à la moitié de la superficie de la Belgique-, et surtout, la vitesse de propagation de l'ensablement soit 27548.20 ha par an. Toutefois, pour cette méthode nous

³ Année de prise de vue des photographies aériennes.

avons eu des difficultés pour définir les limites des espaces ensablés. A cet effet, plusieurs essais ont été réalisés afin de mieux mettre en évidence le sable à l'intérieur de la wilaya.

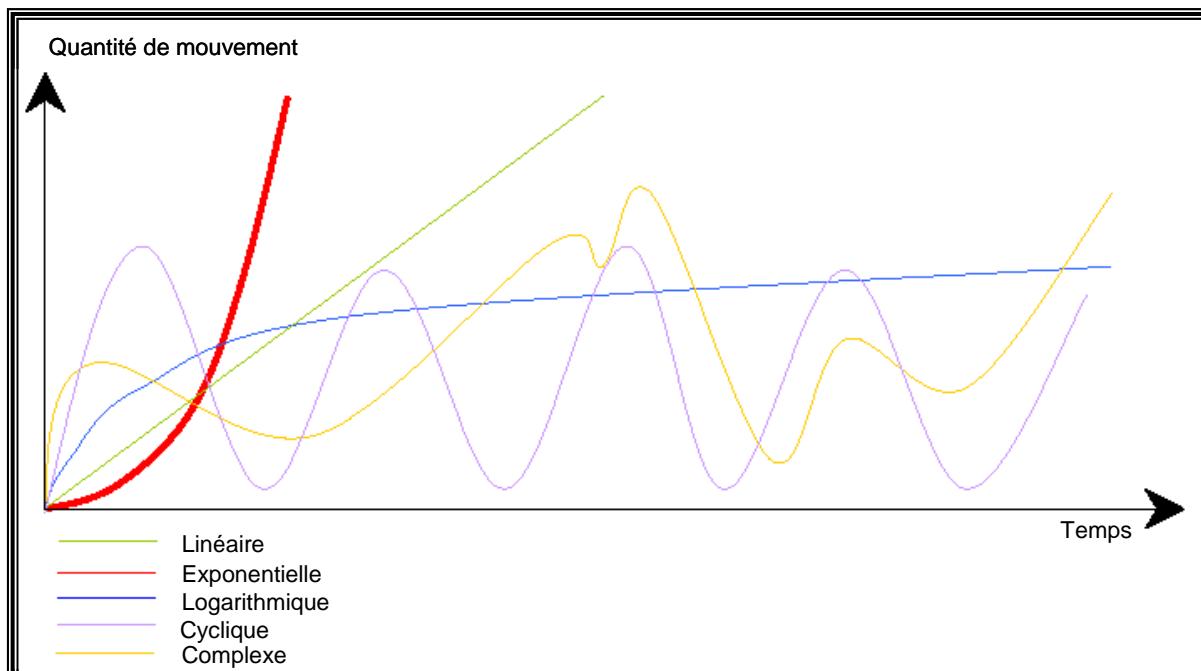
Communes	Surface communale totale en (ha)	Période de 2002		Période de 1957	
		Surface ensablée en (ha)	Surface ensablée en (%)	Surface ensablée en (ha)	Surface ensablée en (%)
Ain Ben khelile	383248	252977.04	66.01	6606	1.72
Ainsefra	103209	37361.62	36.20	1955	1.89
Asla	208167	14768.44	7.09	3005	1.44
Djenien-bourezg	118265	2543.13	2.15	0.00	0.00
El Biad	371625	133300.00	35.87	8983	2.42
Kasdir	645110	275254	42.67	0.00	0.00
Mécheria	75859,6	44806.15	59.06	0.00	0.00
Mekmen Ben Amar	326264	257025.75	78.78	0.00	0.00
Moghrar	184226	6878.06	3.73	1774.43	0.96
Naâma	251802	154251.43	61.26	14525.48	5.77
Sfissifa	235058	84943.39	36.14	4244.05	1.81
Tiout	79716	16653	20.89	0.00	0.00
Total	2982549.6	1280762.01	42.94	41092.96	1.38

Tableau 49 : Évolution des espaces ensablés pour la période 1957-2002 dans la région de Naâma.

6.2.5.1.1. TENDANCE DE L'ÉVOLUTION RAPIDE

La quantification de la dynamique des espaces ensablés réalisée précédemment a permis de dresser un bilan sur l'état actuel et récent de la surface du sol. Toutefois, cette quantification doit être replacée dans un contexte temporel. Selon POUCHIN T., (2001) l'analyse dynamique s'avère insuffisante afin de mettre en lumière la vision cinématique des phénomènes et ainsi de connaître leurs tendances d'évolution. Cependant, à l'aide d'une série de courbes on peut appréhender la tendance de l'ensablement à l'intérieur de chaque limite administrative. Cela nous permettra de connaître la date du déclenchement du phénomène ainsi que sa rapidité de propagation spatiale. Ces informations sont très utiles dans la mesure où elles permettront, en les combinant avec d'autres informations (pluviométrie, période de

sécheresse, extension de la surface agricole utile, les aménagements déjà réalisés, évolution du cheptel, etc.), de bien comprendre les causes de l'extension du phénomène à l'échelle spatio-temporelle. De même, les formes géométriques des courbes de tendance caractérisent la dynamique du phénomène pour chaque espace communal, par exemple, une tendance linéaire caractérise un mouvement dynamique régulier de l'érosion éolienne (progression de l'ensablement au fur et à mesure que la végétation régresse), par contre une tendance exponentielle traduit une progression du phénomène qui s'amplifie avec le temps (Cf. Figure 60).



Source : (POUCHIN T., 2001)

Figure 60 : Courbes de tendance d'évolution des changements paysagers.

Pour l'ensemble de la wilaya et pour chaque commune nous avons estimé les superficies des espaces ensablés grâce aux traitements effectués sur les images multi-dates (1972, 1987 et 2002) anciennes et récentes de MSS, TM et ETM+ de Landsat ainsi que sur les cartes topographiques de 1957. Il est à noter que l'évaluation des espaces ensablés est réalisée d'une façon automatique grâce aux systèmes d'information géographique sur toutes les années de la série chronologique (Cf. Tableau 50).

Communes	Surface communale totale en (ha)	Surface ensablée en (ha) 1957	Surface ensablée en (ha) 1972	Surface ensablée en (ha) 1987	Surface ensablée en (ha) 2002
Ain Ben khelil	383248	6606	37144	161307.9	252977.04
Ainsefra	103209	1955	9429	21246.18	37361.62
Asla	208167	3005	6267.79	8072	14768.44
Djenien Bourezg	118265	0.00	0.00	0.00	2543.13
El Biod	371625	8983	76904	102986	133300.00
Kasdir	645110	0.00	2693.55	64336.4	275254
Mécheria	75859,6	0.00	371.22	11125.4	44806.15
Mekmen Ben Amar	326264	0.00	27084.20	165747.6	257025.75
Moghrar	184226	1774.43	2881	3260.25	6878.06
Naâma	251802	14525.48	25757	143511	154251.13
Sfissifa	235058	4244.05	6302.2	31161	84943.39
Tiout	79716	0.00	5924.61	8660.12	16653
Total (ha)	2982549.6	41092.36	200758.57	721413.59	1280762.01
Total en (%)	100	1.38	6.73	24.19	42.94

Tableau 50 : Évolution de l'ensablement dans la wilaya de Naâma pendant les périodes de 1957, 1972, 1987 et 2002.

Dès lors, nous avons établi des graphiques afin d'avoir une vision cinématique du phénomène de l'ensablement pour chaque commune. En effet, il apparaît clairement sur la figure 61 que l'évolution des espaces ensablés présente une tendance croissante et cela depuis 1972. De plus, l'évolution la plus importante concerne toujours les régions du Nord-Ouest de notre zone d'étude. Mais ce qui est important à voir c'est la date du début du phénomène par rapport à la date de référence de 1957. Ainsi, nous avons constaté que dans les années 1970 le changement du phénomène était presque imperceptible sur les images MSS de Landsat de 1972, à part les anciennes dunes qui figuraient déjà dans les documents de référence (cartes topographiques et la carte géologique au 1 : 500 000) ainsi que les deux communes se trouvant au nord de la wilaya (El Biod et Mekmene Ben Amar). A cet date l'ensablement concernait 6.73% de la superficie totale de la wilaya. Toutefois, avec le peu de données images que nous possédons, nous ne pouvons pas déterminer avec une meilleure précision la vraie date de déclenchement du phénomène. Cela demanderait l'utilisation de plusieurs

images au moins une image par an, ce qui impossible pour notre étude. Donc, avec les moyens dont on dispose nous contenterons de ces trois scènes.

Sur les images TM Landsat de 1987 on s'aperçoit que le phénomène devient plus perceptible et alarmant. A cette période l'ensablement a touché 24% de la superficie totale du paysage concernant la wilaya soit 721413.59 hectares. Pour une période de 15 ans (1972-1987) le phénomène a progressé avec une vitesse de 34710.33 hectares par an. Cette progression est 3 fois supérieure à celle de la première période (1957-1972) où on a enregistré une vitesse de progression de l'ordre de 10644.37 hectares par an.

La dynamique de la zone et l'augmentation des surfaces ensablées à l'intérieur de la wilaya apparaissent clairement sur les images récentes ETM+ de Landsat. En effet, le sable et les édifices dunaires sont omniprésents dans la nomenclature qui compose le paysage steppique. Auparavant, c'est l'alfa qui dominait le paysage steppique. Dans tous les documents que nous avons consulté l'alfa était présent même au début des années 1980. Toutefois, avec la progression du sable l'alfa disparaît et il est remplacé par d'autres taxonomies qui supportent les conditions arides du milieu et le sable. En 2002 nous avons enregistré une progression de l'ordre de 20% par rapport à la seconde période. Donc, ces 45 dernières années le sable gagne du terrain et chaque année colonise 27548 hectares.

Les courbes de tendance de la figure 61 montrent qu'il s'agit bien d'un phénomène qui s'amplifie avec le temps. D'après ces courbes de tendance le phénomène est beaucoup plus accentué dans les communes du nord, du nord-est et du nord-ouest. Les communes du sud affichent une allure de progression linéaire et moins importante par rapport aux autres communes. Ceci est expliqué du fait que les communes du sud sont protégées par les massifs de l'Atlas Saharien. Toutefois, la présence de quelques ouvertures entre ces massifs montagneux n'a pas épargné quelques communes du sud, comme c'est le cas de Ainsefra et de Sfissifa. De plus, les oueds (oued Sfissifa, oued Breïdj, oued Namous et oued Rhouïba) contribuent d'une manière directe ou indirecte à l'alimentation en sable des zones se trouvant plus au sud lors d'une averse torrentielle.

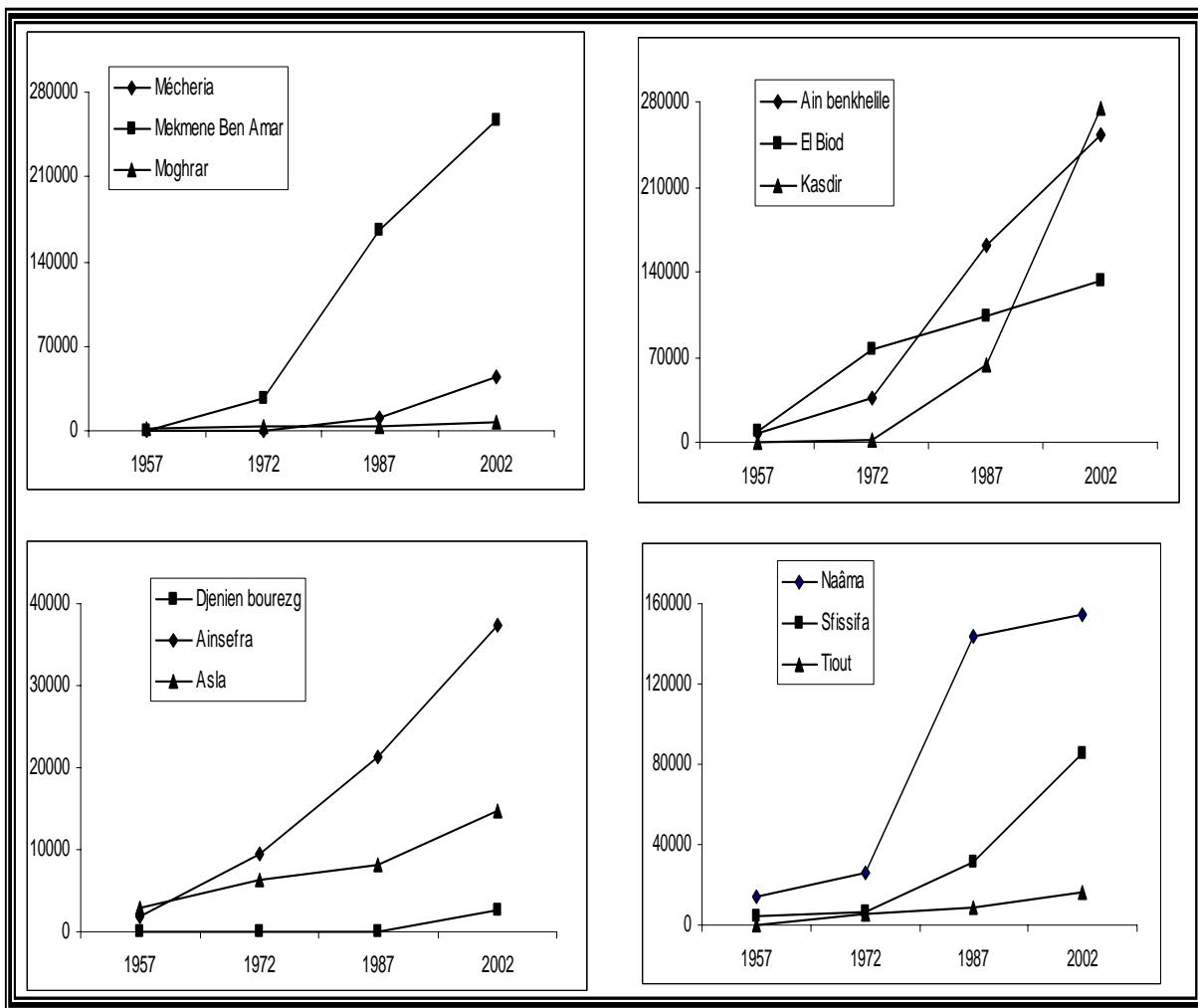


Figure 61 : Courbes de tendances d'évolution de l'ensablement dans la wilaya de Naâma pendant les périodes de 1957, 1972, 1987 et 2002.

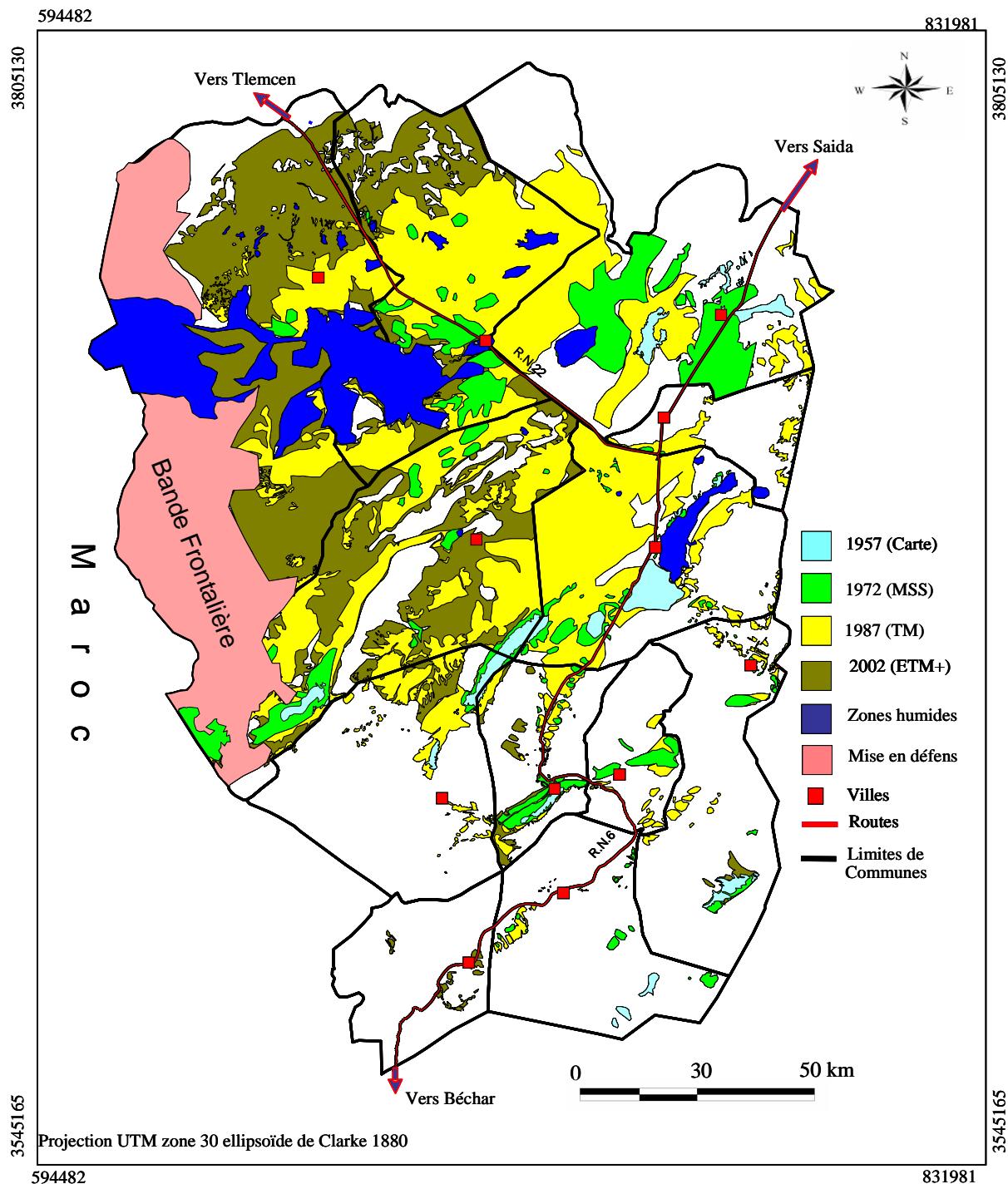


Figure 62 : Évolution de l'ensablement dans la région de Naâma durant la période de 1957 à 2002.

6.2.5.2. Technique de la composition colorée multidayte

Afin de dégager les grandes changements ayant affecté la zone d'étude de 1987 à 2002, nous avons été amené à utiliser la technique de la composition colorée multidayte. Cette technique est facile et plus rapide à mettre en œuvre, elle consiste en la superposition des canaux de date différente. Sur cette composition colorée la couleur des pixels inchangés sera codée en jaune pour les objets ayant des réflectances fortes et moyennes (bâti, sol nu, sable, etc.), et en noir pour les réflectances faibles (eau, boisement). Quant aux pixels qui ne présentaient pas les mêmes valeurs de réflectance entre les deux dates, ils seront codés en couleur rouge et verte plus au moins saturée selon la grandeur et l'ampleur du changement.

Vu l'étendue et la grandeur de la zone d'étude, nous avons préféré montrer des zones pilote qui ont connu des changements réels du paysage durant les quinze dernières années. Il est difficile de monter tous les changements à l'intérieur de la zone à l'échelle d'une feuille de papier A4.

Il faut rester prudent vis-à-vis de l'interprétation des images de compositions colorées en fausse couleur. En effet, d'autres considérations (date de prise de vue, erreur de géo-référencement, défaillance d'un instrument de prise de vue, condition de prise de vue, rotation de culture) peuvent engendrer des variations de réponse spectrale considérables qui peuvent fausser le résultat des changements. A cet effet, l'utilisation des images à très haute résolution spatiale est recommandée. Avec ce type d'image, en plus de la couleur, d'autres paramètres sont pris en compte notamment : la taille, la texture, la position et la forme de l'objet afin de définir avec précision la catégorie de changement (POUCHIN T., 2001).

La figure 63 est issue de la composition colorée des canaux rouges des images de 1987 et 2002. Le choix du canal rouge (ETM+3 et TM3) a été dicté du fait que dans ce dernier, la végétation est représentée par de faibles valeurs radiométriques et les zones minéralisées sont caractérisées par de fortes valeurs. Donc, ce fort contraste entre la végétation et les sols nus favorise sans doute la mise en évidence des zones de changement affectées par la présence humaine. La figure 64 est réalisée de la même façon que la précédente sauf qu'elle présente une autre zone à l'intérieur de la wilaya de Naâma. Cependant, l'interprétation visuelle des deux figures précédentes nous a permis de constater que la région a connu des mutations profondes ces dernières années. Ces changements sont mis en évidence par la modification radiométrique des pixels qui ont subi un changement à leur surface.

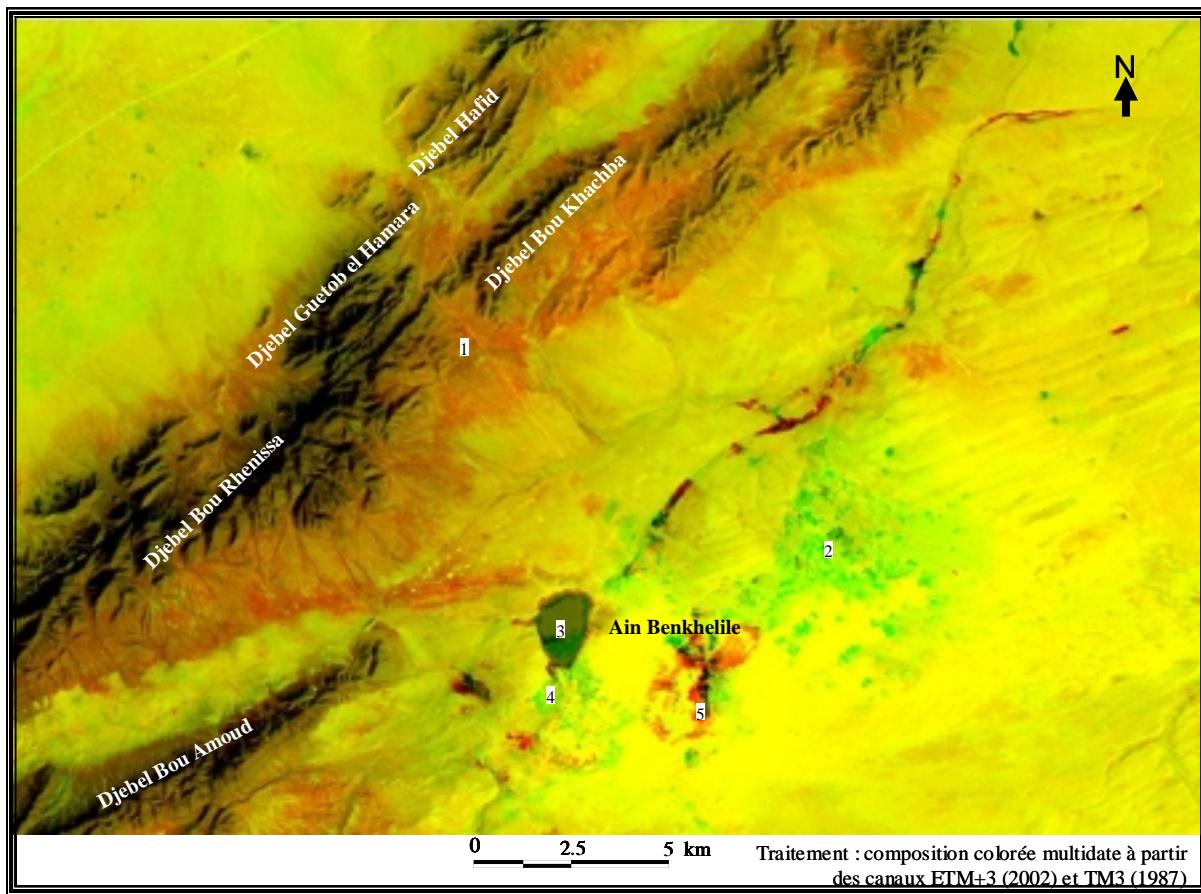
La zone de Ain benkhile sur la figure 63 montre l'étendue de terres mises en valeur (2) après 1987 qui apparaissent en couleur verte. Pourtant cette zone connaît un risque d'ensablement depuis 1987. Sur cette composition colorée apparaît clairement la progression des dunes de l'ouest (entre djebel Bou Amoud et djebel Bou Rhenissa) et du nord-ouest (entre djebel Hafid, djebel Bou Khachba et djebel Guetob el Hamara). A cette date les responsables locaux auraient dû régler et endiguer le problème d'ensablement avant d'entamer l'exécution de l'application de la loi 83/18 relative à l'APFA. La couleur rouge qui apparaît sur l'image montre bien la régression de la végétation et la progression de la réflectance des surfaces minéralisées. Donc, la disparition de la végétation depuis 1987 a favorisé la progression du sable vers les contrées de la commune de Ain benkhile.

Après 1987 les glacis à croûte calcaire et encroûtement à *stipa tenacissima* se trouvant au nord de Ain Benkhelile apparaissent en rouge plus au moins saturé (1). Cette saturation révèle l'ampleur de la dégradation de la végétation steppique voire sa disparition. On peu noter entre 1987 et 2002 que les terres mises en valeur (2) ont fortement augmenté par rapport aux zones de mise en défens (4) pour l'aménagement et la protection du site de Oglat ed daïra⁴ (3). D'ailleurs ce site bénéficie d'un plan de gestion en vue de son classement en réserve naturelle.

La bande verte (5) qui protège le village de Ain benkhile a connu aussi une régression entre 1987 et 2002 malgré les travaux de restauration (reboisement) lancés par la direction des forêts. Cette régression est surtout liée à l'influence humaine (défrichement et arrachage des ligneux) ainsi qu'à l'avancée du sable.

Il importe de noter que d'après l'interprétation de l'image diachronique il ressort que les travaux de restauration des sites ne sont réalisés qu'au niveau de zones très restreintes. Or vu les dimensions spatiales des édifices dunaires existants dans la wilaya, ces travaux de restauration et de reboisement constituent une menace au village de Ain benkhile. A court terme les reboisements à base de *Tamarix gallica* vont stopper l'avancée du sable mais à long terme ils se transforment en véritables pièges de sable et contribuent à la formation de grandes dunes. Ce phénomène est déjà constaté pour le barrage vert qui longe les deux cotés de la route nationale entre Mécheria et Ainsefra. Nous avons déjà parlé de ce phénomène dans le troisième chapitre.

⁴ Le site de Oglat Edaïra a bénéficié d'un projet (G35/FEM) financé par le PNUD (**BOUZENOUNE A., 1999**).



La figure 64 concerne une zone située entre la commune de Naâma et la commune de Ainsefra où nous avons remarqué la progression des zones ensablées et plus particulièrement le cordon dunaire de Magroune en (1). L'apparition de ces zones en rouge signifie la progression des surfaces minéralisées (sable). La déstabilisation du cordon constitue une menace réelle pour les communes se trouvant dans l'axe de déplacement potentiel du sable. D'ailleurs, les zones de culture situées au bord de la route en 1987 ont disparu et sont complètement ensablées en 2002 en (2). De plus, la ligne rouge le long de la route nationale (RN6) en (3) montre l'ensablement du barrage vert après 1987. Sur les images de 1987 ce dernier apparaît en bon état.

La zone de glacis près de djebel Souiga a connu le même problème de dégradation de la végétation observé dans les zones de glacis se trouvant au nord de Ain Benkhile. La couleur jaune illustre la persistance des zones pendant la période de 1987 à 2002.

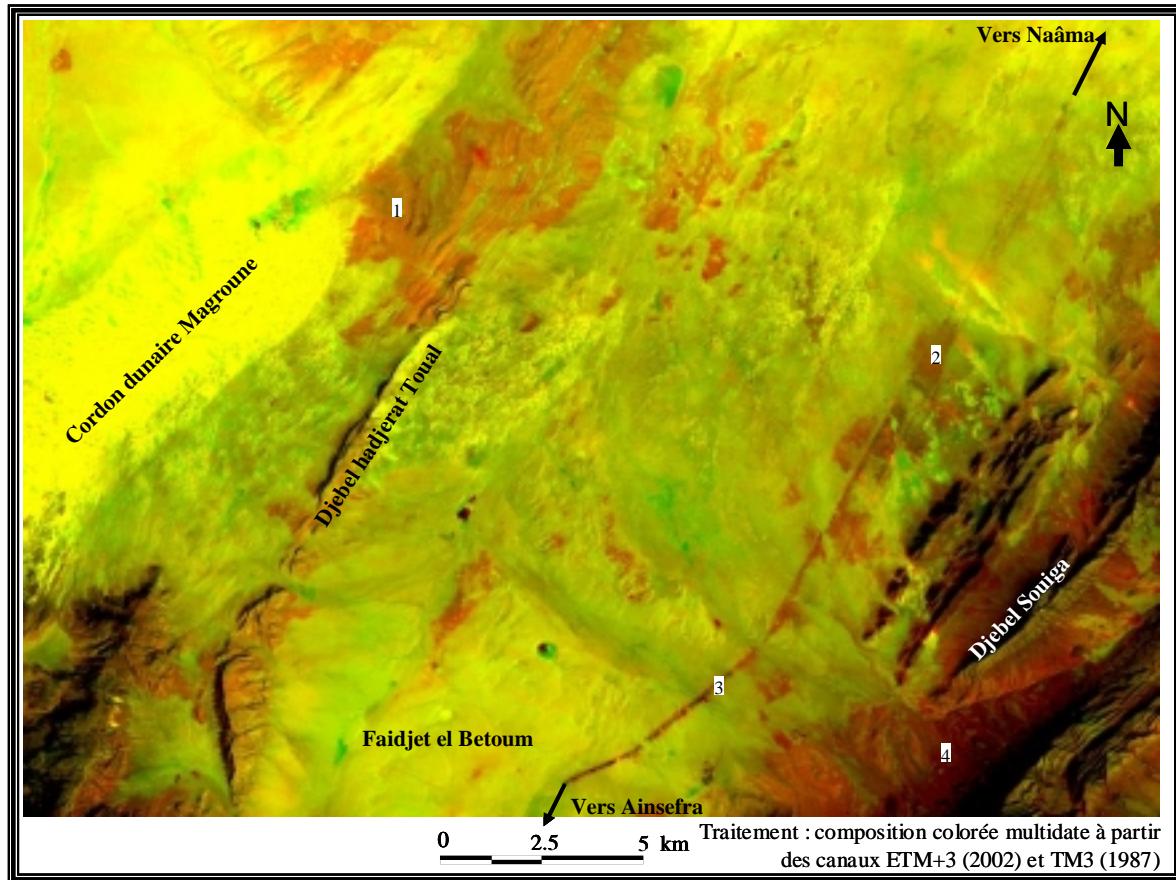


Figure 64 : La zone de Faidjet el Betoum-Composition colorée diachronique pour la période de 1987 et 2002.

6.2.5.3. Techniques de l'indice dynamique de couverture des sols

L'utilisation du principe de la composition colorée diachronique basé sur le canal rouge (ETM+3 et TM3) est un bon moyen pour faire ressortir les différentes mutations de l'espace steppique à l'échelle globale. Toutefois, ces changements nécessitent une interprétation visuelle basée sur le principe du modèle de couleur additive ou soustractive. Donc, un utilisateur non expérimenté dans le domaine aura des difficultés pour comprendre et interpréter la composée diachronique. A cet effet, nous avons préféré utiliser l'indice dynamique de couverture des sols (IDCS) qui permet d'appréhender les alternances entre le sol et la végétation. Il est à noter que nous nous sommes basé sur le travail de (POUCHIN A. 2001) pour l'utilisation de cet indice dynamique de couverture des sols. En premier lieu nous avons testé l'indice de végétation, l'indice de brillance, l'analyse en composante principale diachronique et l'indice de cuirasse pour déterminer les vrais changements. Malheureusement tous ces indices ont donné des résultats décevants voire difficile à interpréter. L'utilisation de l'indice de végétation dans les zones arides n'est pas recommandée, car la réponse spectrale

de la végétation est fortement influencée par la réponse spectrale des sols nus et plus particulièrement le sable. Ceci rend difficile le suivi dans le temps du phénomène de changement dans les régions où le recouvrement de la végétation est faible par rapport au sol nu. Toutefois, son utilisation donne de bons résultats lorsqu'il s'agit d'une zone où la végétation présente un bon recouvrement. Nous tenons à signaler que nous avons utilisé l'indice de végétation et l'indice de brillance dans un projet international (SIG-STEPPE) sur la région d'Aflou⁵. Les résultats étaient satisfaisants et les zones de changement ont été facilement identifiées.

L'indice dynamique de couverture des sols est obtenu à partir d'une soustraction faite respectivement sur les deux canaux ETM+3 et TM3 de Landsat pour la période de 1987 à 2002. Dans cet indice, la progression des espaces minéralisés est représentée par les fortes valeurs, par contre la progression des espaces végétalisés est codée par les faibles valeurs. De plus, dans le canal rouge le phénomène de variation de la végétation pendant les saisons demeure stable.

Pour la visualisation de l'indice dynamique de couverture des sols nous avons appliqué une échelle de couleur qui s'étale du niveau sombre jusqu'au rouge saturé en passant respectivement par le bleu, le cyan, le vert et le jaune. Ainsi, la progression et la régénération de la végétation occupent les faibles valeurs de IDCS et prend la couleur noire et violette. Cependant, l'absence totale de la végétation (progression minérale) se manifeste par des nuances de couleurs de IDCS du rouge saturé au jaune vert. Quant aux zones inchangées elles apparaissent en bleu et en cyan. Sur la base de cette palette de couleur nous avons réalisé un seuillage sur IDCS. Les valeurs radiométriques ont été regroupées et codées selon trois classes différentes (Cf. Tableau 51) :

Classe de couleur	Type de classe	classe de valeur	Code
du violet au noir	Progression végétale	[-0.1510-0.0837]	1
du cyan au bleu	Pas de changement	[0.0838-0.1557]	2
du rouge saturé au jaune vert	Progression minérale	[0.1558-0.5809]	3

Tableau 51 : Classification et codage des valeurs radiométriques de l'image diachronique de IDCS entre 1987 et 2002.

⁵ La zone d'Aflou se situe au nord de la wilaya de Laghouat. Cette dernière se trouve à l'est de la wilaya de Naâma.

La classification de l'IDCS en trois classes a permis de faire un lien entre l'état de la végétation et le type de changement qui a affecté la zone d'étude de 1987 à 2002. La progression minérale est liée à une dégradation de l'état de la végétation et à la progression de l'ensablement. Par contre, l'augmentation de la végétation est un signe de variation progressive de la végétation. La radiométrie inchangée correspond aux zones relativement stables.

Sur la figure 65 la zone de mise en valeur de Ain Benkhile apparaît comme progression végétale importante à partir de 1987 (loi de l'APFA de 1984). Cependant, les zones du nord-ouest et du sud-ouest connaissent une progression minérale importante qui a touché les zones de glacis encroûtées et à encroûtement calcaires des djebels Hafid, Bou Khachba et Guetob el Hamara. Quant à la zone du sud-ouest la progression minérale est liée certainement à l'instabilité du cordon dunaire situé dans le flanc nord-ouest des djebels Gaaloul, Er reha, Arar, Kerrouch et Bou Amoud. Nous avons vu dans le quatrième chapitre que ce cordon dunaire est alimenté par la grande source d'alimentation en sable se trouvant dans le chott Tigri.

Les changements progressifs des zones minéralisées sont dominants sur cette figure par rapport aux changements progressifs des zones végétalisées. Ces dernières sont dues aux pratiques maraîchères de l'agriculture et à la présence de la végétation le long des oueds, comme c'est le cas des zones le long de l'oued Timedmaket (en 3 et 4 sur la figure 65). Le site (2) situé au sud du lac Ogalt ed Daïra correspond aux travaux de reboisement à base de Tamarix gallica pour protéger la zone humide du lac. De même la zone (5) concerne le reboisement sur le flanc sud de djebel Antar pour la protection des zones situées en aval contre l'érosion hydrique. Ces travaux de reboisement, qui rentrent dans le cadre de la lutte contre la désertification, sont réalisés par la direction des forêts. Enfin la progression végétale en (6) est due à la présence de la zone humide de Oglat en Nadja. Hormis ces zones de progression végétale, on constate l'absence totale des espèces herbacées et ligneuses.

La figure 66 présente les changements de l'état de surface dans la zone de Faidjet el Betoum se trouvant au sud-est de la zone de Ain Benkhile. Par rapport à la zone précédente l'interprétation de cette zone est assez délicate. A l'intérieur de celle-ci les zones humides sont classées comme progression végétale. Effectivement, ces zones humides sont représentées par des faibles valeurs dans le canal rouge de la même façon que la végétation. Dès lors, si l'une des deux scènes multidates (1987-2002) est prise durant une année humide,

l'image de changements peut présenter des sites en progression végétale, mais en réalité ceux-ci n'ont aucun lien avec la remontée biologique de la végétation naturelle ou des zones de cultures sèches ou irriguées. C'est le cas des sites (1, 2 et 3 en figure 66) qui sont classés comme zones en amélioration à partir de l'année 1987. Mais en réalité ces zones correspondent à des zones de dépression (Haoud ed Derba, Haoud cherkat) et d'épandage des oueds. La progression du cordon dunaire El Magroune (en 4 sur la figure 66) à partir de 1987 est bien visible sur l'image. Cette progression suit une direction sud-ouest nord-est.

Face à cette situation on a été obligé de faire un travail d'investigation sur le terrain ainsi qu'un travail de photos-interprétation effectué sur les deux compositions colorées des deux dates afin de surmonter les difficultés.

La progression du couvert végétal dans les zones 5 et 6 sur la figure 66 illustre la remontée biologique de la végétation dans les zones montagneuses. Cette progression concerne les zones de djebel Aissa (6) et de djebel Morhad (5) de la commune de Ainsefra. Celles-ci ont bénéficié de travaux de réhabilitation et de réalisation des bandes vertes plus un renforcement des structures forestières. En effet, djebel Aissa est classé en Parc National depuis février 1992 (BOUZENOUNE A., 1999). Toutefois, les zones de glaciis (en 7 et 8) connaissent une dégradation continue et sévère par l'essouchemement et l'arrachage de la végétation steppique, et l'augmentation de la charge pastorale dans ces endroits proches de la route nationale (RN6).

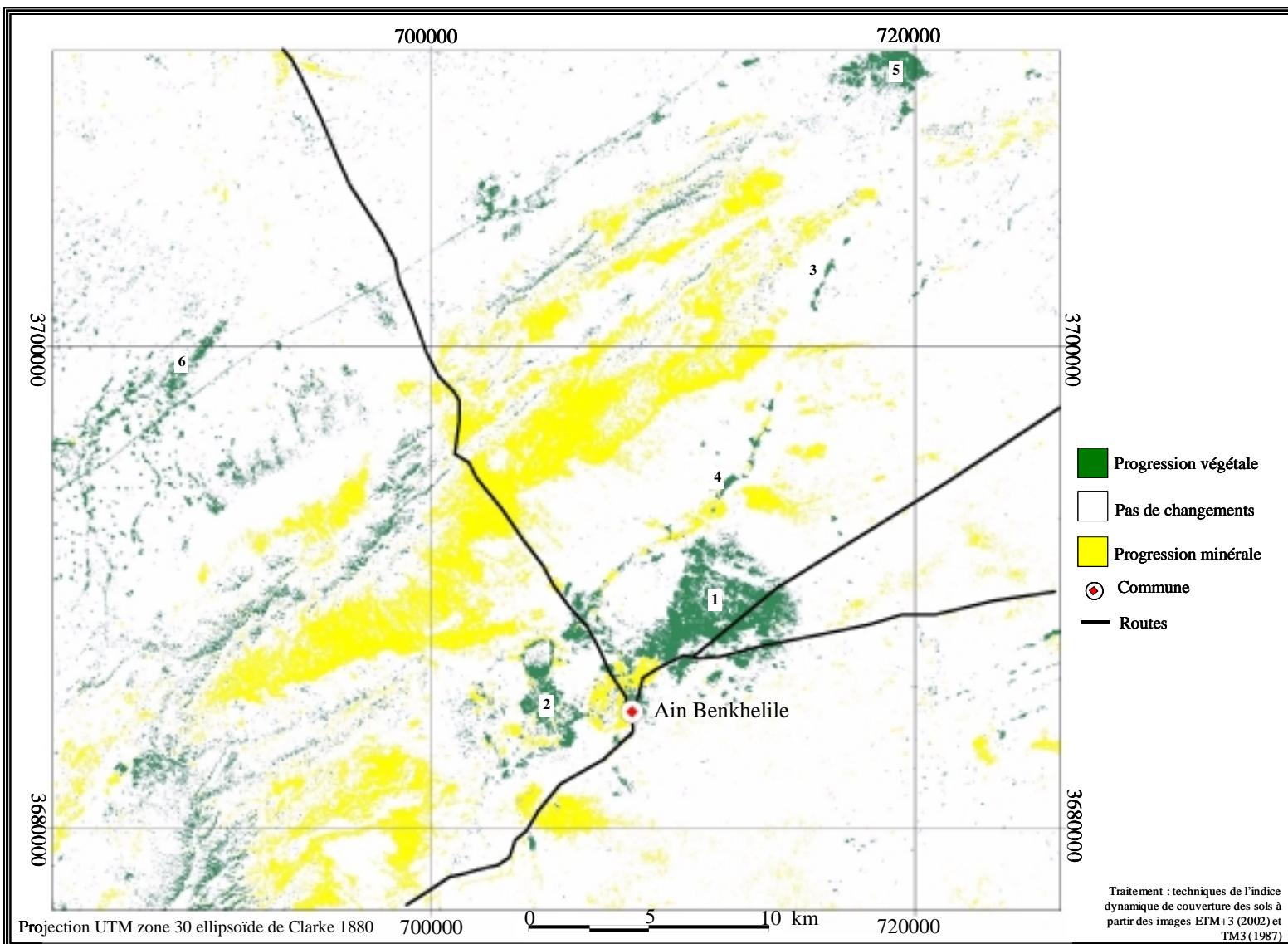


Figure 65 : Carte des changements entre 1987 et 2002 à Ain Benkhelile.

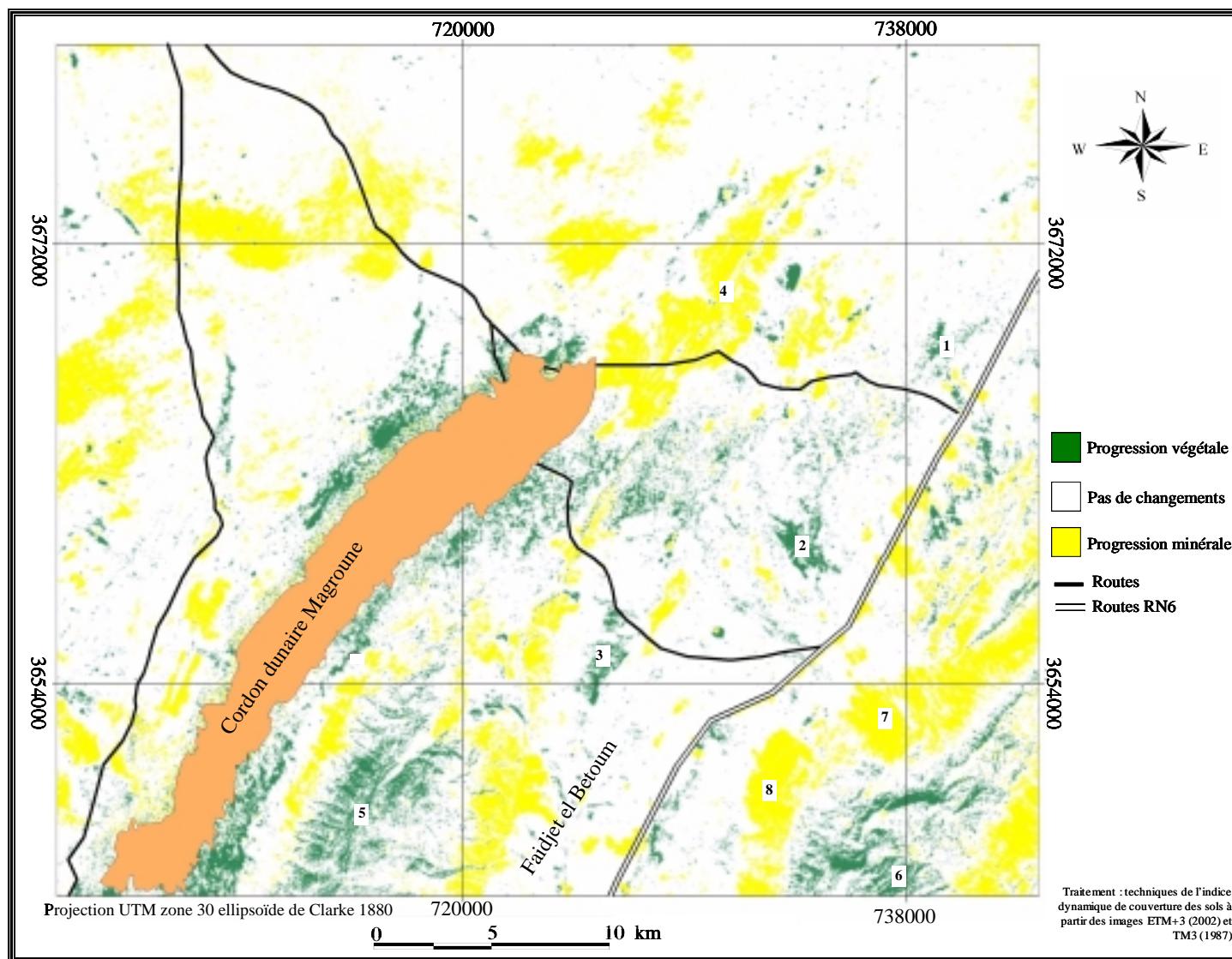


Figure 66 : Carte des changements entre 1987 et 2002 dans la localité de Faidjet el Betoum.

6.2.6. Interprétation des résultats

L'utilisation des données de télédétection au travers de l'indice dynamique de couverture des sols et de la composition colorée diachronique nous a permis de mettre en évidence les différents changements qui ont eu lieu de 1987 à 2002. Ces changements concernant les mutations des unités paysagères en zone steppique ont nécessité de tester plusieurs indices de changement (indice de végétation, indice de brillance, indice de curasse et l'analyse en composante en principale) afin de minimiser les erreurs sur l'appréciation des résultats sur les changements. Il est important de savoir qu'on télédétection le résultat de changement dynamique est influencé par les variations conjoncturelles (saison, conditions météorologiques). D'où la nécessité d'appliquer les corrections radiométriques et atmosphériques sur les images. Dans le cadre de cette étude, l'accent a été mis sur le traitement de données de télédétection diachronique pour le suivi et l'évolution de l'ensablement en un milieu aride concernant la partie sud-ouest des hautes plaines oranaises. La différence effectuée sur les deux canaux rouges des images pendant la période de 1987 à 2002 a permis d'obtenir la carte des changements. Le résultat de la différence des deux canaux est une image des changements survenus dans la zone d'étude. Les valeurs de l'histogramme de cette image ont été regroupées en trois classes suivant le types de changement (Cf. Tableau 52).

L'analyse de la carte des changements pour toute la zone a montré l'impact de la progression du sable à l'intérieur des zones de la wilaya de Naâma (Cf. Figure 67). Toutefois, cela n'a pas empêché l'existence de certaines zones en amélioration (remontée biologique de la végétation) notamment les zones de montagnes et les zones ayant connu des travaux de restauration et de reboisement. D'après l'interprétation de la carte des changements (1987-2002) nous avons noté que les mutations les plus probantes dans l'état de surface affectent essentiellement la végétation steppique et les accumulations sableuses. En effet, en 1987 le couvert végétal montre une certaine gradation du nord au sud et d'ouest en est.

Type de changement	Superficie en (ha)	Superficie en (%)
Progression végétale	287129.89	9.63
Pas de changement	2249365.79	75.43
Progression minérale	445627.48	14.94

Tableau 52 : Superficies des différents types de changement pour la période 1987 et 2002.

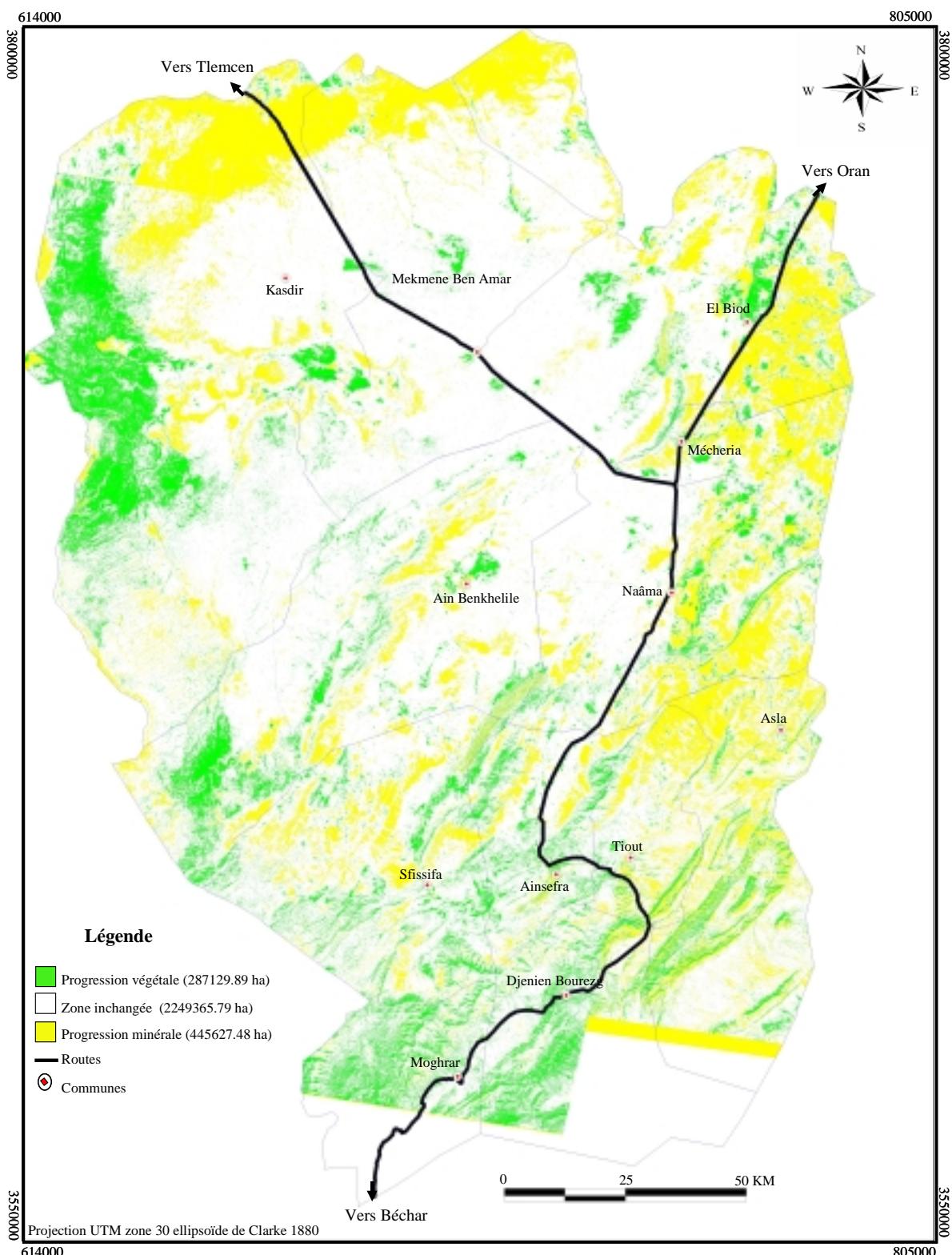


Figure 67 : Carte des changements de la wilaya de Naâma pour la période de 1987 à 2002.

**QUATRIÈME PARTIE : MODÉLISATION DES DONNÉES ET CONCEPTION DU
PROTOTYPE SIG POUR L'ÉTABLISSEMENT DE LA
CARTE DE SENSIBILITÉ À L'ÉROSION ÉOLIENNE
DES ESPACES STEPPIQUES**

**CHAPITRE VII : CONCEPTION DE LA BASE DE DONNÉES STEPPIQUES DE LA
PLAINE SUD ORANAISE**

7.1. BASE DE DONNÉES GEOGRAPHIQUES DE LA ZONE STEPPIQUE

Les bases de données ont aujourd'hui pris une place essentielle dans les systèmes informatiques, tant du point de vue pratique que théorique. Ainsi, la plupart des systèmes, y compris les micros-systèmes d'informatique individuelle, offrent aujourd'hui un système de création de base de données (S.G.B.D). Une base de données peut être définie comme étant un ensemble structuré, exhaustif, et non redondant de données enregistrées sur des supports accessibles par ordinateur pour satisfaire simultanément plusieurs utilisateurs de façon sélective et en temps opportun (DELOBEL ET ADIBA, 1982); ou bien comme une collection informatique de données opérationnelles stockées qui servent les besoins de multiples utilisateurs dans un ou plusieurs organismes (TEOREY et FRY, 1982).

Selon les deux définitions citées ci-dessus, une base de données est caractérisée par sa structure qui permet à la fois l'enregistrement et l'accès aux données correspondant à des faits ou à des événements se rapportant à un organisme ou à un phénomène. Elle présente une masse d'informations brutes ou traitées permettant d'alimenter un système, leur synthèse apportant des connaissances plus exploitables.

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

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

Compte tenu de la quantité appréciable d'informations que nous avons à gérer d'une part, et des problèmes de protection de l'environnement contre le phénomène de l'érosion éolienne d'autre part, il est intéressant de développer une base de données à référence spatiale. Cette dernière peut conduire à la mise en œuvre des moyens permettant, de sensibiliser la

population aux problèmes de l'érosion éolienne et d'assurer une harmonisation et un développement durable.

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

- meilleure communication entre les différents utilisateurs potentiels;
- meilleure cohérence entre l'ensemble des données de la base;
- pérennité des données garantie;
- mise à jour des données.

La mise en place de la base de données est une tâche complexe pour laquelle différentes méthodes peuvent être élaborées (MERISE, Information Engineering, Meger, UML,...). Ces méthodes proposent un découpage du projet en plusieurs étapes allant du général au particulier (approche systémique). La méthode Merise sur laquelle se base notre étude divise le travail en 7 étapes (Cf. Figure 68) :

Vu la complexité du domaine environnemental, nous nous sommes orienté vers un système multibase. Ce système est constitué par plusieurs bases de données indépendantes les unes des autres, ce qui permet de ne mettre à jour qu'une seule base à la fois. Les couches d'informations sont dans des bases de données différentes, mais sont gérées par le même système d'information géographique.

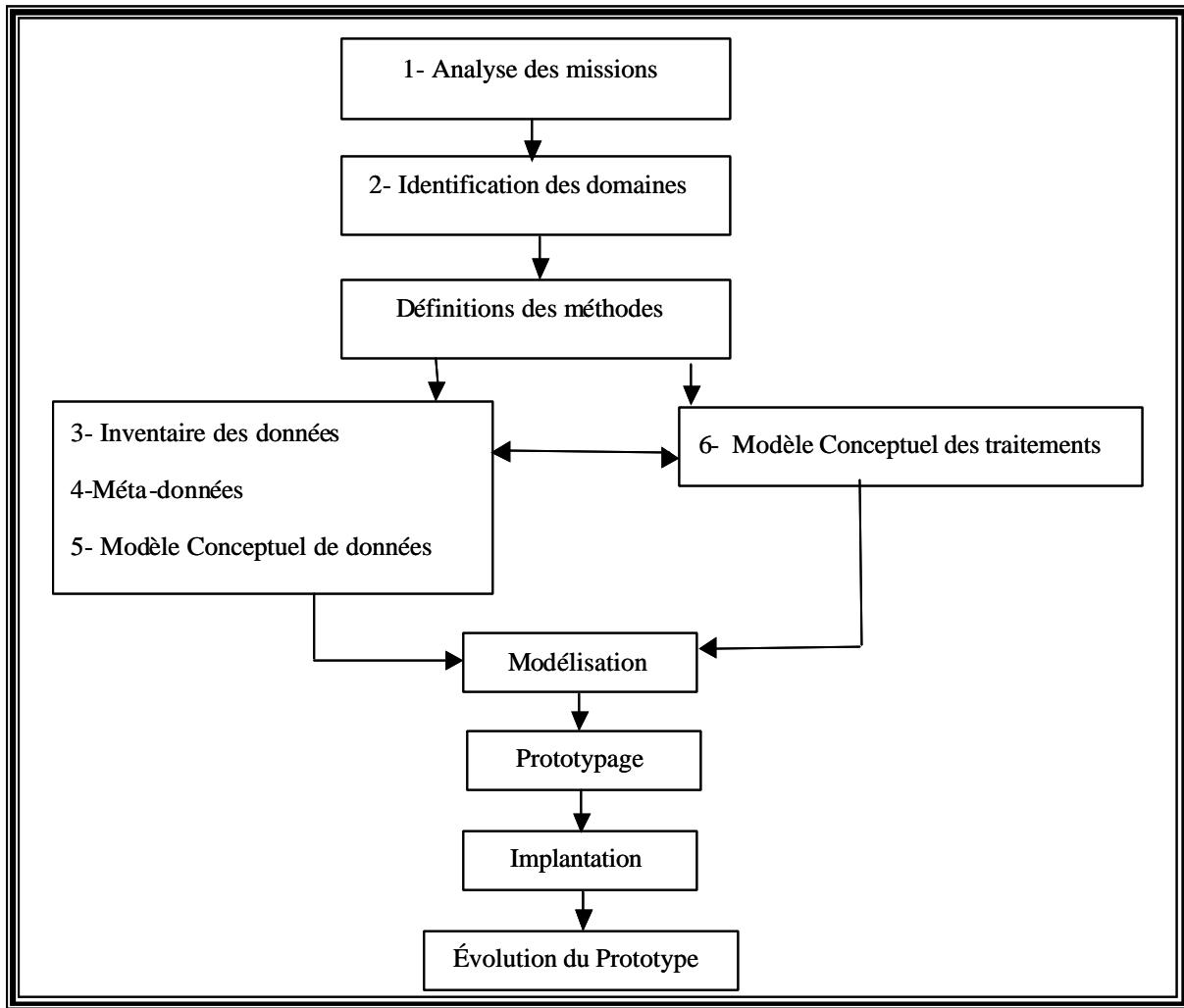


Figure 68 : Démarche adoptée pour l’élaboration de la base de données.

7.2. CONCEPTION DE LA BASE DE DONNÉES

7.2.1. Modélisation des données géographiques.

La modélisation des données est une étape fondamentale indispensable à toute tentative de gestion globale des ressources. Elle constitue le fondement du développement d'une base de données (BD) dont la vocation s'oriente vers l'exploitation, l'apprehension du problème, la gestion et la préservation de systèmes, qu'ils s'agissent de systèmes dits naturels ou humains tels qu'une entreprise, un milieu physique (HUMBERT M., 1991). La modélisation permet de clarifier un environnement réel souvent complexe et confus en identifiant et en représentant les objets d'intérêt, tout en supprimant les détails inutiles.

7.2.2. Objectif de la modélisation

Dans notre pays la gestion et la conservation du milieu physique (aride et semi-aride) sont basées généralement sur des études de cartes thématiques, missions sur le terrain et travaux, utilisant généralement des méthodes classiques, menées par des organismes nationaux tels que : ANAT, BNEDER, DSA, HCDS, etc. Une telle gestion nécessite généralement :

- un temps considérable pour être réalisée;
- des moyens humains considérables;
- un coût assez élevé.

En se référant aux travaux réalisés par les organismes internationaux, nous pouvons difficilement envisager un suivi et une étude assez correcte sur des phénomènes physiques, dans une région comme la wilaya de Naâma, qui s'étend sur une superficie de 29514 km²; sans un outil informatique comme le système d'information géographique.

Un tel outil peut rendre également possible dans les organismes nationaux l'établissement des cartes de synthèse de l'état des parcours steppiques, qui auraient nécessité plusieurs mois de travail à la main.

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

7.2.3. Inventaires des données physiques et socio-économiques

L'inventaire et l'analyse des données spatiales d'une organisation sont deux opérations extrêmement importantes à effectuer dès le début du développement d'une base de données

intégrée dans un système d'information géographique, ces opérations doivent s'étendre aux données spatiales (celles retrouvées sur les documents cartographiques).

La caractérisation de l'état des terrains ainsi que l'étude du phénomène de l'érosion exigent la prise en compte des données physiques et socio-économiques. Ces données socio-économiques ont été récoltées auprès des autorités locales. L'inventaire et l'analyse de toutes les données que nous avons effectués en collaboration avec les techniciens, ne se concentre pas uniquement sur les aléas climatiques, mais sur d'autres données jugées utiles pour comprendre le phénomène de l'ensablement. Ces données en interaction entre elles peuvent caractériser au mieux ce phénomène. A titre d'exemple, parmi les données qui ont été prises en compte, on cite: la végétation, le relief, les données climatiques, les ressources en eau, les données édaphiques, socioéconomiques etc. Cependant, il y a lieu de signaler que la plus grande part des données sont récoltées au niveau des différents organismes, à savoir :

- le Bureau National des Etudes et de Développement Rural d'Oran (BNEDER);
- la Direction des Forêts de la wilaya de Naâma;
- la Direction des Services Agricoles (DSA);
- le Haut Commissariat pour le Développement de la Steppe (HCDS);
- l'Institut National de Cartographie et de télédétection (INCT);
- l'Office National de Statistique (ONS);
- La FAO.

Les données inventoriées (Cf. Tableau 53) dans cette étude sont analysées selon deux critères, à savoir :

- qualité de l'information par rapport aux objectifs fixés;
- coût d'acquisition en rapport avec l'utilisation escomptée.

DONNÉES DE BASE	MODE DE SAISIE	SOURCE	ÉCHELLE	DATE
Modèle numérique d'Altitude terrain (MNA)	Numérisation	(4) cartes topographiques	maille 30 m	1957
Pentes	Traitement	MNA	maille 30 m	1957
Occupation du sol	Traitement	3 scènes (ETM+) de Landsat	maille 30 m	2002
Routes	Numérisation	(4) Cartes Topographiques	1/200.000	1957
		3 scènes (ETM+) de Landsat	maille 30 m	2002
		06 scènes Aster De Terra	maille 15 m	2002
Limite commune	Numérisation	Fichier numérique de L'INCT	1/200.000	1999
Limite daïra	Traitement	Limite commune	1/200.000	1987
Forage	Traitement	Fichier numérique D.H.W.N (X,Y)		2000
Réseau hydrographique	Numérisation	Fichier numérique de L'INCT	1/200.000	1984
Géologique	Numérisation	carte thématique (CORNÉT A. et DELEAU P., 1951)	1/500.000	1951
Géomorphologie	Numérisation	carte thématique (CRBT)	1/1.000.000	1982
Massifs rocheux	Numérisation	3 scènes (ETM+) de Landsat	maille 30 m	2002
Mise en valeur	Numérisation	3 scènes (ETM+) de Landsat	maille 30 m	2002
Zones humides	Numérisation	3 scènes (ETM+) de Landsat	maille 30 m	2002
Statistique sur les éleveurs	Traitement	DSA	-	1999
Statistiques sur la population	Traitement	ONS	-	1966, 1977, 1987 et 1998
Édifices dunaires anciens	Numérisation	(4) Cartes Topographiques	1/200.000	1957
Station météorologique	Traitement	ONS	-	-
Unité pastorale	Numérisation	DSA	-	-
Agglomération	Numérisation	3 scènes (ETM+) de Landsat	maille 30 m	2002

Tableau 53 : Les données physiques et socio-économiques de la base de données

7.2.4. Organisations et gestion des données de la base de données

7.2.4.1. Les données

Les données sont des observations ou des mesures brutes, et de leur traitement, sortent des informations utiles aux décideurs. Ces dernières présentent une information et une utilité importante durant la conception d'une base de données. D'après PORNON H., (1991) un système d'information fonctionne grâce à l'interaction de trois composantes :

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

Pour l'étude d'un phénomène naturel ou artificiel, les scientifiques ont besoins de données qui sont de nature différente, de structure différente et de sources variées.

La nature est variable :

- les données sont ponctuelles : exemple, point d'eau, source, puit, forage etc. certaines données ponctuelles sont spatialisables : les mesures de températures, de précipitations enregistrées dans les stations météorologiques sont transformables en courbes (isohyètes);
- les données peuvent être linéaires : réseau hydrographique, réseau routier, chemin de fer;
- les données peuvent être surfaciques : lac, occupation de sol, découpage administratif, etc.

La structure est variable :

- la structure peut être maillée ou raster (image numérique) : c'est le cas des données fournies par les satellites d'observations de la terre;
- la structure peut être vectorielle : les limites administratives, les limites des couches géomorphologiques, etc.

La source est variable :

A partir des traitements effectués sur les données originales peuvent apparaître des informations qui constituent les données endogènes. Les données telles qu'elles sont recueillies durant l'inventaire et l'analyse, ne peuvent être intégrées directement à la base de

données. Pour leur intégration, nous devons procéder à la préparation, à l'acquisition, à la conversion et à l'intégration de ces données à la base de données (Cf. Figure 69).

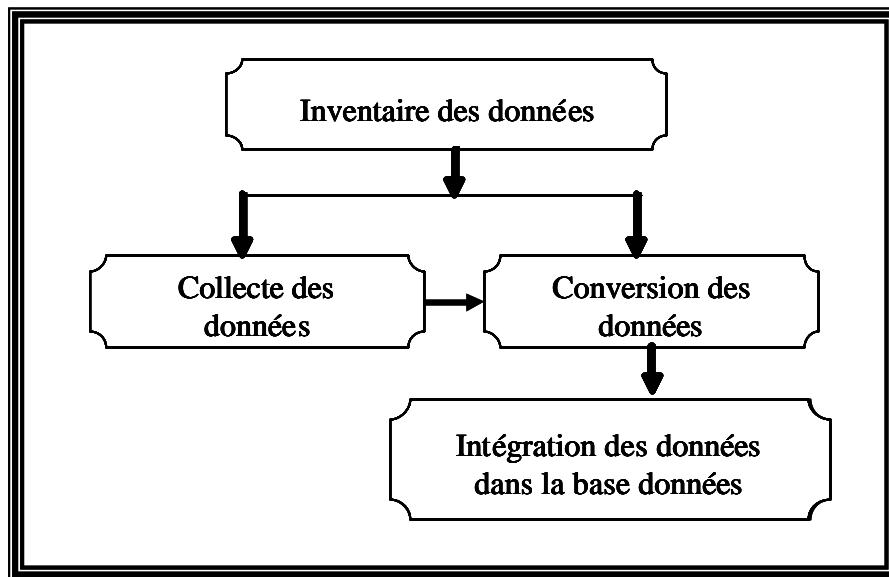


Figure 69 : Intégration des données dans la base.

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

a) Échelle

La dimension spatiale du territoire d'étude conditionne le choix de l'échelle de travail. En effet, la wilaya de Naâma est couverte par quatre cartes au 1:200 000, si nous souhaitons travailler sur une échelle moyenne, par exemple, au 1 : 50 000 le nombre de cartes topographiques passe de 4 à 34 cartes. Donc, ceci influence la durée du travail et augmente le coût d'acquisition des données. Mais, il n'y a pas que la dimension spatiale du territoire qui conditionne le choix de l'échelle, il existe d'autres comme par exemple, le phénomène de l'érosion éolienne. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs climatiques, édaphiques, socio-économiques qui ne peuvent être étudiés et maîtrisés qu'à l'échelle Régionale (ROGNON P., 1995).

Actuellement, les SIG permettent de créer des documents à des échelles variables. A cet effet, il est important de noter que dans le cas de superpositions de plusieurs documents cartographiques de différentes échelles, cas le plus général, alors il est fort recommandé que l'échelle de restitution soit l'échelle la plus petite. Car, si l'utilisateur n'est pas vigilant ou n'a pas consulté les informations (Méta-données) concernant les données de la base, il peut

effectuer des traitements et restituer des documents avec une précision supérieure aux données de départ.

b) Système de projection

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

7.2.5. Modèle conceptuel des données

Le modèle conceptuel, est la partie fondamentale dans l'architecture d'un système de base de données. Son but est de décrire en termes abstraits mais fidèles une certaine réalité concernant une entreprise, un territoire ou un phénomène physique. Il doit être orienté « monde réel » et complètement indépendant du système de gestion de base de données choisi (SGBD). Il consiste en trois éléments de base appelés entités, attributs et relations entre entités. Le passage du monde réel au modèle conceptuel correspondant à un processus de modélisation où les objets du monde réel sont classés en catégories et désignés par des noms.

Les entités ou individus sont représentés par un rectangle contenant le nom unique de l'entité en lettres minuscules et grasses. Un pictogramme¹ est associé à chaque entité et indique la représentation spatiale de l'entité; à l'intérieur des rectangles sont notés les attributs

¹ **point (•), ligne (✓), surface (☒)**

descriptifs de l'entité. Un identifiant est associé à chaque entité et permet d'identifier de manière unique chaque occurrence d'une entité. Les relations sont représentées par une ellipse dans laquelle est située le nom de la relation. La cardinalité représente le nombre minimal et maximal de fois que l'association peut se produire entre deux entités.

Pour notre étude le modèle conceptuel représente la phase la plus importante lors de la conception de la base de données. Après avoir réalisé l'inventaire et l'analyse des données, nous avons toutes les données qui vont figurer et qui seront représentées dans ce modèle conceptuel. Ce dernier a été produit pour modéliser ces données et le flux d'informations correspondant, et en donner une représentation schématique. La figure 70 schématisse le (MCD) relatif à notre zone d'étude. L'entité «**Commune**» constitue l'information géographique commune à toutes ces entités, puisqu'elle représente la structure de base de l'organisation administrative de l'état.

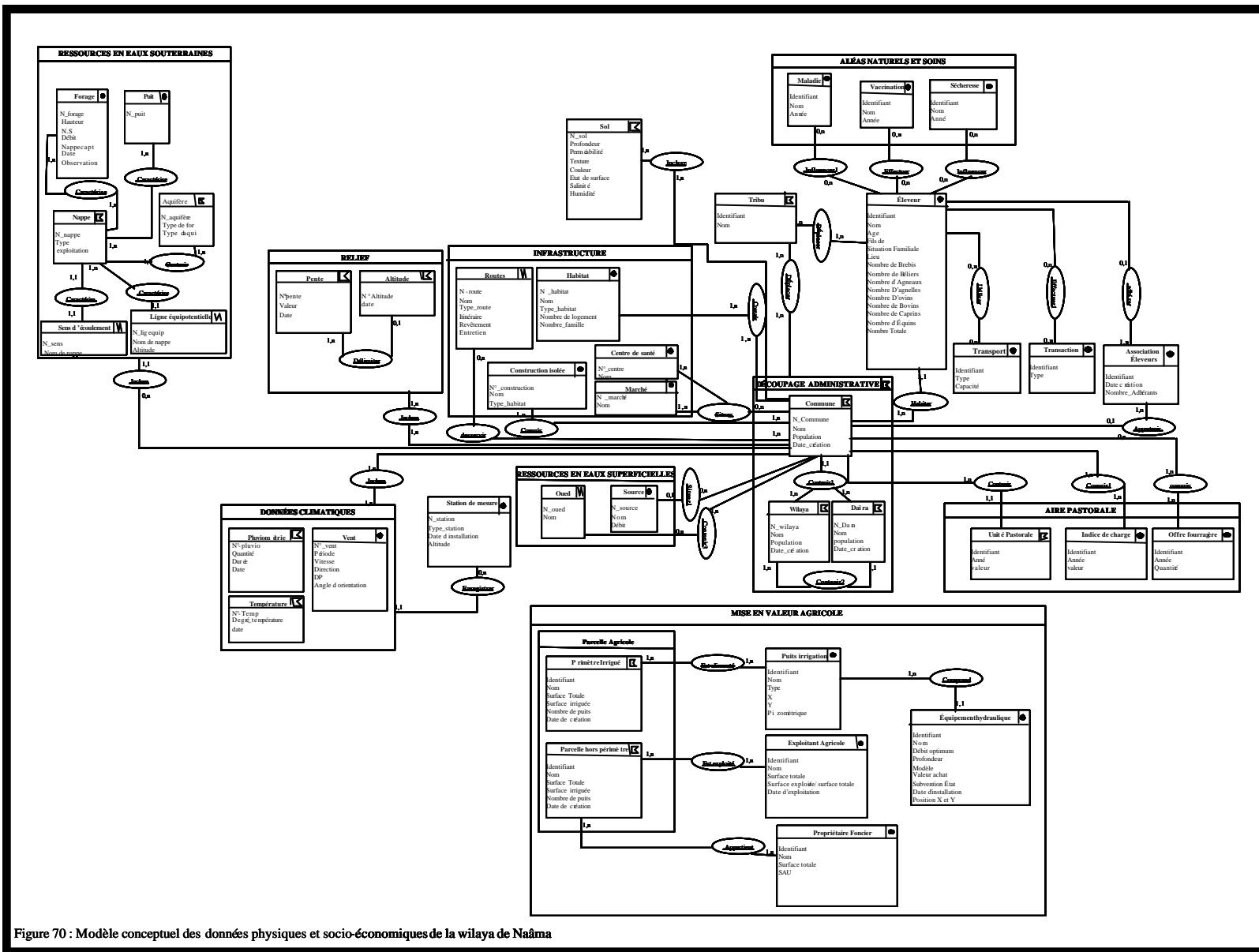


Figure 70 : Modèle conceptuel des données physiques et socio-économiques de la wilaya de Naâma

7.2.6. Dictionnaire de données

Le dictionnaire de données a été établi en parallèle avec le modèle conceptuel de données, pour faciliter aux utilisateurs l'interprétation et la compréhension du (MCD). Il fournit des descriptions précises des données utilisées dans la base de données. Dans ce dictionnaire de données, nous trouvons :

- la définition de l'entité ;
- le type de référence de chaque entité : surface, ligne, point;
- les attributs de chaque entité;
- les contraintes d'intégrité sur les données.

7.2.7. Méta-Données

Selon VIDALE *et al.*, (1993) la diversité des données, tant sur le plan de leurs modes d'acquisition que de leurs formats ou de leurs échelles, devient difficile à gérer. A cet effet, le besoin se fait sentir de développer, en parallèle, des outils de documentation de cette masse de données. Il est important de noter que la crédibilité et la fiabilité des résultats de toute analyse sont conditionnées par la nature et la qualité des informations de base. Il apparaît donc fondamental de disposer de ce type d'information (les Méta-données) sur l'ensemble des données. Ces Méta-données contiennent une information systématique, compréhensible et déductive sur le contenu, la structure, les relations, la représentation et le contexte d'utilisation d'un jeu de données à référence spatiale. Cependant, les Méta-données doivent inclure : un dictionnaire de données et la description des différents traitements subis par les données. Grâce à ces informations les utilisateurs et/ou décideurs ont à leur disposition a priori tous les détails concernant la zone d'étude, le phénomène à étudier ainsi que la qualité des données.

Dans cette étude, un module (Méta-données) a été implanté sur le prototype. Ce module permet aux utilisateurs de consulter toute une gamme de renseignements quantitatifs et qualitatifs sur les données qu'ils exploitent. Ces informations sont associées aux données géoréférencées sous forme de table indirecte (non reliée aux autres tables); leur accès se fait à l'aide d'une interface baptisée « information sur la table » (Cf. Figure 71).

Les metas informations

LES MÉTA-DONNEES SUR LA WILAYA DE NAÂMA

Qualité du document

Nom de la couche	Route	Qualité Globale	Bonne
Type de document:	Numérique	Cohérence Logique	
Localisation:	Naâma	Recommandation	La mise à jour a été faite à partir des images spatiale

Document

Publication	Limite géographique	Format de numérisation	Références Géodésiques
Date	Xmin=614000, Xmax=800000, Ymin=3550000, Ymax=3675000	Vectorielle (Tab Mapinfo)	Datum WG584 et Ellipsoïde de Clarke 1880
Nombre de documents	1	Information Associée	Projection UTM zone 30
Source	Quatre Cartes topographiques	Réponsable conseiller	N° de feuiller NI-30-XII, NI-30-VI, NI-30-V, NI-30-XI
Éditeur	Institut national de cartographie et de télédétection	Autres Échelles	
Échelle	1/200000		
Autres Échelles	Aucun		
Exhaustivité		Traitement	Résolution du pixel 30 m
Mise à Jour			
Date de la dernière mise à jour	2002	Fréquence de mise à jour	Aucun

Figure 71 : Structure des Méta-Données.

CHAPITRE VIII : CONCEPTION ET DESCRIPTION DU PROTOTYPE DÉVELOPPÉ

8.1. DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE

Lors de la phase de réflexion méthodologique, il apparaît nécessaire, de suivre une recherche en terme d'analyse spatiale et de concevoir une approche pouvant prendre en compte et manipuler un volume considérable d'informations à références spatiales, multi-sources et spatio-temporelles. La conception et la réalisation de l'application SIG-DEGRADATION est une étape très importante du développement de l'outil d'aide à la décision qui vise à améliorer l'usage qui en sera fait. A cet effet, nous avons essayé de développer l'outil SIG-DEGRADATION pour l'étude de l'ensablement et la dégradation des terres ainsi que la gestion du patrimoine steppique. Cette application est fondée sur le principe du double prototypage (BÉDARD Y., et PRINCE J., 1989). Un prototype rapide qui présente des démonstrations sous la forme d'une simulation en montrant les différentes fonctionnalités des systèmes concernant la dégradation des terres, et un prototypage évolutif pour réaliser le futur système par modules successifs. Le prototype rapide a été conçu selon les étapes suivantes :

- collecte de l'ensemble des données multi-sources susceptibles d'être prises en compte, pour la conception d'un modèle conceptuel de données;
- compréhension, localisation et définition des impacts majeurs de la dégradation des terres par l'ensablement.

Ce modèle a été produit pour modéliser ces données et le flux d'informations correspondant, et en donner une représentation schématique. Ce schéma comporte les principaux facteurs de gestion de l'activité pastorale qui a comme centre d'analyse la charge pastorale, des utilitaires pour l'analyse spatiale et l'aide à la décision et un modèle pour l'établissement de cartes de sensibilité à l'érosion éolienne. L'entité «commune» constitue l'information géographique commune à toutes les entités spatiales, puisqu'elle représente la structure de base de l'organisation administrative de l'état. C'est au niveau de la commune qu'ont été recensées toutes les données physiques et socio-économiques.

La concrétisation de ce schéma a été mise en œuvre suivant une modélisation basée sur la méthode MERISE. Cette démarche est primordiale lors de la conception des projets impliquant le développement d'un système d'information à référence spatiale. Afin d'intégrer l'ensemble des données dans le système machine, un modèle logique et physique a été développés. Toutefois, le prototype rapide a été développé essentiellement pour illustrer le potentiel futur du système, lever les différentes contraintes inhérentes dans ce genre de recherche, dresser un bilan pour la planification et le choix des méthodes d'intervention et

définir les fonctionnalités nécessaires pour les divers aspects du fonctionnement du système (captage, exportation, gestion et analyse, ...). De plus, il est analysé par l'ensemble des concepteurs et utilisateurs pour la validation du modèle conceptuel et du dictionnaire de données.

La mise en œuvre du prototype rapide **SIG-STEPPE** est réalisée sous le logiciel SIG MAPINFO, via son langage de programmation MAP-BASIC. Cependant, lors de la création du prototype, nous avons rencontré quelques difficultés inhérentes au logiciel MapInfo. Ce dernier a présenté des limites dans l'analyse des données à référence spatiale notamment l'analyse topologique des données, la définition des contraintes d'intégrité, le traitement des données maillées et le passage d'un système cartographique à un autre. A cet effet, nous avons développé un module analyse spatiale qui permet de régler certaines difficultés évoquées ci-dessus. Quant aux problèmes liés aux contraintes d'intégrité, nous avons procédé à la mise en place d'une liaison dynamique entre les logiciels Access et MapInfo. Les données attributaires sont stockées dans Access en tenant compte bien sûr de la structure déjà établie de la base de données.

Toutefois il y a lieu de noter que le choix de l'utilisation du logiciel MapInfo est basé sur une réflexion et sur notre expérience dans le domaine des SIG. En effet, auparavant nous avions développé une application baptisée **SIG-STEPPE**¹ sous l'environnement ArcInfo. Cette application ayant pour but la gestion du patrimoine steppique de la wilaya de Laghouat. Or jusqu'à présent elle n'est plus exploitable par les organismes nationaux et plus particulièrement le HCDS pour plusieurs motifs, à savoir :

- l'organisme n'a pas les moyens de se doter du logiciel ArcInfo et d'assurer la formation² de son personnel;
- la maîtrise du logiciel est assez délicate, il faut un personnel qualifié en matière de SIG;

Donc, tous nos efforts sont tombés à l'eau et personne n'a profité de l'utilité du système. Portant l'application **SIG-STEPPE** a été validée par l'ensemble des institutions lors des séminaires³ organisés à l'échelle nationale et internationale.

¹Il s'agit d'un projet Algéro-Canadien de recherche et de développement, subventionné par le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI) et le Centre National des Techniques Spatiales (CNTS), qui s'intitule « **SIG pour la gestion de l'activité pastorale de la steppe Algérienne : Application à la région d'Aflou** ». Ce projet implique d'une part, le centre de recherche en géomatique de l'université Laval et, d'autre part, le CNTS.

² En 1997 une institution suédoise a établi un devis de 20 000 \$ à la demande du CNTS pour la formation complète et accélérer de deux ingénieurs d'une durée d'un mois du logiciel ArcInfo.

Pour les raisons évoquées ci-dessus nous avons proposé de bâtir notre prototype sur un SIG qui soit à la portée de tout le monde et nécessitant un petit effort de compétence pour le maîtriser. En plus, il a été choisi pour les raisons suivantes :

- il utilise comme langage de manipulation de données, le langage SQL;
- il possède un module **d'IMPORT /EXPORT** des fichiers;
- la disponibilité du système;
- il tourne sur PC sous un environnement Windows;
- il permet l'affichage de données sous forme de carte, tableau, ou graphe.

8.2. OBJECTIFS DU PROTOTYPE

Le prototype a pour objectifs de :

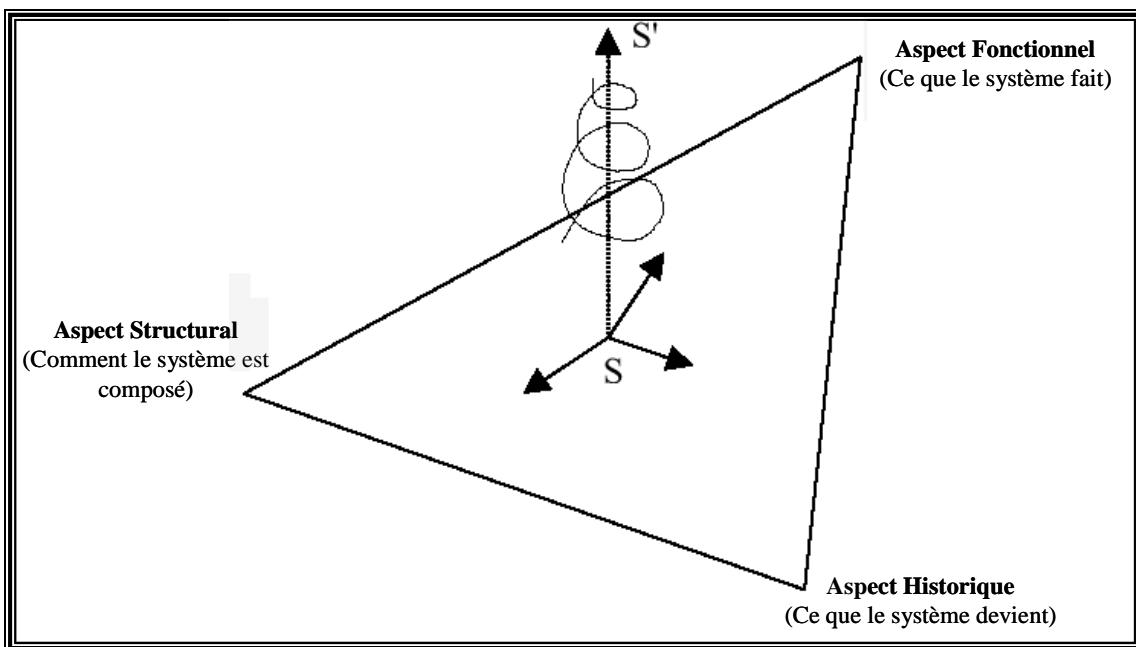
- présenter l'ensemble des données de la wilaya de Naâma;
- localiser rapidement les zones les plus favorables à l'érosion éolienne, à la dégradation des parcours steppiques et limiter spatialement les zones mises en défens;
- établir avec les services spécialisés de la wilaya les premiers plans d'urgence d'interventions;
- suivre dans le temps et dans l'espace les différentes mutations des espaces;
- implanter un modèle se basant sur le schéma conceptuel de données physiques et socio-économiques de la base de données;
- illustrer de manière concrète l'intégration des données multi-sources dans un système d'information géographique et particulièrement relever ses apports réels au processus décisionnel et d'aménagement.

8.3. CONCEPTION DU PROTOTYPE

8.3.1. Méthodologie

³ - 4ème Colloque National sur les Changements Climatiques et Impacts. 24-25 Décembre 1997, Oran, Algérie;
- Colloque International sur la Biodiversité des zones Eco-Développement du Sahara Central. Les 20-22 Novembre 1997, Tamanrasset, Algérie.
- séminaire sur l'utilisation de l'outil spatial pour la prévention des risques majeurs. CNTS Arzew, Algérie, les 05-06 Mai 1997.

La création du prototype est sa mise en œuvre dans n'importe qu'elle structure et organisme de l'état doit tenir compte de quelques contraintes complexes d'ordre organisationnel. Certainement son implantation engendre une modification dans les pratiques professionnelles des utilisateurs. Ce sont ces derniers qui décident de l'adoption ou du rejet du prototype. Donc, il doit tenir compte de l'ensemble des besoins exprimés par les acteurs concernés, sans quoi son utilité sera obsolète. C'est pour cette raison que nous avons préféré la méthode du double prototypage pour la conception de l'outil. Le prototype rapide est conçu en se basant sur le principe de la méthode systémique qui est remarquablement adaptée à la phase d'investigation d'un système complexe. Selon cette technique, la réalisation d'un système est analysé selon trois aspects (aspect fonctionnel, structurel et historique) différents mais complémentaires, chacun lié à un point de vue particulier de l'observateur (DONNADIEU G. *et al.*, 2003) (Cf. figure 72). Elle a été même utilisée dans les techniques d'ingénierie pour la conception ergonomique d'interfaces pour la supervision de contrôle de procédés industriels (Kolsky C., 1993) in : (ALLIGNOL F., 1997).



Source : (DONNADIEU G. *et al.*, 2003)

Figure 72 : La triangulation systémique.

8.3.1.1. Analyse fonctionnelle et évaluation des besoins

L'analyse fonctionnelle du système est surtout sensible à la finalité du prototype. A cette étape nous cherchons à répondre aux questions : que fait le prototype et à quoi sert-il ? A fin de répondre à ces questions, nous devons évaluer et mettre au point les différents besoins des

utilisateurs potentiels et définir leurs rôles et leurs responsabilités dans la gestion du prototype afin de rendre celui-ci plus performant et renforcer les relations de coopération entre les personnes concernées. Cette évaluation a nécessité, en première étape, de répertorier et de définir les différents acteurs afin qu'on puisse reconstituer leurs démarches habituelles et leurs façons d'agir face à une prise de décision concernant un phénomène naturel et plus particulièrement : l'ensablement et la dégradation des terres. A travers nos missions de reconnaissance et d'investigation dans la wilaya ainsi que grâce à la position du professeur Remaoun, nous avons pu nous entretenir avec le chef cabinet de la wilaya de Naâma. Ce dernier nous a aidé dans l'organisation des rencontres avec les responsables et les techniciens des différents organismes. Suite à ces rencontres plusieurs acteurs potentiels, qui peuvent utiliser le prototype, ont été ciblés. Ainsi, ces différents utilisateurs potentiels sont :

- la direction des forêts de la wilaya de Naâma;
- les services du haut commissariat pour le développement de la steppe;
- les responsables et techniciens des collectivités locales;
- l'association des agropasteurs et l'association pour le développement et la protection de l'environnement de la commune de Mécheria.

Il est évident que les responsables des collectivités locales, en tant que groupe d'exécution et de coordination sous l'autorité du préfet (Wali), sont les plus concernés par le prototype d'aide à la décision afin d'avoir une vue synoptique et globale des problèmes d'ensablement et de dégradation des parcours, et pour pouvoir planifier à court et à moyen terme des interventions et des aménagements. Dès lors, notre souci était de noter tous les besoins et remarques exprimés par les utilisateurs. A cet effet, plusieurs séances de travail ont été programmées dans le but d'exposer aux décideurs et aux techniciens l'utilité du prototype dans la gestion, le traitement, l'analyse, l'archivage et la restitution des documents cartographiques. Pendant les séances de débat concernant l'aspect critique du système nous avons constaté que les responsables étaient fortement intéressés par le système. Selon eux, ce système leur permettra de bien cerner les problèmes naturels (érosion éolienne et hydrique, ensablement, inondation) dans un contexte spatio-temporel. De plus, ils ont même insisté sur l'utilité de l'outil par rapport à la gestion de l'espace grâce aux avantages suivants :

- le support homogène de l'information, inaltérable, duplicable et restituables à faible coût, de plus, la gestion et le stockage des données sont gérés par un système automatisé;

- la rapidité et facilité de consultation des données stockées tout à fait incomparable et les possibilités variées de calculs (statistiques classiques, analyse numérique, projections géométriques);
- la création pure et simple d'informations difficiles voire impossibles à obtenir autrement tel que l'ensoleillement potentiel issu du calcul du modèle numérique de terrain;
- comparaisons et croisements multicritères (agrégations, recodages, superpositions);
- éditions cartographiques automatisées qui abaissent largement les coûts de production, en optimisant notamment tous les problèmes de sémiologie graphique;
- création de documents difficiles à obtenir autrement tel que : la réalité virtuelle d'un paysage.

Tandis que nous avons perçu une certaine réticence vis-à-vis du prototype chez les techniciens. Ce dernier remet en cause leur place dans leur institution.

Une autre séance a été programmée cette fois-ci avec le conservateur des forêts de la wilaya de Naâma. Des moyens ont été mis à notre disposition (documents cartographiques, photos aériennes, etc.) pour le bon déroulement de notre mission de terrain. D'ailleurs une convention a été signée entre la direction des forêts et la directrice du laboratoire (Espace Géographique et Aménagement du Territoire de l'Université Es-Senia). Cette convention porte sur les échanges d'information et la participation des chercheurs du laboratoire à la formation et à l'initiation des techniciens forestiers dans le domaine des SIG et du traitement des images satellites.

L'association de protection de l'environnement et de la nature de la wilaya de Naâma trouve dans le prototype un outil de travail, de collecte, d'archivage des données environnementales. De plus, à travers ce prototype elle pouvait sensibiliser facilement les différents acteurs (éleveur, agropasteur, sédentaire, nomades, etc.) sur l'importance du milieu naturel et de l'environnement en leur montrant les différents parcours dégradés, la progression du sable dans la wilaya ainsi que les différentes mesures qu'il faut prendre pour minimiser les dégâts. Enfin, les organismes touristiques peuvent tirer profit du prototype en ce qui concerne la gestion et la diffusion d'informations sur les différents sites touristiques de la wilaya : stations rupestres (Cf. photo 9), station thermale d'Ain Ourka, Ksours et sites locaux et lac Haoud ed Deïra de la commune de Ain Benkhelile.

Enfin, il a été nécessaire d'établir un processus de communication avec les différents utilisateurs dans un contexte pluridisciplinaire. Le succès de l'implantation du prototype est certainement lié à une participation active de l'ensemble des utilisateurs. Ces personnes doivent être sensibilisées à l'utilisation des SIG afin de pouvoir mieux juger les possibilités offertes et mieux exprimer par la suite leurs besoins.

Il importe de noter que la méconnaissance des SIG par certains utilisateurs n'a pas facilité la tâche dans la formulation exacte des besoins. A cet effet, nous avons suggéré une approche progressive pour l'implantation du système : de la conception à la réalisation. Cette démarche s'avère une solution rationnelle dans la mesure où les utilisateurs ont du mal à définir d'une façon claire et précise leurs besoins actuels et futurs.

Il est à noter que ces rencontres avec les utilisateurs potentiels ont été bénéfiques pour notre démarche de réalisation du prototype.



Source : (Bouzenoune A., 1999)

Photo 9 : Gravure rupestre bovidé (a) et Marmites géantes (b) à Tiout.

8.3.1.2. Analyse Structurelle

L'analyse structurelle vise à décrire la structure et l'agencement entre les différents programmes du prototype. Ainsi, ce prototype est organisé par un ensemble de menu et de routines dont le schéma est représenté figure 73. Pour l'exécution du prototype il suffit tout d'abord de l'installer au niveau du menu «Démarrer» de Windows en exécutant le fichier «**Dégredation-Setup.exe**». Une fois l'installation terminée, on peut lancer l'application à partir du menu déroulant Démarrer/programmes de la barre des tâches de Windows en cliquant directement sur l'application «**SIG-Dégredation-Nâma**». Cependant, le lancement de l'application déclenche directement l'ouverture du logiciel MapInfo. Le menu

de l'application s'affiche directement sur la barre des menus du logiciel. Dès lors, à partir de ce menu, l'ensemble des fonctionnalités du prototype peuvent être exécutées par l'utilisateur.

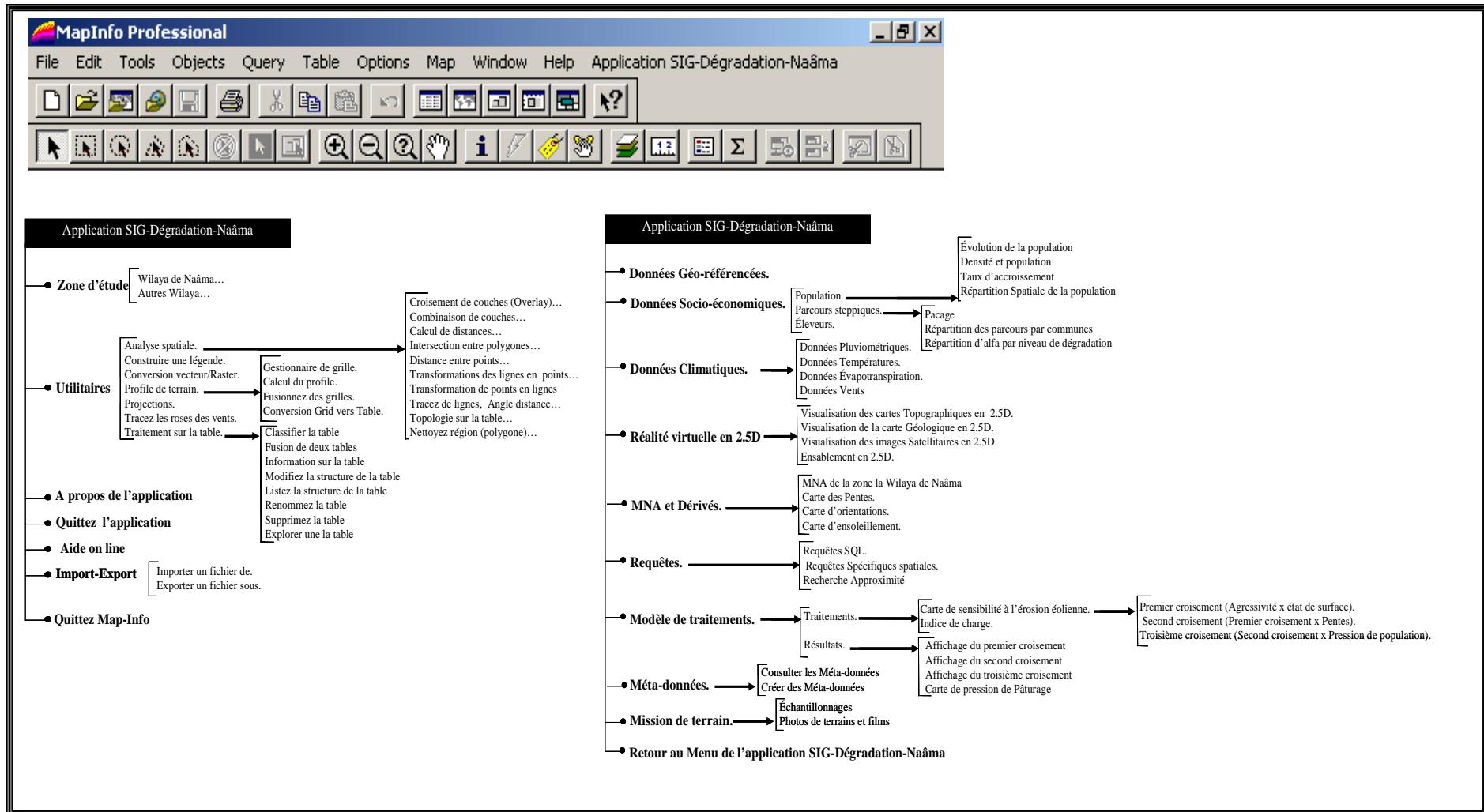


Figure 73 : Schéma général du prototype SIG-Dégradation-Nââma.

8.3.1.3. Analyse historique

L’analyse historique du prototype est liée à son aspect évolutif doté d’une base de données extensible et évolutive. Durant notre conception du système nous avons pris en considération l’aspect temporel des données géographiques. A cet égard, nous avons réalisé une procédure «**Méta-donnée**» intégrée dans le prototype qui permet de donner toutes les informations sur les couches de la base de données intégrée dans le logiciel et gérée par son système de gestion de base de données.

Donc, l’utilisateur est averti sur les données non mises à jour et incité soit à les remettre à jour ou à se procurer d’autres données récentes. Cette tâche n’est pas toujours facile dans un pays en voie de développement où la donnée est considérée par certains responsables comme une propriété privée personnelle⁴.

D’autres préfèrent échanger leurs données pour d’autres données et savoirs faire qu’ils ne maîtrisent pas, ce qui constitue une bonne forme de collaboration.

Nous pensons qu’il reste beaucoup à faire en matière d’accès à l’information pour que la donnée soit à la disposition des scientifiques qui désirent mener des travaux de recherche. Alors que dans des pays développés l’accès à l’information et à la donnée sont considérées comme un droit.

Il y a lieu de noter que ce prototype peut être considéré comme évolutif dans la mesure où, pour sa conception, nous nous sommes inspirés des prototypes intermédiaires, qui jouaient le rôle du prototype rapide, et avons également utilisé de données réelles concernant la wilaya de Naâma.

8.3.1.4. Fonctionnalités du prototype

Les principales fonctions du prototype sont détaillées et expliquées dans le fichier d’aide en ligne « Aide-dégradation.hlp ». Ce dernier est développé sous le logiciel DotCHM. Les utilisateurs y trouvent tous les détails concernant le fonctionnement du prototype, la

⁴ A titre d’exemple, au Centre national des Techniques Spatiales, le directeur de la division de télédétection- la division à laquelle je suis attaché de recherche- a refusé catégoriquement de me procurer des images du satellite Algérien Alsat 1 de la région d’étude. Il considère que mon travail ne rentre pas dans les perspectives de recherches de la division. Après des recherches sur Internet, une institution internationale m’a envoyé par email les codes d’accès pour le téléchargement direct et gratuit des images à partir de leur site web.

manipulation des données nécessaires ainsi que leurs structures. Les principales fonctions sont structurées en modules. Nous allons dans ce qui suit donner un aperçu de quelques unes :

- **Analyse Spatiale** : ce module permet de réaliser des analyses spatiales sur l'ensemble des données de la base de données de la wilaya de Naâma. Grâce à ce module l'utilisateur peut choisir l'opération qu'il veut mettre en exécution (Cf. Figure 74)

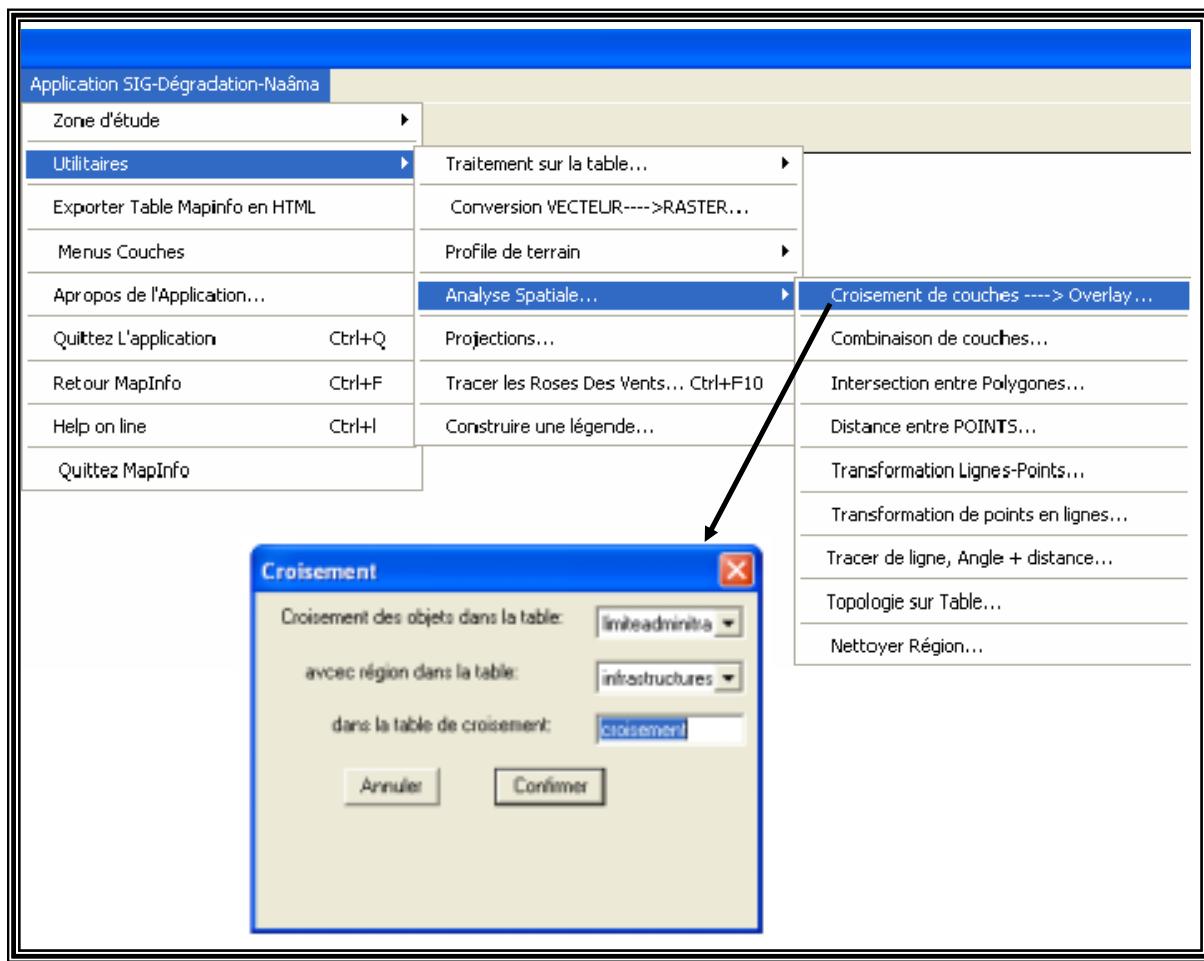


Figure 74 : Module d'analyse spatiale intégré dans le prototype

Tracer les Roses de vents : ce module permet le calcul du déplacement potentiel du sable **DP**, la résultante de déplacement potentiel du sable **RDP**, la direction résultante de déplacement potentiel du sable **RDD** et de tracer des roses de déplacement potentiel de sable.

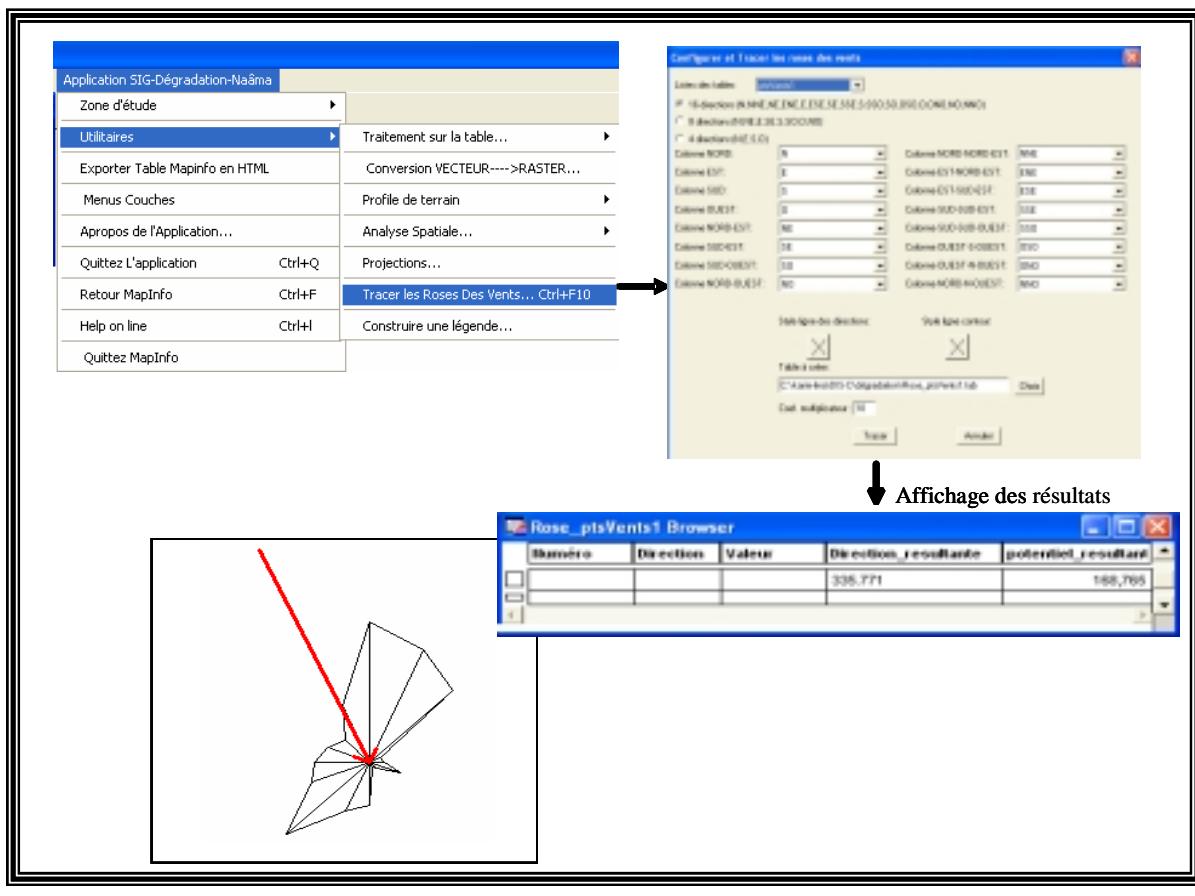


Figure 75 : Tracer des roses de déplacement potentiel du vent.

- **Analyse en 3D :** ce module permet de visualiser des données et des images satellitaires et autres en 3D. C'est un excellent moyen de reconnaissance de terrain et d'aide à la décision (Cf. Figure 76).

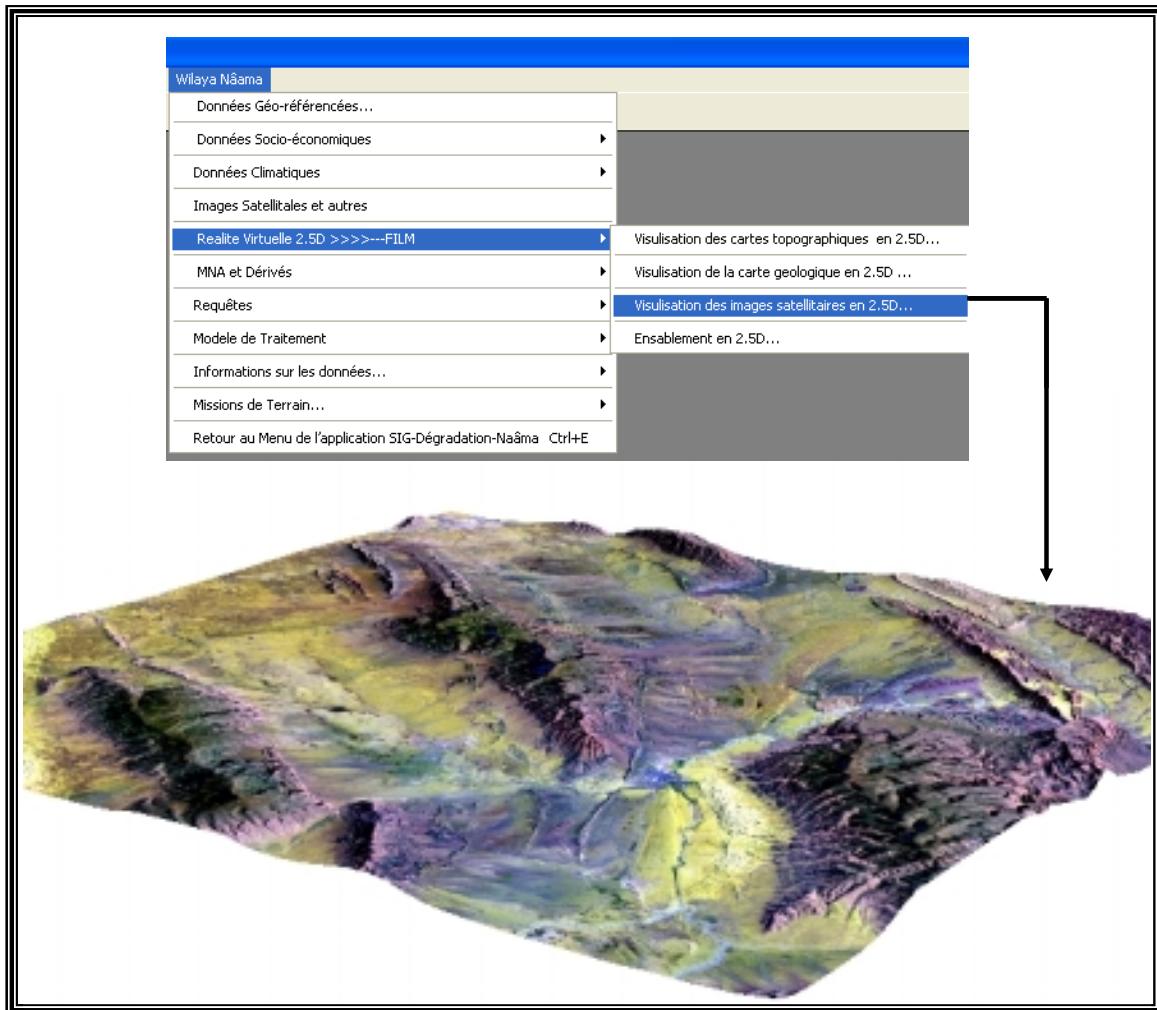


Figure 76 : Visualisation des données de la base en 3D.

- **Modèle de traitement** : le module « Modèle de traitement » permet la superposition des couches (pentes, agressivité climatique et pédopaysage) pour l'établissement de la carte de sensibilité à l'érosion éolienne (Cf. Figure 77).

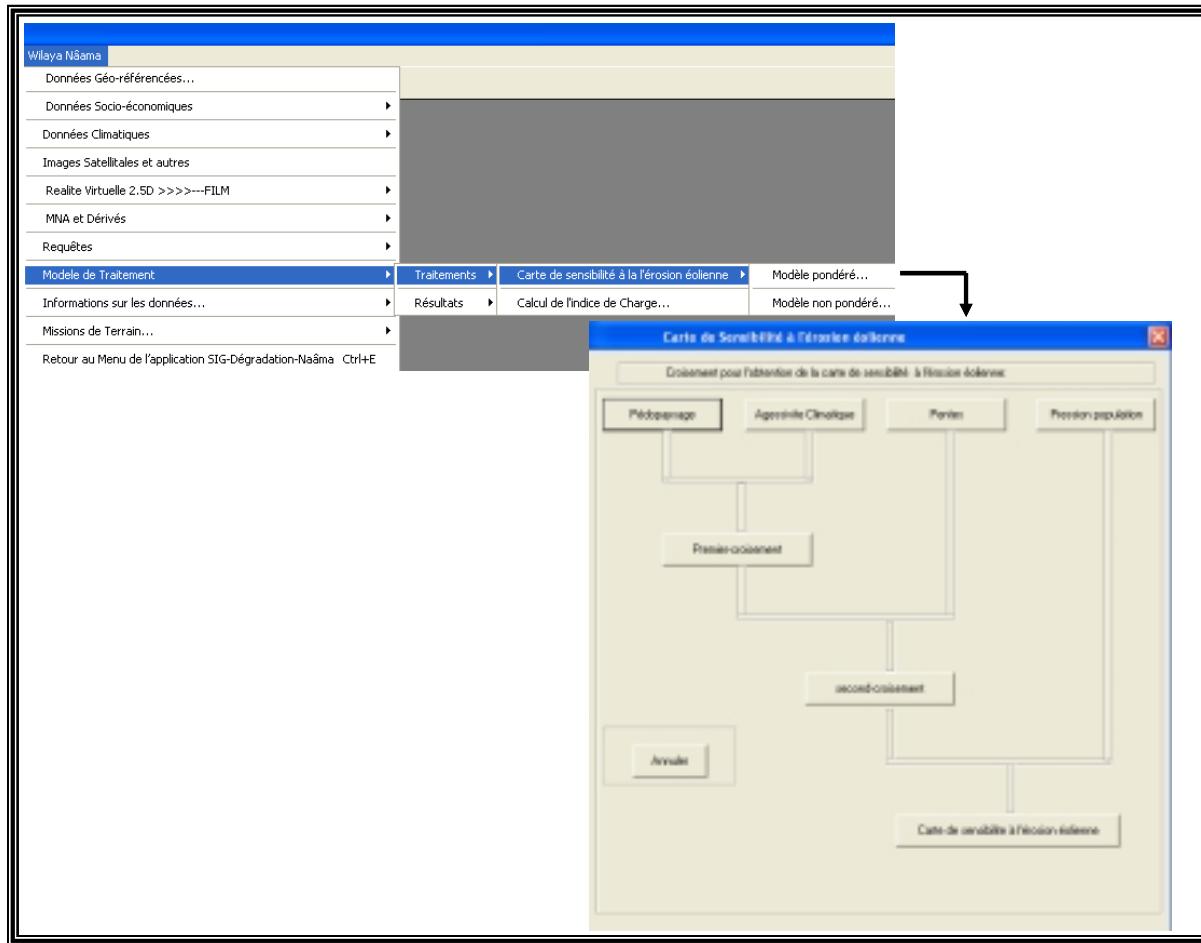


Figure 77 : module pour l'établissement de la carte de sensibilité à l'érosion éolienne.

8.3.2. Modèles intégrés dans le prototype

Au cours des différentes séances organisées avec les utilisateurs potentiels pour la conception du prototype, il apparaît évident de mettre en œuvre des modèles analytiques intégrés dans le prototype permettant d'établir une carte de synthèse de sensibilité des espaces à l'érosion éolienne. Ces modèles devraient être entièrement automatisés et permettent à chaque utilisateur sans connaissance particulière du logiciel :

- d'établir un diagnostic sur la sensibilité du milieu vis-à-vis de l'érosion éolienne;
- de délimiter spatialement les nouvelles zones à risque;
- d'établir des scénarii en utilisant un modèle paramétrable (l'utilisateur peut affecter un poids à chaque facteur);
- de visualiser ces scénarii à différentes échelles en effectuant des zooms;
- de réaliser des cartes thématiques, par exemple la carte d'occupation du sol. Avec le prototype, d'autres cartes thématiques peuvent être réalisées à volonté. L'outil offre plusieurs possibilités de choix et de combinaisons entre les données de la base de données.

En fait, l'état actuel et les catastrophes liées aux phénomènes de l'érosion éolienne et de la dégradation des terres ces dernières années ont provoqué une sensibilité et une prise de conscience des décideurs. Ces derniers sont soucieux de connaître s'il existe une carte délimitant, à l'échelle du territoire de la wilaya, des zones sensibles aux phénomènes cités ci-dessus, et/ou de connaître l'état actuel et la dynamique de dégradation des terres.

Il est clair que ces décideurs ont une grande responsabilité dans la gestion et l'affectation des terres agricoles et des parcours steppiques. Dès lors, ils doivent empêcher tout processus naturel induisant de lourdes conséquences socio-économiques sur le territoire. Nous avons bien noté leurs besoins en information cartographique récente sur les différentes zones sensibles afin qu'ils gèrent en temps réel une masse colossale de données stockées dans une base de données géographiques et alphanumériques. Ces cartes leur permettent d'une part, une vision synoptique et globale de la situation et des problèmes environnementaux. D'autre part, ils planifient des études d'aménagement à une échelle plus fine (commune). A cet intention, nous avons programmé deux modèles analytiques pour l'élaboration des cartes de sensibilité à l'érosion éolienne.

8.3.2.1. Description des modèles analytiques d'agrégation spatiale

Afin de localiser les différentes zones de sensibilité, nous avons utilisé deux modèles analytiques d'agrégation spatiale multiplicative. En réalité il existe plusieurs méthodes multicritères et d'agrégation spatiale, des plus élémentaires au plus complexes. Parmis ces méthodes nous citons celles décrites par LAPLANA R. *et al.*, (1993) :

- **Méthode analytique non pondérée** (moyenne arithmétique entre les critères). Cette technique est employée lorsque tous les critères utilisés présentent le même poids. En effet, les critères agressivité climatique, topographique et édaphique auraient la même influence sur le processus de l'érosion éolienne. Cette méthode peut être utilisée dans le cas d'un phénomène naturel où il est difficile d'estimer les coefficients de pondération des différents critères.
- **Méthode analytique pondérée**. Cette méthode considère généralement les critères de sélection appliqués à un phénomène naturel comme d'inégale importance. Elle tend à introduire une hiérarchie entre variables en affectant à chaque critère un poids qui correspond à son importance par rapport aux autres critères. Dans le cas du phénomène de l'érosion éolienne, l'utilisateur est obligé d'assigner à chaque critère un coefficient de pondération en pourcentage. Il est à signaler que cette tâche n'est pas tout à fait simple et

qu'elle dépend de l'utilisateur ayant une compétence et une connaissance approfondie du problème d'un milieu naturel à l'intérieur de notre zone d'étude. D'où la majeure difficulté de cette approche. Nous avons déjà évoqué ce sujet dans le paragraphe §2.3.1 du second chapitre.

- **Méthodes statistiques** qui consistent à agréger un nombre défini de rangements en un rangement unique. Parmi ces méthodes statistiques nous citons les méthodes d'analyse statistique tridimensionnelle, l'analyse factorielle discriminante et l'analyse en composantes principales.

Dans notre cas, nous avons choisi la première et la seconde méthode pour le premier et le second modèle respectivement. Dans le second modèle l'utilisateur a le libre choix d'affecter un poids allant de 0 à 100% suivant que le critère est jugé parfaitement ou complètement favorable à l'expansion de l'érosion éolienne ou partiellement favorable à cette expansion. Cependant, il peut facilement modifier et paramétriser les poids d'une manière conviviale. En cas d'erreur (somme des poids pour l'ensemble des critères supérieure à 100%) l'utilisateur est averti par un message sous forme de menu afin qu'il corrige cette erreur.

Nous tenons à signaler que la programmation des deux modèles a nécessité la réalisation d'un organigramme qui illustre les différentes opérations pour la réalisation de la carte de sensibilité à l'érosion éolienne (Cf. Figure 78). Cet organigramme est le résultat de :

- l'analyse bibliographique sur les concepts pour l'élaboration des cartes de sensibilité à l'érosion éolienne;
- l'analyse des travaux d'entretien avec les responsables des organismes concernés du territoire de la wilaya de Naâma;
- l'analyse des données nécessaires pour le zonage des espaces sensibles.

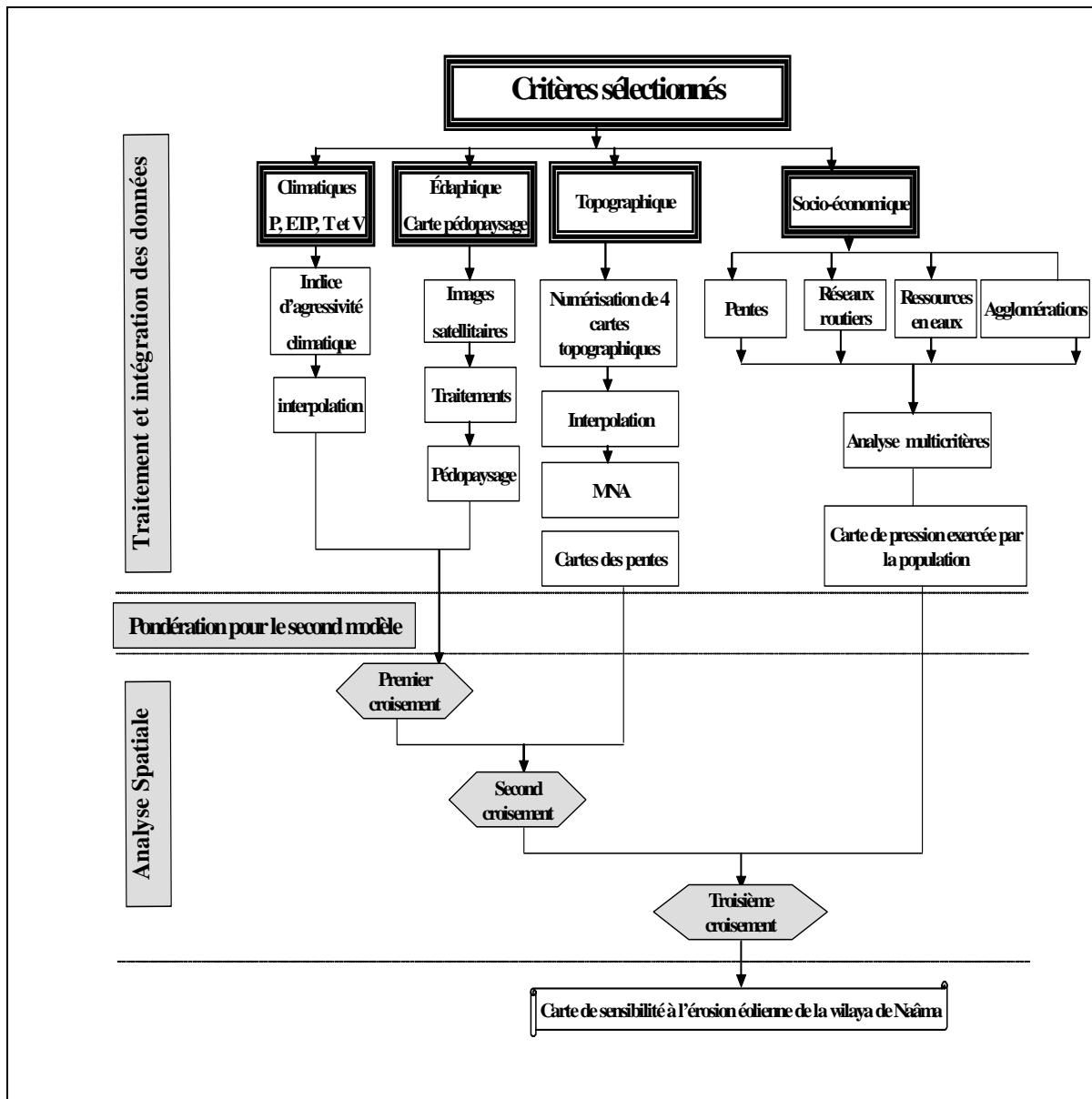


Figure 78 : Organigramme pour l'élaboration de la carte de sensibilité à l'érosion éolienne.

8.3.2.2. LES critères descripteurs de l'érosion éolienne utilisés dans les modèles

Nous avons vu précédemment que la base de données est alimentée par un nombre considérable de données géographiques et alphanumériques illustrées par le modèle conceptuel. Toutefois, il est quasiment impossible de tenir compte de toutes les données de la base pour l'établissement de la carte de sensibilité. Dès lors, il est nécessaire de sélectionner uniquement les critères pertinents en vue de l'analyse, pour éviter les redondances de données, et limiter le volume considérable d'informations à traiter (LAPLANA R. et al., 1993). Dans notre cas nous avons choisi quatre critères en vue de les intégrer dans les modèles analytiques :

- climatique, où le vent est l'unique agent dynamique de l'érosion éolienne;
- édaphique, la carte pédopaysage;
- topographique (la pente);
- socio-économique.

On pouvait établir la carte de sensibilité en utilisant uniquement les trois premiers critères. Mais, la plus part des auteurs qui ont travaillé dans ce domaine (MAINGUET M., 1995; ROGNON P., 1995; BENMOHAMMADI A. *et al.*, 2000 et REMAOUN K., 2004) confirment l'influence du phénomène anthropique dans l'accentuation de l'érosion éolienne. Toutefois, malgré la prise en compte du critère anthropique, cela ne signifie pas la fiabilité à 100% des modèles analytiques pour la mise en lumière des zones sensibles. Car les critères qui interviennent dans ce phénomène sont innombrables et rendent sa modélisation très délicate. En effet, dans son travail sur l'aridité et l'érosion éolienne GAUDÉ-GAUSEN G., (1995) a signalé : «*jusqu'à présent, les très nombreuses tentatives n'ont débouché que sur des résultats partiels et abouti à aucun consensus*». De plus, selon le même auteur, l'étude globale de tous les mécanismes de l'érosion est impossible à mener : en milieu naturel, en grandeur réelle et en temps réel.

Donc, face à cette difficulté, nous étions amenés à recourir à l'utilisation des modèles analytiques pour la création des cartes thématiques faisant apparaître les délimitations spatiales des zones sensibles à l'érosion éolienne avec tout ce que cela implique comme pouvoir réducteur de la réalité.

8.3.3. Intégration des données dans les modèles

En amont de l'élaboration de la carte de sensibilité, les données (cartes d'agressivité, carte pédopaysage, carte des pentes et carte de pression exercée par la population) nécessitent d'être réorganisées et préparées convenablement en fonction de leur nature en vue de traitements de nature spatiale et du développement d'une chaîne d'analyse et de production de documents cartographiques entièrement automatisées et paramétrables.

Ces étapes de préparation et d'organisation concernent particulièrement la scannérisation et la numérisation des cartes topographiques et thématiques, la vectorisation des données en format image, la conversion des formats de données et l'analyse spatiale des données (topologie, croisement, zone tampon). Ainsi, les quatre critères qui ont été choisis sont rassemblés sous forme de couches d'information géographique. Toutefois, ces couches présentaient des zones

se trouvant en dehors des limites administratives de la wilaya de Naâma. Cela augmente considérablement le volume de la base de données ainsi que le temps d'exécution d'une opération par la machine. Dés lors, nous avons préféré relier ces couches à celle des limites administratives. La liaison entre ces différentes couches est réalisée grâce au module de croisement de couches du prototype. A cet effet, de nouvelles zones ont été créées à l'intérieur de chaque commune; ce qui facilite la tâche lors de la phase d'élaboration de la carte de sensibilité.

8.3.3.1. Couche d'agressivité climatique

Cette couche est établie afin de caractériser le potentiel érosif du climat et son influence sur l'érosion du vent. Un climat sec et aride accentue le phénomène d'érosion. Dans son cours sur la désertification et l'aménagement au sud de la méditerranée, ROGNON P., (1995) révèle que l'agressivité climatique se définit par :

- des pluies torrentielles;
- la coïncidence des températures élevées et des sécheresses estivales;
- de fréquentes sécheresses.

Dans notre cas, un indice d'agressivité climatique a été utilisé qui met en relation trois variables climatiques : la vitesse du vent en ms^{-1} et l'indice précipitation-température de Thornthwaite. Ce dernier met en relation la température et la précipitation. L'indice est l'un des cinq paramètres indépendants de l'équation d'érosion du vent (WOUDRUFF N. P. et SIDDOWAY F.H., 1965). Il existe de nombreux indices climatiques établis par différents auteurs qui ont travaillé dans différentes régions du monde (CHEPIL W.S. *et al.*, 1962; WOUDRUFF N.P. et SIDDOWAY F.H., 1965 et FAO, 1979). Ces auteurs ont démontré dans leurs travaux que cet indice est une variable qui dépend dans son évaluation du milieu étudié (localisation, climat, nature des données, etc.).

En 1962 CHEPIL W.S. *et al.*, (1962) ont développé un indice d'agressivité climatique afin de dresser une carte d'agressivité climatique sur la moitié ouest des Etats unis. Il est de la forme :

$$C = 386 \frac{V^3}{PE^2}$$

16

Où v est la vitesse moyenne annuelle exprimée en ms^{-1} , PE est l'indice précipitation-évaporation de Thornthwaite et 386 est une constante. L'indice de Thornthwaite est donné par la formule suivante :

$$\text{PE} = 3.16 \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{\text{P}_i}{1.8 \text{ T}_i + 22} \right)^{\frac{10}{9}} \quad (17)$$

Où P_i est la précipitation moyenne annuelle en mm, T_i est la température moyenne en °C.

Donc, l'équation (17) est utilisée dans l'équation (16) pour le calcul du facteur climatique C. L'équation est développée à partir d'une recherche qui a montré que le déplacement potentiel du sol est directement lié au cube de la vitesse et inversement au carré de l'humidité de la surface du sol.

Toutefois, l'indice tel qu'il est présenté dans l'équation (16) présente des limites pour son utilisation dans les régions arides où la pluviométrie mensuelle ne dépasse guère le seuil de 13 mm (LYLES L., 1983). En effet, si la précipitation tend vers zéro, l'indice PE tend vers zéro alors que l'indice C tend vers l'infini. A cet effet, WOODRUFF N. P. et ARMBRUST D.V, (1968) ont proposé d'utiliser un indice de facteur climatique mensuel en utilisant la vitesse moyenne du vent avec l'indice annuel de Thornthwaite.

8.3.3.1.1. Calcul de l'indice C

Pour l'estimation de la valeur de C, nous avons procédé à la collecte des données climatiques (précipitation, température, vitesse du vent). Il est important de noter que la précision dans l'évaluation de l'indice C est étroitement liée à l'exhaustivité de ces données, il est proportionnel au nombre de stations utilisé et à la durée d'enregistrement.

Dans notre zone nous disposons uniquement de trois stations météorologiques. Cela est insuffisant pour passer d'une information ponctuelle (station) à une information zonale. Pour l'ensemble de la région cette opération est nécessaire pour l'estimation de l'indice C, et particulièrement pour des zones étendues où cet indice ne peut être considéré comme constant. Dès lors, d'autres stations météorologiques se trouvant en dehors de la zone d'étude ont été utilisées. Pour chaque station un indice C est calculé (Cf. Tableau 54).

Stations météos	λ en degré	ϕ en degré	Indice de Thornthwaite PE	Vitesse en (ms^{-1})	Indice C en (%)
Ainsefra	-2.10	32.77	9.07	2.658	88.11
Béchar	-2.14	31.37	4.72	1.88	115.1
El ARICHA	-1.27	34.20	13.04	3.883	132.9
El Bayadh	-1.02	34.68	19.69	3.33	36.76
El Kheiter	0.08	34.13	14.17	4.158	138.2
Naâma	-0.31	33.28	13.11	3.017	61.67
Mécheria	-0.27	33.55	11.10	3.351	117.9

Tableau 54 : Valeurs des indices d'agressivités climatiques pour chaque station.

Après avoir calculé un indice d'agressivité climatique annuel pour chaque station météo, nous avons jugé utile de déterminer la variation de cet indice à l'échelle mensuelle. Le résultat est illustré figure 79. D'après cette dernière nous avons constaté que l'allure des courbes de l'indice C pour les stations de Ainsefra et Mécheria est presque identique à celles déterminées à partir de l'équation de FRYBERGER S.G., (1979) (Cf. chapitre 4). Cet état de fait confirme que dans notre zone l'agressivité climatique est beaucoup plus accentuée durant le printemps et le début de la saison estivale.

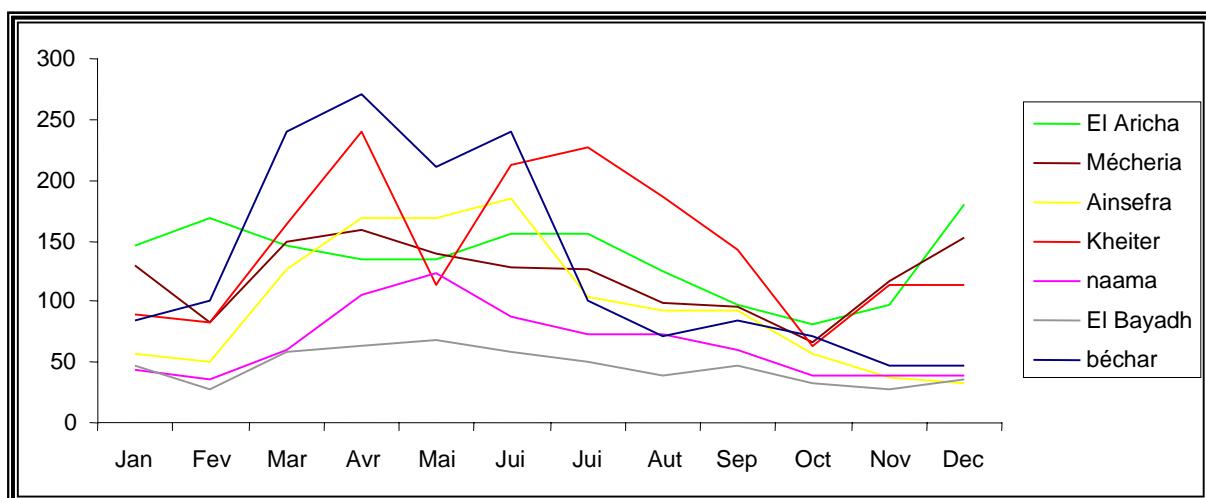


Figure 79 : variation mensuelle de l'indice d'agressivité climatique pour les stations de la steppe occidentale.

8.3.3.1.2. *Élaboration de la couche d'agressivité climatique*

A partir des coordonnées X et Y (projection UTM Zone 30) de chaque station nous avons pu créer une couche géographique de points à laquelle une topologie est appliquée. Chaque point représente une station météorologique à laquelle sont rattachées plusieurs informations. Ces informations (code station, nom de la station et valeur de C) sont structurées dans un fichier attributaire géographique de points. Cependant, la couche géographique ainsi obtenue représente une information ponctuelle non continue dans l'espace. Or cette information discrète s'avère insuffisante et nécessite une interpolation afin de disposer d'une information continue et zonale. Toutefois, le choix du type d'interpolation n'est pas une tâche facile, vu la dimension géographique de la zone et le nombre limité de stations. Dans la pratique la quantité de points à disposition est un facteur limitant dans le choix de la méthode d'interpolation (LOUBIER J.C., 2004). Cependant, aucune méthode d'interpolation ne peut donner un résultat satisfaisant si les données de départ s'avèrent insuffisantes ou de mauvaise qualité. A cet égard, pour le choix de la méthode d'interpolation, nous nous sommes basé sur des recherches bibliographiques (CREUTIN J.N., 1979; LAPLANA R. *et al.*, 1993 et LOUBIER J.C., 2004).

Enfin, nous avons opté pour la méthode d'interpolation de type spline plaque mince. Cette méthode est mieux adaptée à une répartition irrégulière comprenant peu de données. Elle est réalisée à l'aide du logiciel SURFER sur le fichier ponctuel structuré des stations. Nous avons ainsi obtenu la carte d'agressivité climatique (Cf. Figure 80).

Nous restons quand même prudent vis-à-vis de la précision de la carte d'agressivité climatique, car nous n'avons aucun moyen pour procéder à une vérification qualitative de l'interpolation. Si nous avions plus de stations à l'intérieur de la zone d'étude le problème ne se poserait pas. Il suffirait simplement de faire une vérification de la carte avec des stations se trouvant à l'intérieur de la zone et gardées en réserve. Cette vérification serait réalisée en effectuant une différence entre les valeurs observées de l'indice C, et celles estimées par la méthode d'interpolation. Toutefois, il existe une technique récente proposée par LOUBIER J.C., (2004). Elle consiste en la création de stations virtuelles pour l'estimation de la valeur de température en un point inconnu, en se basant sur une série de points de mesure de températures dans un espace (X,Y). L'auteur se basait sur l'hypothèse qu'une même température se retrouve dans des conditions identiques, spatiales et climatiques : on peut donc avancer que la valeur de température en ce point inconnu, est une moyenne des températures

connues pondérées par des poids. Pour le calcul de ces poids, il a fait intervenir l'altitude, l'orientation et la distance de chaque point connu aux stations réelles. Mais l'absence de données nous a obligé à nous contenter du résultat de la carte d'agressivité climatique.

Plusieurs opérations ont été effectuées en vue de l'intégration de cette carte d'agressivité dans la base de données. La figure 81 résume les différentes étapes d'intégration de la carte d'agressivité climatique. Cependant, il y a lieu de noter que la conversion du mode raster en mode vecteur est souvent une source d'erreur liée à la taille du pixel. Ces erreurs se rapportent surtout à la position exacte des objets et aux calculs des surfaces (BURROUGH P.A., 1989). A cet effet, des opérations de nettoyage spatial des polygones ont été effectuées pour la correction du fichier vectoriel.

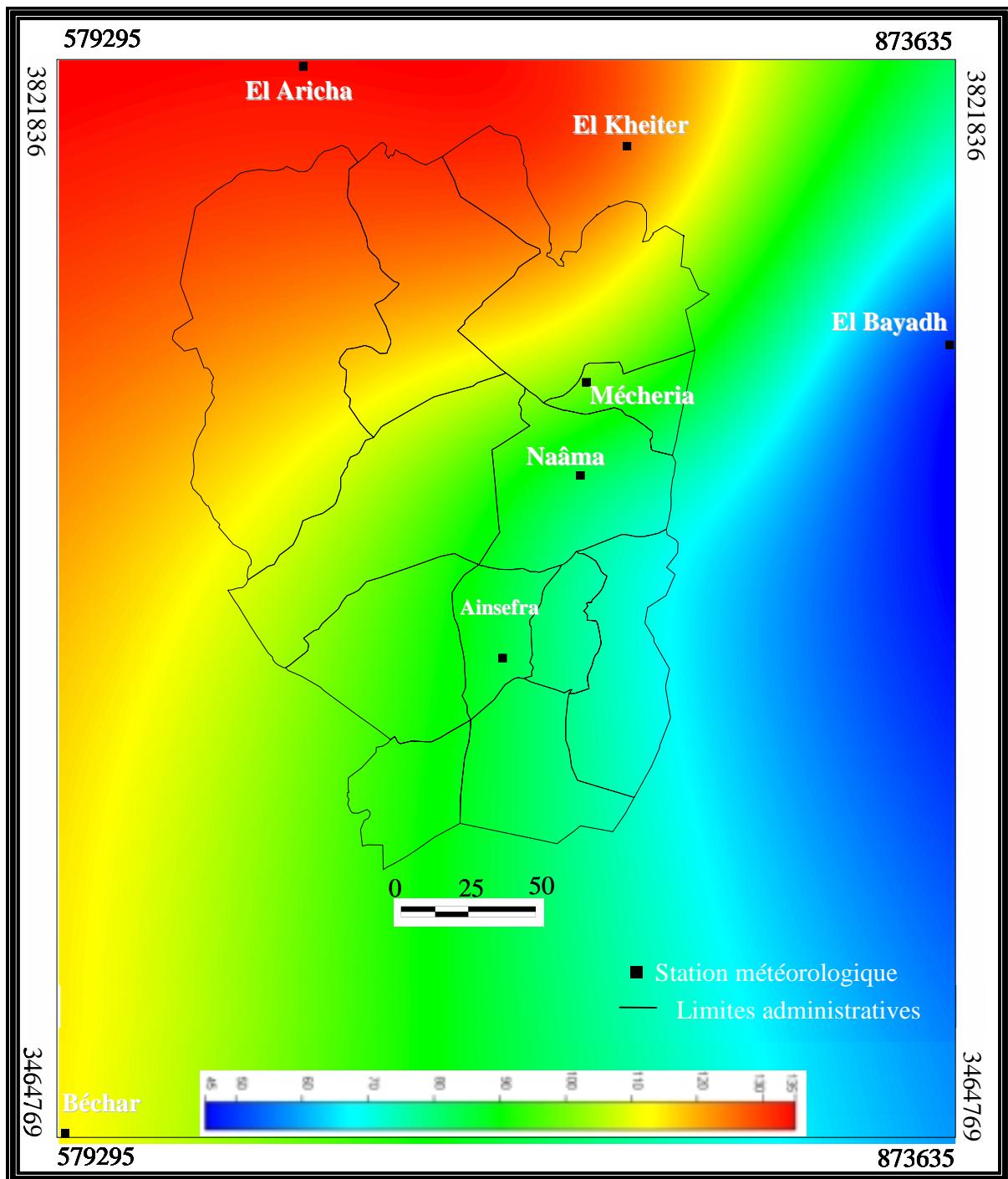


Figure 80 : Carte d'agressivité climatique.

Sur la figure ci-dessus il apparaît nettement qu'il existe un gradient de l'agressivité climatique qui varie du nord-ouest vers le sud-est. Cette gradation de l'indice est liée à l'influence du vent du nord-ouest ainsi qu'à la répartition de la pluviométrie. En effet, l'est est plus arrosé par rapport à l'ouest. Cet état de fait confirme la dominance des vents du nord-ouest dans cette région. Il importe de rappeler que cette carte d'agressivité climatique serait beaucoup plus précise si nous disposions des données de stations couvrant tout le territoire.

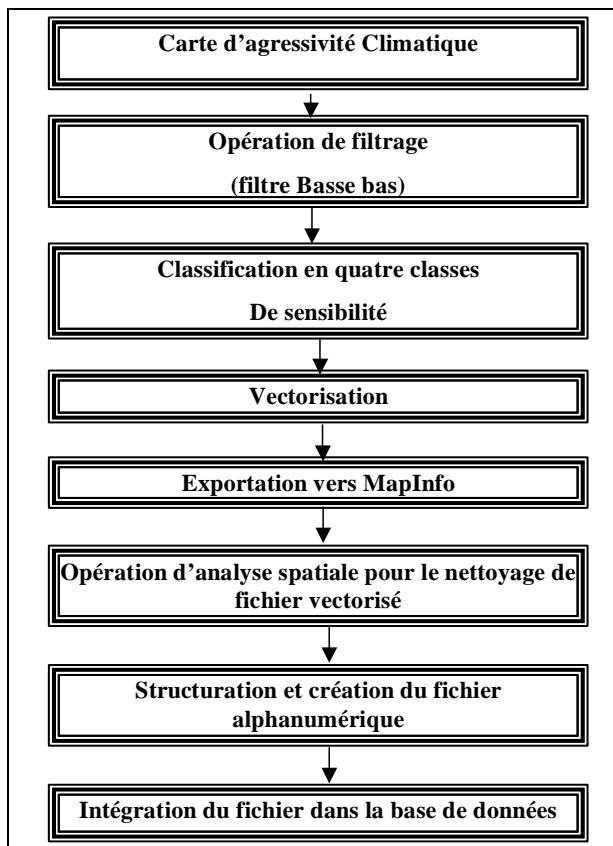


Figure 81 : Les étapes de conversion des fichiers raster en mode vecteur.

8.3.3.2. Couche pédopaysage

Les sols de la région steppique sud Oranaise et leurs caractéristiques morpho-pédologiques constituent une source d'informations très importantes à prendre en compte lors du processus de modélisation du phénomène de l'érosion éolienne. Les sols, du fait de leurs variabilités texturales, structurales,, réagissent inégalement à l'énergie cinétique qui leur est appliquée par le vent. Il est donc indispensable de mettre en lumière les grandes unités pédopaysages que renferme la région d'étude, car à l'intérieur de chaque unité on trouve des particules érodables et d'autres qui ne le sont pas.

Les caractéristiques des sols de la plaine sud Oranaise restent dans leur ensemble insuffisamment connues des pédologues. D'après les travaux de (DURAND, 1954; AUBERT, 1960; BELOUAM *et al.*, 1974; BERAUD *et al.*, 1975; POUGET M., 1980; DJEBAILI S., *et al.*; 1982 et HALITIM A., 1988) in : (HADDOUCH I., 1998) les sols sont en général peu épais, parfois inexistant (forte déflation).

Des travaux pédologiques à petite échelle ont été publiés par l'URBT à l'occasion des études phytoécologiques et pastorales de la région de Mécheria et d'El Kheiter. Or ces travaux restent insuffisants pour la couverture complète de la wilaya. A cet effet, nous tenons à rappeler que l'outil télédétection a été utilisé en vue de déterminer les grandes unités de la carte pédopaysage. Cette dernière est établie en se basant sur les travaux pédologiques de base cités ci-dessus. D'après ces travaux, les classes de sols de la région d'étude sont :

- les sols minéraux bruts (SMB);
- les sols peu évolués (SPE);
- les sols Calcimagnésiques (ScaMg);
- les sols halomorphes.

A ce stade et compte tenu de la non disponibilité de la carte pédologique détaillée nous contenterons d'utiliser la carte pédopaysage.

La carte pédopaysage a subi les mêmes opérations de conversion du mode raster au mode vecteur. Après la conversion du fichier raster, nous avons opté pour affecter à chaque unité pédopaysage un indice de sensibilité à l'érosion éolienne. Cette opération d'affectation est réalisée conjointement avec un enseignant chercheur en pédologie de l'université de Tlemcen. Dès lors, nous nous sommes basés sur plusieurs critères tels que la topographie, la pente, les anciennes cartes pédologiques et observation de terrain, afin de classer chaque unité spatiale pédopaysage en quatre classes de sensibilité : très sensible, sensible, moyennement sensible et peu sensible (Cf. Tableau 55).

Pédopaysage	Code	Morphologie	Pente (%)	Sensibilité
Sols Minéraux Bruts d'érosion.	SMBe	Djebel et versant et affleurement rocheux	> 12	2
Sols Minéraux Bruts d'apport éolien	SMBa	Accumulation sableuse sur les plaines glacis	0-3	3
Sols Peu Évolués d'érosion.	SPEe	Glacis de dénudation		2
Sols Peu Évolués d'apport alluvial.	SPEa	Glacis parcourus par les oueds et les dépressions. Glacis parcourus par les oueds et des dayas anastomosées.	03-06	2
Sols Peu Évolués d'apport colluvial.	SPEC	Piémonts des djebels et les cônes de déjection	06-12	2
Sols Calcimagnésiques	SCMc	Glacis d'érosion sans écoulements différencier	00-06	2
Sols Halomorphes	SH	Chott et sebkha	00-03	3

Tableau 55 : Classes des sols et leurs sensibilités par rapport à l'érosion éolienne.

8.3.3.3. Couche des pentes

La topographie et les structures des reliefs influencent la direction et l'intensité de l'agent dynamique (vent) dans le processus de l'érosion éolienne. Face à ces obstacles naturels il se crée une turbulence qui s'exprime dans les trois dimensions et dont l'action est importante dans le processus des mouvements de particules (COUDE-GAUSSEN G., 1994). De plus, grâce au Système Global d'Action Éolienne (SGAE), MAINGUET M., (1995) a pu montrer que le vent chargé de particules de sables dépose celles-ci dans le versant au vent si la pente est considérée faible ou sous forme de dunes d'écho si elle est forte. De plus, l'étude menée par THOMAS Y.F.,(1975) cité par (LAPLANA R., *et al.*, 1993) a mis en évidence que, pour les pentes supérieures à 20%, la vitesse du vent augmente considérablement, et celui-ci est susceptible de reprofiler le versant face au vent. Par contre, les risques d'érosion sont faibles pour des zones dont la pente est faible et régulière.

Même au niveau de ruissellement et de la circulation des eaux, la topographie joue un rôle primordial dans le bilan hydrique des sols. Ainsi, un sol humide est moins exposé à l'agressivité des vents efficaces qu'un sol sec. En effet, dans les zones arides et semi-arides, les énergies (flux de radiation net) absorbées par les sols plus au moins humides déclenchent une forte évaporation de l'eau contenue dans le sol. Par contre, dans les sols secs, elles favorisent l'échauffement du sol, la création d'une turbulence d'origine thermique et l'accroissement de la capacité de portance de l'air (COUDE-GAUSSEN G., 1994). Dans une étude récente LE HOUEROU H.N., (2005) a signalé qu'un bilan hydrique de deux sols contigus peut varier dans une fourchette allant de 1 à 10.

Vu l'importance de l'information topographique dans la modélisation du phénomène de l'érosion éolienne, nous avons utilisé la carte des pentes afin de caractériser au mieux ce phénomène. Cette carte a été déjà mise en œuvre lors de la création de la carte de pression exercée par la population. Nous avons suivi les mêmes démarches pour la conversion de cette carte en mode vecteur. Plusieurs opérations de structuration de la couche ont été nécessaire afin d'assigner à chaque polygone de la carte un code de sensibilité par rapport au phénomène. Enfin, nous avons obtenu une carte des pentes segmentée en quatre classes de sensibilité (Cf. Tableau 56).

Classe des pentes en (%)	Sensibilité	Code
0 à 6	Peu sensible	1
6 à 12	Moyennement sensible	2
12 à 20	Sensible	3
> 20	Très sensible	4

Tableau 56 : Classes des pentes et leurs sensibilités par rapport à l'érosion éolienne.

8.3.3.4. Couche *pression exercée par la population*

Cette carte a déjà été créée. Cependant en vue de son intégration dans la base de données, nous avons effectué les mêmes démarches que celles évoquées précédemment. A son tour la carte est segmentée en quatre classes de sensibilité (Cf. Figure 82).

8.3.3.5. Carte de synthèse

L'analyse spatiale « croisement » effectuée sur les quatre couches selon l'organigramme de la figure 80 a permis de créer une carte de synthèse. Sur cette dernière, de nouveaux polygones ont été créés ainsi qu'un fichier attributaire qui décrit chaque polygone. La création de ce fichier attributaire est basée sur la multiplication des attributs des deux couches croisées en s'appuyant sur la matrice de croisement suivante :

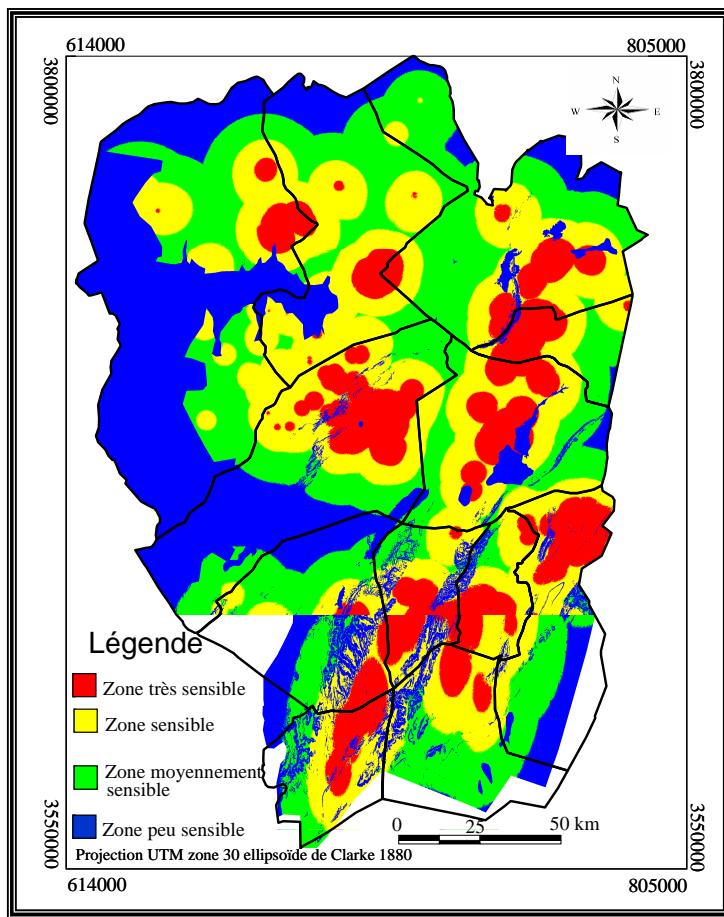


Figure 82 : Carte de pression exercée par la population classifiée.

Sensibilité Classe des couches	Peu sensible	Moyennement sensible	Sensible	Très sensible
agressivité climatique	1	2	3	4
Pédopaysage	1	2	3	4
Premier croisement Agrégation multiplicative	1	2, 3,4	6, 8,9	12,16
Reclassification	1	2	3	4
Pentes	1	2	3	4
Second croisement Agrégation multiplicative	1	2, 3,4	6, 8,9	12,16
Reclassification	1	2	3	4
Pression exercée par la pop	1	2	3	4
Troisième croisement Agrégation multiplicative	1	2, 3,4	6, 8,9	12,16
Reclassification	1	2	3	4

Tableau 57 : Matrice de croisement pour l'élaboration de la carte de synthèse.

Nous attirons l'attention sur le fait que chaque couche intermédiaire (par exemple, croisement de la couche d'agressivité climatique avec la carte pédopaysage) subit une re-classification avant d'être utilisée à son tour pour un second croisement avec la couche des pentes. Ces opérations sont entièrement automatisées et l'utilisateur face à la machine n'a qu'à introduire les quatre couches de données pour qu'il puisse visualiser la carte finale. Par contre, il est important de rappeler que, dans le second modèle, l'opérateur à la possibilité de paramétrier le modèle analytique en affectant à chaque couche un poids favorable ou défavorable au risque de l'érosion éolienne.

La carte de synthèse ainsi obtenue est un document cartographique destiné à éclairer les décideurs et les aménageurs sur les problèmes de l'érosion éolienne en délimitant les espaces en quatre zones de sensibilité. Face à ce document les décideurs, les élus locaux, les aménageurs, les pastoralistes et les écologistes peuvent définir à court terme les actions d'intervention prioritaire, et à long terme la planification et la gestion à une échelle sectorielle en vue de lutter contre la dégradation des terrains des zones arides steppiques Algériennes.

Selon les deux modèles utilisés, le classement des zones sensibles en fonctions des quatre facteurs (climatique, topographique, édaphiques et socio-économiques) ne permet qu'une évaluation approximative du phénomène de l'érosion. Car, dans ces modèles, d'autres considérations ne sont pas prises en compte notamment : la variabilité importante du climat, l'exposition, les itinéraires des mouvements des hommes et des bêtes, l'état de surface et de rugosité du sol, etc.). Malgré les difficultés dans la modélisation de ce type de phénomène, la carte de synthèse fournit un zonage spatial qui peut plus au moins répondre aux besoins exprimés par les utilisateurs ainsi que par les décideurs.

Il est à noter que le contenu de la carte de synthèse peut être amélioré en procédant à une modélisation à échelle plus fine. A cet égard, nous pouvons proposer à l'intérieur de chaque zone de sensibilité de la carte de synthèse une amélioration de précision en utilisant les mêmes modèles mais cette fois ci avec des données géographiques et thématiques à grande échelle. A ce stade il y a lieu d'utiliser des images spatiales à très haute résolution (**Ikonos**, **QuickBird**, **Spot5**, **IRS-P5**, etc.). Ainsi, dans ces conditions, ces images peuvent contribuer sans doute à l'établissement d'une carte beaucoup plus précise.

Il est évident que ces images à très haute résolution sont très utiles dans des études d'aménagement, mais pour en ce qui concerne les zones de grande étendue, leur utilité

devient vite limitée par le facteur coût. Pour donner un ordre d'idée, le coût d'acquisition de ces images est de l'ordre de 50 000 \$⁵ pour couvrir la totalité de la zone. Cette somme colossale d'argent en devise ne peut être investi par les responsables et les élus locaux ayant un budget limité, c'est le cas des communes des zones steppiques.

Donc, il importe de dire que cette démarche demande beaucoup de moyens financiers et de personnels qualifiés dans le domaine du traitement des images à très haute résolution. Comme elle demande une volonté politique réelle vis-à-vis de lutte contre tous phénomènes naturels ou artificiels qui peuvent déstabiliser à la fois l'environnement naturel et la vie socio-économique de la population.

⁵ Cette information est tirée du site internet (<http://www.sapceimaging.com>). Le prix des images Ikonos est de 1.5 euros le km².

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le long du présent travail nous avons essayé, en exploitant des données de télédétection et l'outil SIG, de comprendre les mécanismes de l'ensablement et de la dégradation des sols steppiques dans la wilaya de Naâma.

Notre étude a commencé par la présentation du contexte géographique de la zone d'étude. Naâma fait partie de la plaine sud ouest oranaise. L'analyse de l'évolution des conditions climatiques entre les périodes 1913-1938 et 1978-2001 a révélé les changements majeurs suivants :

- la pluviosité durant la période (1978-2001) a diminué par rapport à la période de (1913-1938). Nous avons enregistré un déficit de l'ordre de 19 et de 33.6% pour Ainsefra et Mécheria respectivement. De plus, l'analyse climatique a révélé qu'à Mécheria, 83% des précipitations annuelles sont inférieures à la valeur moyenne annuelle de la période (1913-1938).
- L'aridité du climat s'est accentuée. La station de Mécheria est passée de l'étage aride supérieur à hiver frais à l'étage aride inférieur à hiver frais. De même, Ainsefra est passée de l'étage aride inférieur à hiver froid à l'étage aride inférieur à hiver frais;
- le pourcentage des années de plus de 9 mois secs a doublé par rapport à l'ancienne période. Pendant la saison humide le pourcentage de succession de 6 mois secs a doublé ; tandis que durant la saison sèche le pourcentage entre les deux périodes a presque quadruplé.

L'analyse et l'interprétation des données anémométriques pour la période 1985-1996 a mis en évidence que les deux régions de Mécheria et Ainsefra font partie des zones à moyennes et à fortes énergies éoliennes respectivement.

Le sens de migration potentielle de sable (de la direction de la résultante moyenne annuelle) se fait dans la direction du ouest-nord-ouest pour ces deux régions (293° N pour Mécheria et 286° N pour Ainsefra). De plus, le coefficient de migration mensuelle (RDP/DP) montre l'existence d'un déplacement de sable qui se fait sur de longues distances de septembre à avril ($RDP/DP > 0.3$). Le reste de l'année le vent souffle dans toutes les directions sans qu'il en résulte un déplacement notable de sable. La transition se fait à partir du mois de mai du nord-nord-ouest à l'ouest et du ouest-nord-ouest à nord-ouest pour Ainsefra et Mécheria respectivement.

La lecture historique du peuplement nous a permis de comprendre en partie comment s'est amorcée la dégradation des terres steppiques.

Depuis des siècles, la steppe a été peuplée par des tribus nomades. Une population qui avait son genre de vie, ses particularités et sa propre logique.

En bons connasseurs des lois de reconstitution assurée par la nature, les nomades –avec leurs troupeaux- pratiquaient des transhumances continues vers le Tell en été et vers le sud jusqu'au Mzab et Timimoun en hiver à la recherche des pâturages et des herbes.

La réduction des territoires de transhumance, puis la sédentarisation des nomades entamée durant la colonisation et poursuivie après l'indépendance a complètement bouleversé l'équilibre de l'écosystème steppique.

Aujourd'hui plus de 71.3% de la population totale de la wilaya de Naâma est agglomérée en ACL et AS.

Sur le plan technique, dans le domaine de la gestion et de l'exploitation des ressources naturelles, les données issues de la télédétection deviennent de plus en plus performantes et prépondérantes. Ces données viennent alimenter la base de données. Leur intégration implique, cependant, la résolution d'un certain nombre de problèmes générés par la structure raster des images, les capacités de stockage qu'elles impliquent, leur résolution et leur conversion en format vectoriel. Mais la performance la plus considérable, vient sans aucun doute, de la forme numérique de ces données qui permet la mise en place de véritables banques de données susceptibles d'être archivées et gérées par ordinateur.

Les deux principaux objectifs de cette étude à savoir le traitement des images TM pour l'élaboration de la carte d'occupation du sol, la cartographie de l'évolution de la steppe par la détection des changements et le développement d'un prototype ont été atteints.

A partir des images ETM+ de Landsat 7 nous avons pu établir la carte d'occupation du sol du milieu steppique. Ces images ont été traitées et analysées pour la réalisation de cette carte. Nous nous sommes basé sur les caractéristiques multispectrales des pixels ainsi que sur la réalité du terrain pour mettre en évidence les caractéristiques de la surface du sol en un milieu aride.

L'utilisation des données de télédétection nous a permis de suivre à l'échelle régionale l'évolution spatiotemporelle de la dynamique éolienne dans la wilaya de Naâma sur une période de 45 ans. Nous avons pris comme document cartographique de référence les cartes topographiques à l'échelle 1 /200 000 dressées par l'IGN en 1957. Il y a lieu de signaler qu'aucun document cartographique, hormis les témoignages des gens âgés et des documents d'archives, n'a été trouvé pour notre zone d'étude avant la date de 1957. Il aurait été très bénéfique d'avoir à disposition des documents anciens pour bien comprendre l'évolution du phénomène de l'ensablement.

Nous tenons à signaler que l'étude diachronique a comporté des phases délicates notamment le choix du modèle mathématique pour la correction atmosphérique (absolu ou relatif) ainsi que la détermination du paramètre de la réflectance réelle du sol pour les échantillons test. Ce paramètre nécessite un matériel adéquat (spectroradiomètre) ou une banque de données sur la signature spectrale des objets. De même, dans cette étude il s'est avéré que les indices (indice de végétation, indice de brillance, indice de cuirasse) sont peu efficaces pour la détection de changement dans une zone aride où les caractéristiques du sol et la présence du sable influencent considérablement l'aspect spectral des objets.

L'étude diachronique s'est basée sur l'utilisation des images multidiplines (MSS, TM et ETM+). Cette étude a permis de cartographier l'évolution des changements des zones steppiques en exploitant trois techniques : la technique basée sur l'utilisation des SIG et des images satellites, l'utilisation des compositions colorées multidiplines et de l'indice dynamique de couverture de sols (IDCS). A l'aide de ces trois techniques nous avons pu mettre en lumière les zones de changement qui ont eu lieu pour une période fixée au préalable.

A l'issue de cette étude, il apparaît que les méthodes numériques de traitement supervisé des données TM et MSS de LANDSAT apportent une contribution tout à fait performante à la cartographie de l'occupation du sol à moyenne échelle (1/250000 à 1/100000) en zone aride et à l'aménagement de ces régions. En effet, l'utilisation des satellites d'observation de la terre pour l'inventaire et la cartographie de l'occupation des ressources naturelles et artificielles trouve son

efficacité, en zone aride comme ailleurs, par la mise en place de véritables systèmes d'information géographique.

Nous pouvons souligner qu'une étude multitemporelle devrait permettre d'évaluer les évolutions à moyen et court terme, notamment celles liées aux processus de dégradation du sol et permettre de dresser des scénarios prospectifs pour l'aménagement de ces régions. Le champ d'application de l'imagerie satellitaire reste ainsi largement ouvert à toute approche multidisciplinaire permettant de regrouper et de confronter dans des systèmes d'information géographique des données diverses permettant d'élaborer et d'expérimenter de véritables approches méthodologiques concernant un phénomène localisé spatialement.

L'approche méthodologique développée a conduit à la mise en oeuvre d'un prototype apte à prendre en compte les données pluri-thématisques et multi-sources, exploitées par un système d'information géographique tel le SIG MAPINFO.

Le prototype réalisé n'est pas rigide. Non seulement l'introduction de nouveaux thèmes à partir des données exogènes et l'incorporation de nouvelles fonctionnalités sont toujours possibles, mais de nouvelles données peuvent être créées à partir des données déjà existantes : par combinaison de différentes couches, par sélection de certains éléments d'une carte, ou par traitement.

Sans vouloir rentrer dans l'analyse du processus de prise de décision dans la gestion de cet espace spécifique -une étude qui pourra faire l'objet d'une autre thèse-, le prototype développé n'aura une véritable utilité que s'il est exploité par l'ensemble des acteurs participant à la gestion de cet espace, tous domaines confondus.

Ces acteurs peuvent au fil du temps proposer des recommandations et des suggestions afin d'améliorer ou d'ajouter des nouvelles fonctionnalités telles que l'intégration d'un module pouvant prendre en compte en temps réel les données fournies par le système GPS pour le suivi des itinéraires empruntés par les animaux et les agropasteurs. Cela serait très utile dans la mesure où les responsables et les aménageurs pourraient limiter les comportements irresponsables de la population steppique qui engendrent d'importantes dégradations aux ressources naturelles.

Ces acteurs restent de véritables interlocuteurs qui favorisent à la fois l'articulation entre la réflexion scientifique et l'opérationnalité sur le terrain.

Avec les différentes fonctionnalités qu'il propose pour la manipulation et le traitement des données, le prototype offre une contribution modérée mais évolutive face aux problèmes complexes de la dégradation des terres et de l'ensablement.

Nous considérons qu'il reste beaucoup de travail à faire dans ce domaine pour atténuer les effets de l'ensablement qui menace la steppe entière et dont les conséquences sont de plus en plus apparentes.

D'après nos estimations à l'aide des images satellitaires récentes, il s'est avéré qu'entre 1957 et 2002, 42% de la superficie totale est actuellement ensablée dans la wilaya de Naâma, soit une superficie de 1252650 hectares. Ce chiffre est alarmant –supérieur à la superficie de l'État du Liban au moyen orient- et montre l'ampleur du phénomène dans la région steppique du sud ouest Algérien. Pour arriver à cette fin, il est recommandé :

- d'Instaurer une nouvelle approche multisectorielle des différents organismes nationaux compétents à l'échelle nationale et internationale pour l'élaboration de stratégies communes pour lutter contre la dégradation des terres et de l'ensablement. Cette façon de faire éviterait d'une part, les actions contradictoires entreprises par chaque organisme et d'autre part, limite les désaccords d'autorité entre les différents acteurs dans la gestion de la steppe ce qui pourrait sans doute influencer l'impact de ces actions sur le terrain. Les hauts responsables doivent mettre fin aux travaux menés par ces organismes de manière ponctuelle et hermétique. Il est souhaitable qu'ils encouragent les travaux de recherche reposant sur la multidisciplinarité, la concertation et l'implication de la population concernée aux actions recommandées en faveur de l'amélioration des terres steppiques, la fixation des accumulations sableuses, la mise en place des mécanismes incitatifs de promotion de l'investissement public et privé (PME/PMI) et le développement de la recherche dans le domaine de l'énergie solaire et éolienne. Plusieurs travaux affirment que n'importe quel aménagement est voué à l'échec si les conditions de vie de la population ne se sont pas améliorées;

- d'intégrer dans le prototype évolutif les différentes approches ELECTRE (ELECTRE I, Is, II, III, IV). Ces approches permettent de mettre à la disposition des décideurs un outil d'aide à la décision pour leurs faciliter la tâche dans une situation où le choix d'un scénario parmi d'autres est des plus complexes. Il importe de noter que le point fort de ces méthodes ELECTRE tient au fait qu'elles intègrent en partie des informations recueillies auprès des décideurs;
- d'exploiter les images du satellite ALSTA¹ pour la cartographie de la steppe et la mise à jour des documents cartographiques.

En guise de perspectives il est envisagé :

- de tester l'utilisation des images à très haute résolution (Ikonos, Quickbird, Spot). Ce type d'image est très important à exploiter pour définir dans le temps et dans l'espace d'une façon plus précise les accumulations sableuses (barkhane, nebkhha, bouclier, amas de sable, etc.) de dimension inférieure à la taille du pixel du satellite Landsat. Cela faciliterait considérablement la tâche des spécialistes de l'aménagement. Mais le coût élevé de ces images, la dimension de la steppe et la nécessité de disposer d'outils de traitement adéquat, nous laisse peu optimiste. De même, une étude plus détaillée des méthodes d'échantillonnages en utilisant un matériel adéquat (Radiomètre de terrain) pourrait être utilisée.
- un autre point important à souligner, concerne la multiplication des sites test qui permettra d'affiner le prototype et de doter l'ensemble du territoire de la steppe d'un outil informatique;
- la mise à jour de la base de données à un intervalle de temps étudié.

En dépit des répercussions environnementales et socio-économiques, la steppe algérienne reste un patrimoine naturel et culturel qui doit être préservé.

¹ Micro satellite Algérien lancé le 28 novembre 2002; la résolution du pixel est de 32 mètres et la répétitivité est de 5 jours.

BIBLIOGRAPHIE

ABDELGUERFI A. et LAOUAR M. 1996 : “La privatisation du foncier, impact sur l'environnement et sur les ressources génétiques en Algérie”. in : Pastoralisme et foncier : impact du régime foncier sur la gestion de l'espace pastoral et la conduite des troupeaux en régions arides et semi-arides. 17-19 octobre 1996, Gabès, Tunisie. *Option Méditerranéennes* n° 32, pp. 203-207.

ABDELGUERFI A. et LAOUAR M. 2000 : “Conséquences des changements sur les ressources génétiques du Maghreb”. *Option Méditerranéennes*, série A, n° 39, pp. 77-87.

ABDELGUERFI A. ; LAOUAR M.; TAZI M. et GADDES N. 2000 : “Présent et futur des pâturages et des légumineuses fourragères en région méditerranéenne. Cas du nord de l'Afrique et de l'ouest de l'Asie”. *Option Méditerranéennes*, série A, n° 39, pp. 461-467.

AIDOUD A. 1989 : Contribution à l'étude des écosystèmes pâturels des hautes plaines Algéro-Oranaise. Fonctionnement, évaluation, et évolution des ressources végétales. Alger, USTHB, Thèse de doctorat, 240 p.

AIDOUD A. 1993 : Les changements climatiques dans les espaces steppiques. Causes et implication pastorale. in : Stratégie de mise en œuvre du développement pastoral (actes du colloque), Ifrane, Maroc, pp. 9-14.

AIDOUD A. ; et TOUFFET J. 1996 : “La régression de l'alfa (*stipa tenacissima*) graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes”. *Sécheresse* (Paris), vol. 7, no 3, pp. 187-193.

ALLIGNOL F. 1997 : Analyse spatiale et aide à la décision pour la recherche de gisements alluvionnaires - application à la Loire supérieure (42-France). Université Jean Monnet de Saint-Étienne, Thèse de doctorat, p.255.

ANAT. 1998 : Les villes dans la revitalisation des espaces hauts plateaux. Alger, ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire, édition 1998, 315 p.

ANDREFOUËT S.J.; MARITORENA S. et LOUBERSAC L. 2002 : Un bilan de la télédétection appliquée aux milieux coralliens. *Océanis*, vol. 26, no 3, pp.311-349.

AUBERT G.; et MAIGNIEN R. 1948 : “L'érosion éolienne dans le nord du Sénégal et du Soudan français”. In : *Bulletin agricole du Congo Belge* (Communication présentée à la conférence Africaine des sols, Goma, 1948), Congo belge, vol. XL, Fasc. 2, 1948, pp. 1309-1316.

BAGNOLD R.A. 1941 : The physics of blown sand and desert dunes. Methuen, London, 265 p.

BANNARI A. ; HABOUDANE D. et BONN F. 1999 : intérêt du moyen infrarouge pour la cartographie des résidus de cultures : cas du capteur ETM+ de Landsat-7. in : *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999)*, Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 319-332.

BALLAIS J.L. 1994 : “Désertification et barrage vert en Algérie : le cas des Zibans”. *Revue de géomorphologie dynamique*, Paris, t. XLIII, no 1, pp. 01-08.

BARDINET C. 1994 : “Télédétection de l’aridité et de l’environnement en Afrique du Sahara au Sahel”. *Revue de géomorphologie dynamique*, Paris, t. XLIII, no 1, pp. 09-22.

BAUDAT J. 2003 : Méthodologie pour la spatialisation d’un suivi de la faune sauvage dans une étude intégrée de la désertification (ROSELT) Étude de cas au sud du Maroc : la vallée de l’oued Mird. SILAT, France, Master, 38 p.

BÉDARD Y. et PRINCE J. 1989: Information engineering for the development of spatial information systems. Conférence nationale sur les SIG. Ottawa, Canada.

BEDRANI S. 1993 : La place des zones steppiques dans la politique agricole Algérienne. Paralelo 37, no 16, pp. 43-52.

BÉDARD Y. et PRINCE J. 1989 : Information engineering for the development of spatial information systems. Conférence nationale sur les SIG, Ottawa.

BEDRANI S. 1996 : Foncier et gestion des ressources naturelles en Afrique du nord. Cas de l’Algérie : le foncier et la gestion des ressources naturelles dans les zones arides et semi-arides d’Afrique du nord. Algérie, OSS, 3-32 p.

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

BELGHITH A. 2003 : “Les indicateurs radiométriques pour l’étude de la dynamique des écosystèmes arides (région de Zougrata, sud-est Tunisien)”. *Sécheresse* (Paris), vol. 14, no 4, pp. 267-274.

BENABADJI N. et BOUAZZA M. 2000 a : Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à Artémisia herba-alba Asso. Dans l’Oranie (Algérie occidentale). *Sécheresse* (Paris), vol. 11, no 2, pp.117-123.

BENABADJI N. et BOUAZZA M. 2000 b : Quelques Modifications Climatiques Intervenues dans le Sud-Ouest de l’Oranie (Algérie Occidentale). *Revue. Energ. Ren. Vol.3*, pp.117-125

BENALLA M. ; ALEM E. ; ROGNON P. ; DESJARDINS R. ; HILALI A. et KHARDI A. 2003 : Les dunes du Tafilalet (Maroc) : dynamique éolienne et ensablement des palmeraies. *Sécheresse* (Paris), vol. 14, no 2, pp.73-83.

BENAMRANE D. 1980 : Agriculture et développement en Algérie. Alger, édition société nationale d’édition et de diffusion, 269 p.

BENCHETRIT M. ?: L’érosion actuelle et ses conséquences sur l’aménagement en Algérie. France, Presse universitaire de France, 216 p.

BENMOHAMMADI A. ; BENMOHAMMADI L. ; BALLAIS J.L. et RISER J. 2000 : “Analyse des interrelations anthropiques et naturelles : leur impact sur la recrudescence des

phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc (vallée de Drâa et vallée de ziz". *Sécheresse* (Paris), vol. 11, no 4, pp. 297-308.

BENNOUNA A. 1995 : "Méthodologie de caractérisation des parcours subdésertiques (région de Ouarzazate, Maroc)". in : Séminaire sur les systèmes d'information géographique pour la gestion durable des ressources naturelles en Afrique, AFRICAGIS, Abidjan, 1995, 26 p.

BENSAID A. et SMAHI Z. 2003. Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques. *Revue Télédétection*, n° 5, Vol. 3. ISSN : 1028-7736.

BENSAID A. et SMAHI Z. 2002. "The use of the relative and absolute models to the calibration of Landsat TM data. Application to the semi-arid land of Laghouat (Algeria)". in : Séminaire sur le second Workshop of the EARSeL Special Interest Group on remote sensing for developing countries Bonn, Allemagne, ISBN:2-908885-55-7.

BENSAID A. 2001 : Érosion éolienne en milieu aride en Algérie par télédétection. Liège, Belgique, Mémoire de DESS, 42 p.

BENSAID A. 1997 : Traitement des données multi-sources et conception d'une base de données dans un SIG en vue de la caractérisation d'un milieu physique, application à une zone steppique au nord de Laghouat. Centre National des Techniques Spatiales, Arzew, Algérie, Thèse de magister, 122 p.

BENSAID S. 1995 : Bilan critique du barrage vert en Algérie. *Sécheresse* (Paris); no 6, pp. 247-255.

BERGAMETTI G. 1997 : "Zones arides et érosion éolienne". in : Les climats subtropicaux et leur évolution : de l'observation spatiale à la modélisation, Centre National d'Etudes Spatiales (CNRS), Toulouse, Éditions CÉPADUÈS, pp. 547-557.

BESSAOUD O.; BOURBOUZE A. et CAMPAGNE P. 2000 : Problématique de développement rural des zones sèches dans la région Moyen Orient et Afrique du Nord. Contribution à la mise à jour du rapport «From vision to action for rural development», la Banque Mondiale, Washington.

BLOTTIERE M.J. ND : Les productions Algériennes. Cahiers du centenaire de l'Algérie. Publications du comité national métropolitain du centenaire de L'Algérie, 93 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.

BOUKHOBZA M. 1992 : Monde rural : contraintes et mutations. Alger, Algérie, Office de Publication Universitaire (OPU), 325 p.

BOUKHOBZA M. 1982 : L'agropastoralisme traditionnel en Algérie, de l'ordre tribal au désordre colonial. Alger, Algérie, Office de Publication Universitaire (OPU), 458 p.

BOURBOUZE A. 2000 : Pastoralisme au Maghreb : la révolution silencieuse. <http://www.pastoralisme.org/documents/articleBBZMaroc.doc> (consulté le 2 mars 2005), 18 p.

BOURCIER A.; BOURCIER J.C. et POUCHIN T. 1999 : “Appréhension de la cinématique paysagère par télédétection spatiale en estuaire de Seine (Normandie, France) : contribution au programme national de recherche sur les zones humides”. in : *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999)*, Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 215-223.

BOUZENOUNE A. 1999 : Etude portant projet de classement du site de Oglat ed Deïra en aire protégée. Projet relatif à la conservation et à la biodiversité et de la gestion durable de ressources naturelles, Direction générale des forêts, <http://www.naturevivante.org/oglat.htm> (consulté le 16 novembre 2005), 100 p.

BROUCHIER C. 1998 : Approche méthodologique et opérationnelle pour l’élaboration d’un SIG au sein de l’ONG Action contre la Faim. SILAT, France, Master, 31 p.

BULLARD J.E. et al. 1996: "Wind energy variations in the south-western Kalahari desert and implication for linear dune field activity". In: *Earth surface processes and landforms*, vol. 21, pp. 263-278.

BULLARD J.E. et al. 1997: "A notes on the use of the FRYBERGER method for evaluating potential sand transport by wind". In: *Earth surface processes and landforms*, vol. 67, pp.499-501.

BURROUGH P.A. 1989: Principles of geographical information systems for land resources assessment. Calrendon press Oxford, 194 p.

CALLOT Y. et OULEHRI T. 1996 : “Géodynamique des sables éoliens dans le nord-ouest saharien : relation entre aérologie et géomorphologie”. *Géodinamica acta*, Paris, 9, 1, pp. 1-12.

CALLOT Y.; MERING C. et SIMONIN A. 1994: “Image analysis and cartography of sand hill massifs on high resolution images: application to the great western erg (NW of Algerian Sahara)”. *International Journal of remote sensing*, vol. 15, no 18, pp. 3799-3822.

CALLOT Y. 1987 : Géomorphologie et paléo-environnements de l’Atlas Saharien au grand erg occidental, dynamique éolienne et paléo-lacs holocènes. Université pierre et Marie Curie, Paris, Thèse de doctorat, p.

CHAIEB M. et ZAAFOURI M. 2000 : “L’élevage extensif, facteur écologique primordial de la transformation phisyonomique du cortège floristique”. *Option Méditerranéennes, série A, n° 39*, pp. 217-222.

CHAVEZ G.L. 1982: “Statistical method for selecting Landsat MSS ratio”. In: *Journal of Applied photographic engineering*, 8(3), pp. 23-30.

CHEPIL W.S.; SIDDOWAY F.H. et ARMBRUST D.V. 1962: “Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields”. In: *Journal of Soil and Water Conservation* 17(4), pp. 162-165.

CHOMETTE O.; LEGRAND M. et MARTICORENA B. 1999 : Determination of the wind speed threshold for the emission of desert dust using satellite remote sensing in the thermal infrared. *Journal of Geophysical Research* 104(D24): pp. 31207-31215.

CNTS et MINISTÈRE DE L'HYDRAULIQUE 1988 : Inventaire national des nappes alfatières. Rapport de la 1ère, 2ème, 3ème et 4ème phases, Arzew, Algérie.

COLONEL NIOX 1890 : Géographie militaire-Algérie et Tunisie. Second édition, <http://aj.garcia.free.fr> (consulté le 15 septembre 2005), 44 p.

CORNET A. et DELEAU P. 1951 : Carte Géologique au 1/500.000. Publiée par le service de la Carte Géologique d'Algérie.

COTE M. 1996 : L'Algérie espace et société. France, édition Masson/Armand Colin, 253 p.

GOUDÉ-GAUSSEN G., 1995 : “L'érosion éolienne : Aspects théoriques”. In : Désertification et aménagement au Maghreb, Edition l'Harmattan, Paris, pp.133-155

GOUDÉ-GAUSSEN G., 1994 : “Érosion éolienne au sahel et sécheresse”. *Sécheresse* (Paris), vol. 5, no 3, pp. 199-210.

COUDÉ-GOUSSEN G. et ROGNON P. 1995 : Désertification et aménagement au maghreb. Paris, édition l'Harmattan, 313 p.

COUDERC R. 1973 : “Remarques sur le concept de région appliquée à la steppe de l'Algérie occidentale”. *Option Méditerranéennes* n° 23, pp. 91-102.

COUDERC R. 1975 : “De la tribu à la coopérative : aperçu de l'évolution des hautes plaines oranaises”. *Option Méditerranéennes* n° 28, pp. 65-74.

COUDERC R. 1979 : Géographie et développement : les hautes steppes sud-Oranaises. Thèse de Doctorat, Montpellier III, 655 p.

COUREL M.F.; BICHERON P.; MOUGIN E. et JARLON L. 1999 : “Contribution de la télédétection à l'étude de la désertification : exemple choisis en Afrique de l'ouest”. In : *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999)*, Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 113-118.

CREUTIN J.D. 1979 : Méthodes d'interpolation optimale de champs hydrométéorologiques Comparaison et application à une série d'épisodes pluvieux cévenols. INPG, Grenoble, Thèse, 131 p.

DAGET P.H. et GORDON M. 1995 : Pastoralisme : troupeaux, espaces et sociétés. *Hattier-AUPELF*. UREF, Paris.

DAGET P.H. et POISSONNET J. 1971 : Une méthode d'analyse phytoécologique des prairies. Critères d'applications. *Ann. Agron.*, 22 (1), pp. 5-41.

DAOUD B.H. 1997 Intégration de l'analyse multicritère dans les systèmes d'information géographique : développement d'un prototype MapInfo-Electre. Centre National des Techniques Spatiales, Arzew, Algérie, Thèse de magister, 93 p.

DEMANGEOT J. ?: Les milieux naturels désertiques. Paris, Centre de Documentation Universitaire (CDU), 300 p.

DESJARDINS R.; ALEM E.; ROGNON P.; MAUPIN P.; NDIAYE I. et BENALLA M. 1999 : “Sur l'ensablement des palmeraies : apport de la télédétection numérique dans un secteur menacé du sud-est du Maroc”. in : *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999)*, Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 127-139.

DESJARDINS R.; ROGNON P.; BENALLA M. et ALEM E. 2005 : progrès importants des études sur l'évolution des dunes grâce à l'utilisation combinée des satellites civils et militaires : l'exemple du Tafilalt (Maroc). *Sécheresse* (Paris), vol. 16, no 3, pp.153-164.

DESPOIS J. 1955 : La Tunisie orientale. Sahel et basse steppe étude géographique. PUF Paris, 554 p.

DIRECTION GÉNÉRALE DES FORÊTS (DGF) 1999 : Rapport national relatif à la mise en œuvre de la convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification. Alger, 23 P.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENVIRONNEMENT (DGE) 2001 : Élaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. Alger, Communication nationale initiale, Projet national ALG/98/G31, 131 p.

DJEBAILI S.; ACHOUR A.; DJELLOULI Y. et KADIK L. 1982 : Carte phytoécologique de l'Algérie : Mécheria. Carte publiée par le Centre de recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres (CRBT), Alger, Algérie.

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

DONNADIEU G.; DURANT D.; NEEL D.; NUNEZ E. et SAINT-PAUL L. 2003 : L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ? Synthèse des travaux du Groupe AFSCET. <http://www.afscet.asso.fr/SystemiqueApproch.pdf> (consulté le 05 septembre 2005), 11p.

DUBIEF J. 2001 : Données météorologiques du Nord de l'Afrique à l'équateur. Paris, édition Karthala, 274 p.

EL DJIHAD M.D. 2003 : Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia (Maroc central) : aspects et fréquences. *Sécheresse* (Paris), vol. 14, no 3, pp.157-167.

EL GUAROUANI A. et BOUSSEMA M.R. 2000 : “Utilisation du système d'information géographique (SIG) et des données de télédétection pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle régionale”. *International Journal of remote sensing*, vol. 21, no 15, pp. 2811-2830.

FAO 1979: A provisional methodology for soil degradation assessment. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.

FAO 1960 : La défense contre l'érosion éolienne. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, 99 p.

FLORET C.; LE FLOC'H E. et ROMANE F. 1981 : “Dynamique de systèmes écologique de la zone aride, Application à l'aménagement sur les bases écologiques d'une zone de la Tunisie présaharienne”. *Acta Ecologica/Ecologica Applicata*, vol. 2, no 3, pp.195-214.

FLORET C. et PANTNIER R. 1982 : L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et documents de l'ORSTROM n° 150, 544 p.

FLOYD F. et SABINS J.R. 1986 : Remote sensing : principales and interpretation. Second édition, New York, 1986.

FRYBERGER S.G. 1979: Dunes forms and wind regime. In: McKee, E.D. (edition) A study of global sand seas. U.S. Geological survey Professional paper, pp. 137-169.

GARDARIN G. 1993 : Maîtriser les bases de données, modèles et langages. Paris, édition Eyrolles, 347 p.

GODARD A. et TABEAUD M. 2004 : Les climats, mécanismes, variabilité, répartition. Paris, édition Armand Colin (3^{ème} édition), 217 p.

GUEYE M. et OZER A. 1999 : “Apport de la télédétection à l'étude de la transformation de l'agriculture et de l'environnement dans le département de Bignoma (Sénégal méridional)”. in : *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999)*, Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 141-151.

GUILLERMOU Y. 1990 : “Le développement pastoral en Algérie : dirigisme ou laissez-faire”? Cah. Sci. Hum. 26 (1-2), France, pp. 155-171.

HABOUDANE D.; BONN F.; ROYER A.; SOMMER S. et MEHL W. 1999 : “Utilisation des indices décrivant la forme des spectres pour l'évaluation de la dégradation des sols d'un milieu semi-aride au sud-est de l'Espagne”. in : *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999)*, Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 153-161.

HACK J.T. 1960. “Interpretation of erosional topography in humid temperate regions”. In: American Journal of Science, 258A: 80-97.

HADDOUCHE I. 1998 : Cartographie pédopaysagique de synthèse par télédétection « images Landsat TM». cas de la région de Ghassoul (El-Bayadh). INA, Alger, Thèse de Magister.

HADEID M. 1996 : Croissance et développement de petites agglomérations et leur rôle dans l'organisation de l'espace de la steppe sud oranaise Algérie. Université d'Es-senia, Oran, Thèse de Magister, 159 p.

HELLAL B.; BENSEDDIK B.; AYAD N. et BENHASSAINI H. 2004 : “La régénération dans la steppe du sud oranais en Algérie occidentale”. *Sécheresse* (Paris), vol. 15, no 2, pp. 173-179.

HUMBERT M., 1991 : “Les bases de données”. Éditions Hermès, Paris 1991.

JONES D.K.C.; COOKE R.U. ET WARREN A. 1986: Geomorphological investigation, for engineering, of blowing sand and dust hazard. In: *quarterly journal of engineering geology*, London, vol. 19, pp. 251-270.

KADI HANIFI H. 1998: L’alfa en Algérie. Alger, Algérie, Thèse de doctorat, USTHB, 270 p.

KARIBI L.; BOUDAD L.; KRIMOU A. et KHARDI A. 2003 : “Etude préliminaire de la dynamique des dunes continentales dans le sud est marocain (Tafilalt, Maroc)”. *Sécheresse* (Paris), vol. 14, no 3, pp. 149-156.

KHALDOUN A. 2000 : “Evolution technologique et pastoralisme dans la steppe Algérienne. Le cas du camion Gak en hautes plaines occidentales”. *Option Méditerranéennes, série A, n° 39*, pp. 121-127.

LANCASTER N. 1988: “Controls of eolian dune size and spacing. *Geology* no 16, pp. 972-975.

LANCASTER N. 1982: “Dunes on Skeleton coast, Namibia (south west Africa): Geomorphology and grain size relationships”. In : *Earth surface processes and landforms*, n° 7, pp. 575-587.

LANCASTER N. et al. 1987 : "Dune of de gran desierto sand Sea, Sonura, Mexico". In: *Earth surface processes and landforms*, vol. 12, pp. 277-288.

LAPLANA R.; BEUFFE H.; PEYNICHOUT C.; BRUNSTEIN D. et DE LABRUSSE O. 1993 : Développement d’un outil d’aide à la décision en matière de défrichements à vocation agricole. Série : production agricole et économie agricoles, CEMAGREF, Bordeaux, 168p.

LE HOUEROU H.N. 1959 : Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Université d’Alger, Institut de recherches sahariennes, Alger, 510 p.

LE HOUEROU H.N., 1991 : La Méditerranée en l'an 2050 : impacts respectifs d'une éventuelle évolution climatique et de la démographie sur la végétation, les écosystèmes et l'utilisation des terres. *La Météorologie* no 36, pp. 4-37.

LE HOUEROU 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.

LE HOUEROU H.N. 1997 : “Biodiversité végétale et ressources génétiques en Afrique”. *Sécheresse* (Paris), vol. 8, no 2, pp. 117-122.

LE HOUEROU H.N. 2005 : “Problèmes écologiques du développement de l’élevage en région sèche”. *Sécheresse* (Paris), vol. 16, no 2, pp. 89-96.

LE HOUEROU H.N. ND : “Évolution climatique et désertification”. in : Les climats subtropicaux et leur évolution : de l’observation spatiale à la modélisation, Toulouse, éditions Cépaduès, pp. 639-647.

LEMSANNI A.; AÏT BELAÏD M.; SMIEJ M.F. et EL YAMINE N. 1999 : “Suivi de la désertification au Maroc à partir d’images AVHRR de NOAA”. in : *La télédétection en*

francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999), Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 171-176.

LIVINGSTONE I. 1989: Monitoring surface change on a Namib linear dune. Earth surface processes and landforms, vol no 14, pp. 317-332.

LOCATELLI B. 2000 : Pression démographique et construction du paysage rural des tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar). Montpellier, Thèse de doctorat, 397 p.

LOUBIER J.C. 2004 : Changement climatique en montagne perception et simulation des effets du changement climatique sur l'économie du ski et la biodiversité (Savoie et Haute-Savoie). Université Joseph Fourier, Grenoble, thèse de doctorat, 246 p.

LOUKILI M.; BOCK L.; ENGELS P. et MATHIEU L. 2000 : “Approche géomorphopédologique et système d'information géographique (SIG) pour la gestion des terres au Maroc”. *Étude et gestion des sols*, Vol. 7, no 1, 2000, pp. 37-52.

LYLES L., 1983: “Erosive wind energy distributions and climatic factors for the west”. In: Journal of Soil and Water Conservation 38(2), pp. 106-109.

MAHBOUBI B. 2002 : La désertification et les problèmes d'ensablement dans les hautes plaines Oranaises. Université Es-Senia d'Oran, Département de géographie, Algérie, Thèse de Magister, 110 p.

MAINQUET M. 1995 : L'homme est la sécheresse. Edition Masson, Paris, 335 P.

MANIERE R. 1987 : Télédétection spatiale et aéroportée et systèmes d'information géocodée sur l'environnement : principes généraux et étude de quelques domaines d'applications. Université d'Aix-Marseille III, Thèse de doctorat d'Etat.

MANIERE R.; BASSISTY E.; CELLES J.C. et MELZI S. 1993 : Utilisation de la télédétection spatiale (données XS de spot) pour la cartographie de l'occupation du sol en zones arides méditerranéennes : exemple d'Aïn Oussera (Algérie). Cahier ORSTOM, série pédologique, vol. xxviii, no 1, pp. 67-80.

MARIUS C., 1995 : “Effets de la sécheresse sur l'évolution des mangroves du Sénégal et de la Gambie”. *Sécheresse* (Paris), vol.6, no 1, pp. 123-125.

MARTIN M.C. ?: Un exemple de mise en valeur intégrée d'une zone aride : la plaine d'Abadla dans le sud Algérien”. *Option Méditerranéennes n° 26*, pp. 99-107.

MATHERON J. 1994 : Comprendre Merise, Outils conceptuels et organisationnels. Paris, édition Eyrolles, 265 p.

MEDDI M. et MEDDI H. 1998 : “Étude des pluies annuelles et journalières dans le Sahara Algérien”. *Sécheresse* (Paris), vol. 9, no 3, pp. 193-199.

MEUNIER J. et ROGNON P. 2000 : “Une méthodologie écologique pour détruire les dunes mobiles”. *Sécheresse* (Paris), vol. 11, no 4, pp. 309-316.

MONTCHAUSSÉ G. 1972 : “La steppe Algérienne, cadre d’interactions entre l’homme et son milieu”. *Option Méditerranéennes n° 13*, pp. 55-60.

NEDJRAOUI D. 1981 : évolutions des éléments biogènes et valeurs nutritives dans les principaux faciès de végétation des hautes plaines steppiques de la wilaya de Saïda. Thèse 3^{ème} cycle, USTHB, Alger, 156 p.

OULEHRI T. 1992 : Étude géodynamique des migrations de sables éoliens dans la région de Laayoune (Nord du Sahara marocain). Université de Paris 6, Thèse de Doctorat, 186 p.

ONS 1987 : Annuaire statistique des wilayat de l’ouest. Oran, n° 5, édition 1987.

OZENDA P. 1991 : Flore et végétation du Sahara. Paris, édition du Centre National de la recherche scientifique (CNRS), 662 p.

POUCHIN T. 2001 : Elaboration d’un observatoire paysager, Application à l’estuaire de Seine. Centre Interdisciplinaire de Recherche en Transports et Affaires Internationales, Le Havre, Thèse de Doctorat, 316 p.

POUGET M. 1973 : “Une manifestation particulière et méconnue de la salure dans les steppes du sud Algérois : les plages de la salure sur les glacis quaternaires à croûte calcaire”. in : *Bill. Soc. Hist. Nat. Afri. Nord.* Alger, tome 64, fasc. 1 et 2, pp 15-24.

POUGET M. 1971 : “Etude Agropédologique du bassin du Zahrez Gharbin au 1 : 100 000. Dir. Etudes de Mil. Et Rech. Hydr. Alger, vol no 1, 160 p.

POUGET M.; LORTIC B.; SOUSSI A.; ESCADAFAL R. et MTIMET A. 1984 : “Apport des données MSS Landsat pour la cartographie des ressources en sols en régions arides feuilles à 1/200 000 de Tataouine et zarzis Tunisie”. in : *Dix-huitième symposium international sur l’observation de la terre*, Paris, CNES, 1984, p. 25.

REBBOUHI H. 1991 : Les mutations agraires récentes dans les campagnes algéroises. Alger, Algérie, Office de Publication Universitaire (OPU), 283 p.

REMAOUN K. 1998 : “Approche de l’étude de la mobilité potentielle des sables en zones steppiques et arides de l’ouest et sud algérien : cas de Mécheria, Ainsefra et Adrar”. in *Séminaire. CRSTRA, Algérie, Adrar, 12 p.*

RICHRADS J.A. 1999 : Remote sensing digital image analysis, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.

RISER J. 1988 : Le Djebel Sarho et sa retombée saharienne (sud-est Marocain), Notes et mémoires du service géologique n° 317, édition du service géologique du Maroc, Rabat.

ROGNON P. 1995 : “La désertification”. In : Désertification et aménagement au Maghreb, Edition l’Harmattan, Paris, pp. 21-37

ROGNON P. 1996 : “Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb”. *Sécheresse* (Paris), vol. 7, no 4, pp. 287-297.

ROGNON P.; ARRUE J.L. et COUDE-GAUSSEN G. 1997 : “Paramètres pédologiques intervenant dans l’érosion éolienne en région sèches méditerranéennes”. *Sécheresse* (Paris), vol. 8, no 2, pp. 109-116.

SAHLI Z. 1997 : Risques et enjeux dans les agricultures familiales Cas des zones montagneuses, arides et semi-arides. *Option Méditerranéennes*, série B, n° 12, pp. 111-124.

SBAI A.; MOUSSAOUI F. et OUALIT N. 1992 : Les régimes des vents au Maroc oriental. *Revue de Méditerranée* Vol. 4, no 3, pp. 45-52.

SELTZER P. 1946 : Le climat de l’Algérie. Alger, Algérie, Institut de météorologie et physique du globe, 219 p.

SKIDMORE E.L. et WOODRUFF N.P. 1968 : “Wind erosion forces in the United States and their use in predicting soil loss”. In: USDA-ARS Agriculture Handbook, 346p.

SMAHI Z. 1997 : Intégration des données physiques et socio-économiques dans un SIG pour la gestion pastorale dans une zone de la région steppique. Centre National des Techniques Spatiales, Arzew, Algérie, Thèse de magister, 87 p.

Territoire Aménagement et développement (TAD) 2003 : Étude du phénomène d’ensablement au niveau de la wilaya de Naâma : mission III schéma directeur de protection. Rapport final, 105 p.

TAÏBI A.N. 1997 : Le piémont sud du djebel Amour (Atlas saharien, Algérie), apport de la télédétection satellitaire à l’étude d’un milieu en dégradation. Université Denis Diderot, Paris VII, Thèse de Doctorat, 310 p.

VIDAL L.; CLARAMUNT C.; DE SEDE M.H. et PRELAZ-DROUX R. 1993 : Environment analysis and GIS : the importance of meta-information, acte du congré AM/FM, European Conference IX, Strasbourg.

WOUDRUFF N. P. et SIDDOWAY F.H. 1965 : A wind erosion equation. In : soil science society of America Proceedings, 29, pp. 602-608.

WOUDROUF N.P. et ARMBRUST D.V. 1968 : “A monthly climatic factor for the wind erosion equation”. In : Journal of Soil and Water Conservation 23, pp. 103-104.

WEISROCK A. ND : Signification paléo-climatique des dunes littorales d’Essaouira – Cap Sim (Maroc).

ANNEXES

ANNEXE 1

mois de mars station AINSEFRA		DIRECTIONS																Cumul
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
		1	1	7			4	1	1	2	3		3	7	3	5	2	
		2	15	13	12	4	24	12	6	9	8	8	3	10	37	20	9	22
		3	19	16	11	5	26	12	4	13	4	11	13	8	23	15	10	14
		4	13	15	11	16	17	13		5	5	5	7	6	20	5	3	12
		5	27	18	16	9	26	10	6	11	12	6	9	10	12	7	9	12
		6	19	19	8	8	22	8	3	4	12	10	7	5	18	10	6	13
		7	21	9	9	8	11	6	5	4	9	5	1	4	14	11	2	11
		8	15	8	5	4	4	5	2		3	3	2	2	5	2	2	7
		9	13	4	4	5	3	1	1		2	2	3	1	5	3	2	2
		10	3	4		1		2		3	4	2	1	5	2	1	3	
		11	4	1		1		1	1	1		2	4	7	2	1	2	
		12	4	4			1					1	2	2	1	3	1	
		13	1	1			1								1	2		
		14	1	3			1						2	1				
		15	2									2		1	1			
		16										1					2	
		17									1				1			
		18	1									1						
		19																
		20																
		21																
		22																
		23																
		24																
		25																
		26																
		27																
		28																
		29																
		30																

VITESSES en $m s^{-1}$

Données de vents du moi de mars pour la station de Mécheria durant la période 1985-1996.

ANNEXE 2

Image to Map GCP List

File Options

	Map X	Map Y	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS	
#1+	182970.00	3720076.50	2344.00	2362.00	2343.7502	2362.0000	-0.2498	-0.0000	0.2498	
#2+	198417.00	3714889.50	2886.00	2544.00	2886.1013	2544.0000	0.1013	-0.0000	0.1013	
#3+	199243.50	3688555.50	2915.00	3468.00	2915.2341	3468.0000	0.2341	-0.0000	0.2341	
#4+	171313.50	3656122.50	1935.00	4606.00	1934.7220	4606.0000	-0.2780	-0.0000	0.2780	
#5+	171427.50	3630045.00	1939.00	5521.00	1939.1320	5521.0000	0.1320	-0.0000	0.1320	
#6+	231021.00	3675331.50	4030.00	3932.00	4030.6791	3932.0000	0.6791	-0.0000	0.6791	
#7+	232446.00	3717853.50	4080.00	2440.00	4080.5312	2440.0000	0.5312	-0.0000	0.5312	
#8+	318972.00	3726945.00	7116.00	2121.00	7116.0972	2121.0000	0.0972	-0.0000	0.0972	
#9+	261858.00	3611919.00	5112.00	6157.00	5111.8069	6157.0000	-0.1931	-0.0000	0.1931	
#10+	312673.50	3626739.00	6895.00	5637.00	6894.9384	5637.0000	-0.0616	-0.0000	0.0616	
#11+	257540.50	3700297.50	4963.00	3056.00	4961.2179	3056.0000	-1.7821	-0.0000	1.7821	
#12+	253707.00	3749716.50	4826.00	1322.00	4826.1785	1322.0000	0.1785	-0.0000	0.1785	
#13+	283090.50	3660426.00	5857.00	4455.00	5857.3271	4455.0000	0.3271	-0.0000	0.3271	
#14+	211812.00	3609268.50	3356.00	6250.00	3355.9571	6250.0000	-0.0429	-0.0000	0.0429	

Goto On/Off Delete Update Hide List RMS Error: 0.519715

Les points d'appui de la scène 197/37 du 16 /02/ 2002.

Image to Map GCP List

File Options

	Map X	Map Y	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS	
#1+	675991.50	3713863.50	4945.00	2373.00	4945.0000	2373.0982	0.0000	0.0982	0.0982	
#2+	650940.00	3737290.50	4066.00	1551.00	4066.0000	1550.9071	-0.0000	-0.0929	0.0929	
#3+	694431.00	3734668.50	5592.00	1643.00	5592.0000	1642.6546	0.0000	-0.3454	0.3454	
#4+	754081.50	3716371.50	7685.00	2285.00	7685.0000	2284.9575	0.0000	-0.0425	0.0425	
#5+	695571.00	3682542.00	5632.00	3472.00	5632.0000	3472.5673	-0.0000	0.5673	0.5673	
#6+	722817.00	3651648.00	6588.00	4556.00	6588.0000	4555.5015	0.0000	-0.4985	0.4985	
#7+	701869.50	3617362.50	5853.00	5759.00	5853.0000	5759.1954	-0.0000	0.1954	0.1954	
#8+	675991.50	3648260.50	4945.00	4677.00	4945.0000	4675.7437	0.0000	-1.2563	1.2563	
#9+	667641.00	3692916.00	4652.00	3108.00	4652.0000	3108.2599	0.0000	0.2599	0.2599	
#10+	731994.00	3715459.50	6910.00	2317.00	6910.0000	2317.0302	0.0000	0.0302	0.0302	
#11+	744790.50	3673251.00	7359.00	3798.00	7359.0000	3798.0562	0.0000	0.0562	0.0562	
#12+	703380.00	3634947.00	5906.00	5142.00	5906.0000	5142.3907	-0.0000	0.3907	0.3907	
#13+	647377.50	3690009.00	3941.00	3210.00	3941.0000	3210.1689	-0.0000	0.1689	0.1689	
#14+	661257.00	3611691.00	4428.00	5958.00	4428.0000	5958.2318	-0.0000	0.2318	0.2318	

Goto On/Off Delete Update Hide List RMS Error: 0.423394

Les points d'appui de la scène 198/37 du 13 /03/ 2002.

Image to Map GCP List

File Options

	Map X	Map Y	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	706144.50	3830970.00	4822.00	3870.00	4822.6366	3870.0000	0.6366	-0.0000	0.6366
#2+	699210.00	3829659.00	4581.00	3916.00	4579.3456	3916.0000	-1.6544	-0.0000	1.6544
#3+	610441.50	3821052.00	1464.00	4218.00	1463.7219	4218.0000	-0.2781	0.0000	0.2781
#4+	644613.00	3772174.50	2663.00	5933.00	2663.0500	5933.0000	0.0500	-0.0000	0.0500
#5+	695229.00	3888568.50	4439.00	1849.00	4439.0998	1849.0000	0.0998	-0.0000	0.0998
#6+	658492.50	3862975.50	3150.00	2747.00	3150.0136	2747.0000	0.0136	-0.0000	0.0136
#7+	647035.50	3803809.50	2748.00	4823.00	2748.4085	4823.0000	0.4085	-0.0000	0.4085
#8+	699561.00	3769467.00	4591.00	6028.00	4591.1014	6028.0000	0.1014	-0.0000	0.1014
#9+	744420.00	3867592.50	6165.00	2585.00	6165.0186	2585.0000	0.0186	-0.0000	0.0186
#10+	713868.00	3792210.00	5093.00	5230.00	5093.3935	5230.0000	0.3935	-0.0000	0.3935
#11+	751117.50	3823702.50	6400.00	4125.00	6400.0932	4125.0000	0.0932	-0.0000	0.0932
#12+	613263.00	3780354.00	1563.00	5646.00	1562.9846	5646.0000	-0.0154	-0.0000	0.0154
#13+	732193.50	3755929.50	5736.00	6503.00	5735.9172	6503.0000	-0.0828	-0.0000	0.0828
#14+	656754.00	3831454.50	3089.00	3853.00	3089.4451	3853.0000	0.4451	-0.0000	0.4451

< > Hide List RMS Error: 0.505384

Les points d'appui de la scène 198/36 du 27 /01/ 2002.

Sigles et Acronymes

ACL : Agglomération Chef lieu

AHP: "Analytic Hierarchy Process"

AMC: Analyse MultiCritère

ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire

A.P.F.A : Accession à la Propriété Foncière et Agricole

AS : Agglomération Secondaire

BDRS: Base de Données à Référence Spatiale

BMMC: Base des Méthodes MultiCritères

BNEDER Bureau National des Études pour le Développement Rural

CNUED : Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement.

CRBT : Centre de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres

D.H.W.N : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Naâma.

D.G.E : Direction Générale de l' Environnement

D.G.F : Direction Générale des Forêts

DP : Déplacement Potentiel

D.P.A.T : Département de Planification et de l' Aménagement du Territoire.

D.S.A : Direction des Services Agricoles

F.A.O : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

F.N.R.D.A : Fond National de Régulation et Développement Agricole

H.C.D.S : Haut Commissariat pour le Développement de la Steppe

IC : Indice de Charge

I.N.R.A : Institut Nationale de Recherche en Agronomie

MS : Matières sèches

O.N.S : Office National des Statistiques

P.D.A.U : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

P.N.L.C.D : Plan National de Lutte Contre la Désertification

RDP : Résultante de Déplacement Potentiel

RDP/DP : Coefficient de migration de sable

R.G.P.H : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

S.A.U : Surface Agricole Utile

TAD : Territoire Aménagement et Développement, bureau d'ingénierie et d'étude techniques

UF : Unité Fourragère

Liste des Tableaux

Tableau 1: Pourcentage de pluie durant les quatre saisons de l'année pour les trois stations de la région d'étude Mécheria, Naâma et Ainsefra.	12
Tableau 2 : Ecarts maximums moyens des précipitations annuelles dans la station de Mécheria et Ainsefra durant la période (1913-1938) et la période (1970-2001).	16
Tableau 2 : Variations par rapport aux précipitations moyennes durant la période (1913-1938) et la période (1970-2001) pour Mécheria et (1978-2001) pour Ainsefra.	18
Tableau 3 : Écarts maximums moyens des précipitations moyennes annuelles dans la station de Mécheria et de Ainsefra par rapport aux données de SELTZER P., (1946).	18
Tableau 4 : Pourcentages des périodes humides (H) et sèches (S) pour les deux stations de la zone d'étude durant la période (1978-2001).	20
Tableau 5 : Fréquence mensuelle de la sécheresse au cours de la période (1978-2001) dans la station de Mécheria et Ainsefra.	25
Tableau 6 : Pourcentage de nombres de mois secs au cours de la période (1978-2001) dans la station de Mécheria et Ainsefra.	26
Tableau 7 : Pourcentage des années à 7,8 et 9 mois secs et des années de plus de 9 mois secs au cours des périodes (1913-1938) et (1978-2001) dans la station de Ainsefra.	28
Tableau 8 : Pourcentages de successions de mois secs durant la saison estivale (mai à octobre) à Ainsefra pour les deux périodes.	30
Tableau 9 : Pourcentages de successions de mois secs durant la saison humide (septembre à avril) à Ainsefra pour les deux périodes.	31
Tableau 10 : La couverture sédimentaire des hautes plaines oranaises.	37
Tableau 11 : Caractéristiques des édifices éoliens de la wilaya de Naâma.	41
Tableau 123 : Évolution de la population sédentaire et nomade dans la wilaya de Naâma.	56
Tableau 14 : Évolution de la population urbaine, 1966-1998.	58
Tableau 15 : Évolution de la population nomade dans la wilaya de Naâma entre 1966 et 1998.	58
Tableau 16 : Répartition de la population par dispersion entre 1987 et 1998 dans la wilaya de Naâma	60
Tableau 17 : Taux d'accroissement de la population éparses des communes de la wilaya de Naâma entre 1977 et 1987.	61
Tableau 18 : Répartition des occupés par secteur d'activité.	63
Tableau 19 : Répartition de la SAU, 1999.	65
Tableau 20 : Surfaces des cultures irriguées, 1999.	65
Tableau 21 : Répartition de la surface des parcours par commune et par unité géomorphologique de la wilaya de Naâma.	73
Tableau 22 : Évolution de l'indice de charge durant la période de 1985 et 1999.	74
Tableau 23 : Les ressources d'approvisionnement en eau de la wilaya de Naâma.	85
Tableau 24 : Les valeurs de poids pour les différents facteurs.	90
Tableau 25 Progression des trois anciens cordons dunaires de la wilaya de Naâma entre la période 1957 et 2002.	106
Tableau 26 : Périmètres de mise en valeur dans la commune de Naâma.	112
Tableau 27 : Pourcentages des vents calmes et efficaces pour les deux stations de la wilaya entre 1985 et 1996.	124
Tableau 28 : Classement mensuel des vents par efficacité décroissante selon les 12 mois et les directions durant la période 1985 à 1996.	127
Tableau 29 : Coefficients d'énergie potentielle du déplacement de sable pour la période 1985 à 1996.	138
Tableau 30 : Coefficients de migration et orientations de migration de sables à Mécheria et à	145

Ainsefra pendant la période 1985-1996.

Tableau 31 : Variabilité mensuelle de l'indice M pour les deux stations de la wilaya de Naâma pour la période 1985 et 1996.	147
Tableau 32 : Déplacement potentiel de sable saisonnier à Ainsefra pour la période 1985-1996 et comparaison avec ceux obtenus par CALLOT Y., (1987).	148
Tableau 33 : Mesure de direction de migration potentielle de sable sur terrain de la wilaya de Naâma.	152
Tableau 34 : Analyse granulométrique de certains échantillons de la steppe occidentale.	161
Tableau 35 : Les caractéristiques des satellites Landsat et Terra.	175
Tableau 36 : Les caractéristiques des images ETM+ de la zone d'étude.	182
Tableau 37 : Caractéristiques des bandes spectrales ETM+ de Landsat.	184
Tableau 38 : Matrice de corrélation des données ETM+ de la scène 197/36 du 16 avril 2002.	184
Tableau 39 : indice OIF de la combinaison de trois bandes spectrales des images ETM+ de Landsat de la scène 197/36 du 16 avril 2002.	185
Tableau 40 : Données statistiques des parcelles d'entraînement.	196
Tableau 41 : Valeurs de transformée de séparabilité de divergence (Richards J.A., 1999).	197
Tableau 42 : Matrice de confusion de la classification des images ETM+ pour la période de 2002.	200
Tableau 43 : Les superficies d'occupation du sol à l'intérieur de la wilaya De Naâma.	202
Tableau 44 : Caractéristiques des images MSS, TM et ETM+ de la zone d'étude.	210
Tableau 45 : Valeurs de calibrations a et b ($a = (L_{max}-L_{min})/v_{max}$ et $b = L_{min}$) des données ETM+ et TM de Landsat.	213
Tableau 46 : Paramètres d'entrée du modèle de correction atmosphérique des images ETM+ et TM de Landsat.	214
Tableau 47 : Coefficients α et β du modèle de correction atmosphérique des images TM et ETM+ de Landsat.	215
Tableau 48 : Estimation de la réflectance absolue de deux échantillons (sable et sol nu) en utilisant le modèle de OLSSON H., (1994) et validation du modèle pour la zone d'étude.	216
Tableau 49 : Evolution des espaces ensablés pour la période 1957-2002 dans la région de Naâma.	220
Tableau 50 : Évolution de l'ensablement dans la wilaya de Naâma pendant les périodes de 1957, 1972, 1987 et 2002.	222
Tableau 51 : Classification et codage des valeurs radiométriques de l'image diachronique de IDCS entre 1987 et 2002.	230
Tableau 52 : Superficies des différents types de changement pour la période 1987 et 2002.	235
Tableau 53 : Les données physiques et socio-économiques de la base de données.	243
Tableau 54 : Valeurs des indices d'agressivités climatiques pour chaque station.	272
Tableau 55 : Classes des sols et leurs sensibilités par rapport à l'érosion éolienne.	277
Tableau 56 : Classes des pentes et leurs sensibilités par rapport à l'érosion éolienne.	279
Tableau 57 : Matrice de croisement pour l'élaboration de la carte de synthèse.	280

Liste des Figures

Figure 1: Localisation de la zone d'étude	9
Figure 2: Pluviométrie moyenne annuelle dans les hautes plaines sud Oranaises.	11
Figure 3: Variations mensuelles des précipitations aux stations de Mécheria (1970-2001) et Ainsefra durant la période (1978-2001).	14
Figure 3: Variations des précipitations en mars aux stations de Mécheria et Ainsefra durant la période de 1978 et 2001.	15
Figure 4: Précipitations moyennes annuelles aux stations de Mécheria (1970-2001) et Ainsefra (1978-2001).	17
Figure 5: Climagramme pluviothermique d'EMBERGER	23
Figure 6: L'évolution du nombre de mois sec dans la station de Mécheria et de Ainsefra (1978-2001).	27
Figure 7: Nouvelle proposition chronologique du quaternaire.	34
Figure 8: Carte géomorphologique de la région centre de la wilaya de Naâma.	38
Figure 9: Evolution du bouclier à la barkhane vraie.	43
Figure 10: Carte Pédologique de la région centre de la wilaya de Naâma.	45
Figure 11: Répartitions des principales steppes de la zone d'étude.	47
Figure 123: Découpage administratif de la wilaya de Naâma.	55
Figure 14: Évolution de la SAU (en ha) de la wilaya de Naâma.	64
Figure 15: Distribution du cheptel ovin selon le mode d'appropriation chez les agropasteurs de la wilaya de Naâma, 1998.	68
Figure 16: Évolution du cheptel ovin dans la wilaya de Naâma de 1985 à 1995	72
Figure 17: Indice de charge pour l'année de 1985 et l'année 1999.	76
Figure 18: Les étapes de la modélisation.	80
Figure 19: Carte des distances (en mètre) par rapport au réseau routier.	82
Figure 20: La carte des pentes (en %) de la région de Naâma.	83
Figure 21: Carte des distances (en mètre) par rapport aux agglomérations chefs lieu de la wilaya de Naâma.	86
Figure 22: Carte des distances (en mètre) par rapport aux ressources en eaux.	86
Figure 23: Carte des contraintes naturelles de la wilaya de Naâma.	88
Figure 24: Représentation de l'échelle de SAATY (Méthode AHP de pondération).	89
Figure 25: Matrice de pondération.	90
Figure 26: Carte de sensibilité du milieu steppique vis-à-vis de l'anthropisation. Les faibles valeurs indiquent une faible sensibilité, les fortes valeurs les zones sensibles.	93
Figure 27: Régression de la superficie des parcours d'alpa durant la période 1986 et 1998 dans la wilaya de Naâma.	101
Figure 28: Méthodologie pour l'établissement de la progression des anciens cordons dunaires entre 1957 et 2002.	106
Figure 29: Périmètre de mise en valeur de sedrat el Ghozlan dans la commune de Naâma et l'avancée de sables.	113
Figure 30: Périmètres des mises en valeurs de Ain benkhlike dans la commune de Ain-benkhlike et l'avancée de sables.	114
Figure 31: Limite du barrage vert.	116
Figure 32: Fréquences directionnelles des vents efficaces pour les deux stations de la wilaya de Naâma pour la période de 1985 à 1996.	122
Figure 33: Fréquences mensuelles des vents efficaces calculés pour la période 1985-2000 dans les deux stations de la wilaya de Naâma.	125
Figure 34: Roses des fréquences des vents efficaces dans les stations de Ainsefra (a) et de	129

Mécheria (b) pendant la période 1985 à 1996.	
Figure 35: Relations entre la taille du grain, la vitesse limite d'entraînement et le mode de transport éolien.	135
Figure 36: Estimation de la vitesse minimum du vent efficace à dix mètres au-dessus du sol (ms^{-1}) pour sept zones test dont l'extension spatial est représentée sur fond gris.	136
Figure 37: Roses de déplacement potentiel de sable à Ainsefra et à Mécheria pour la période (1985-1996) pour un $V_t > 6 \text{ ms}^{-1}$; la résultante est marquée en rouge.	140
Figure 38 : Variation annuelle de la valeur de DP à Mécheria et à Ainsefra pendant la période 1985-1996.	141
Figure 39 : Variation du coefficient de migration à Mécheria et Ainsefra pendant la période 1985-1996.	142
Figure 40 : Variation mensuelle du déplacement potentiel de sable (DP) à Mécheria et à Ainsefra durant la période 1985-1996.	144
Figure 41 : Valeurs indexées de l'activité des surfaces potentielles des dunes pour la région de Ainsefra et de Mécheria en utilisant la méthode de LANCASTER N., (1988).	147
Figure 42 : Mosaïque de quatre cartes topographiques de 1957 drapées sur un modèle numérique d'altitude et délimitation spatiale des anciennes dunes dans la zone d'étude.	154
Figure 43 : Mosaïque de trois scènes en 3D des images MSS de Landsat de 1972 et délimitation spatiale des espaces ensablés dans la zone d'étude.	155
Figure 44 : Mosaïque de trois scènes en 3D des images ETM+ de Landsat de 2002.	156
Figure 45 : Image MODIS du 23 juin 2003 montrant l'immense panache de litho-météores.	158
Figure 46 : Vue en 3D des scènes MSS de 1972 de Landsat selon la direction sud-ouest nord-est.	159
Figure 47 : Vue en 3D des scènes ETM+ de 2002 de Landsat selon la direction sud-ouest nord-est.	160
Figure 48 : Vue en 3D de scène (197/37) ETM+ de 1972 de Landsat selon la direction sud-nord.	160
Figure 49 : Mouvements de migration de sables à l'échelle supranationale (Algérie, Maroc).	164
Figure 50 : Organisation spatiale du système éolien de la zone d'étude.	169
Figure 51 : Résolution spatiale des images satellitaires et échelles de restitutions cartographiques.	178
Figure 52 : Schéma méthodologique pour la réalisation de la carte d'occupation du sol.	180
Figure 53 : Les centres de scènes des images TM et ETM+ de Landsat.	183
Figure 54 : Composition colorée de la wilaya de Naâma.	187
Figure 55 : localisation des échantillons tests sur la zone d'étude.	190
Figure 56 : Les différentes étapes de la classification supervisée.	191
Figure 57 : Courbes des signatures spectrales en valeurs radiométriques des parcelles d'entraînement de la zone d'étude dans les six canaux ETM+ de Landsat.	197
Figure 58 : Carte d'occupation du sol de 2002 de La wilaya de Naâma.	204
Figure 59 : Schéma méthodologique pour la détection des changements.	209
Figure 60 : Courbes de tendance d'évolution des changements paysagers.	221
Figure 61 : Courbes de tendances d'évolution de l'ensablement dans la wilaya de Naâma pendant les périodes de 1957, 1972, 1987 et 2002.	224
Figure 62 : Évolution de l'ensablement dans la région de Naâma durant la période de 1957 à 2002.	225
Figure 63 : La commune de Ain Benkhile- Composition colorée diachronique pour la période de 1987 à 2002.	228
Figure 64 : La zone de Faidjet el Betoum-Composition colorée diachronique pour la période de 1987 et 2002.	229

Figure 65 : Carte des changements entre 1987 et 2002 à Ain Benkhelile.	233
Figure 66 : Carte des changements entre 1987 et 2002 dans la localité de Faidjet el Betoum.	234
Figure 67 : Carte des changements de la wilaya de Naâma pour la période de 1987 à 2002.	236
Figure 68 : Démarche adoptée pour l'élaboration de la base de données.	240
Figure 69 : Intégration des données dans la base.	245
Figure 70 : Modèle conceptuel des données physiques et socio-économiques de la wilaya de Naâma.	248
Figure 71 : Structure des Méta-Données.	250
Figure 72 : La triangulation systémique.	255
Figure 73 : Schéma général du prototype SIG-Dégradation-Naâma.	260
Figure 74 : Module d'analyse spatiale intégré dans le prototype.	262
Figure 75 : Tracer des roses de déplacement potentiel du vent.	263
Figure 76 : Visualisation des données de la base en 3D.	264
Figure 77 : module pour l'établissement de la carte de sensibilité à l'érosion éolienne.	265
Figure 78 : Organigramme pour l'élaboration de la carte de sensibilité à l'érosion éolienne.	268
Figure 79 : variation mensuelle de l'indice d'agressivité climatique pour les stations de la steppe occidentale.	272
Figure 80 : Carte d'agressivité climatique.	275
Figure 81 : Les étapes de conversion des fichiers raster en mode vecteur.	276
Figure 82 : Carte de pression exercée par la population classifiée.	280

TABLE DES MATIÈRES

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1

PREMIÈRE PARTIE : MILIEU PHYSIQUE, CHANGEMENTS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET ANALYSE MULTICRITÈRES DE LA STEPPE SUD ORANAISE.

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

1.1. PRÉSENTATION ET LOCALISATION DE LA STEPPE	7
1.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES	10
1.2. 1. Cadres climatiques : analyse climatique et sécheresse	10
1.2. 1. 1. Régimes de pluie dans la steppe sud-ouest Oranaise	10
1.2. 1. 1. 1. Cartes des précipitations	10
1.2. 1. 1. 2. Précipitations	10
1.2. 1. 1. 3. Les régimes pluviométriques	11
1.2. 1. 1. 4. Distribution mensuelle des pluies	13
1.2. 1. 1. 5. Distribution annuelle des pluies	15
1.2. 1. 1. 6. Irrégularité des pluies	18
1.2.1.2. Températures	20
1.2.1.3. Évapotranspiration (ETP)	21
1.2.1.4. Indice pluviothermique d'Emberger (1955)	21
1.2.1.5. Phénomène de la sécheresse dans la steppe sud-ouest Oranaise	23
1.2.1.5.1. Analyse statistique de la sécheresse	24
1.2.1.5.2. Variations mensuelles et annuelles de la sécheresse période (1978-2001)	25
1.2.1.5.3. Variations annuelles de la sécheresse au cours de deux périodes (1913-1938) et (1978-2001).	27
1.2.1.5.4. Variations saisonnières de la période sèche au cours du temps	29
1.2.1.5.4.1. Variations de la saison estivale période : (1913-1938) et (1978-2001)	29
1.2.1.5.4.2. Variations de la saison humide période : (1913-1938) et (1978-2001)	30
1.2.1.6. Changement climatique : analyse et synthèse	31
1.2.2 Cadre géologique	34
1.2.2.1. Stratigraphie des hautes plaines sud-ouest Oranaises	35
1.2.2.2. Stratigraphie de l'Atlas saharien	35
1.2.2.3. Tectonique	36
1.2.3. Cadre géomorphologique	38
1.2.3.1. Les reliefs	39
1.2.3.2. La plaine sud oranaise et surfaces plus au moins planes	39
1.2.3.3. Les dépressions	39
1.2.3.4. Les formations et accumulations éoliennes	40
1.2.3.4.1. Voile sableux	41
1.2.3.4.2. Nebkha	41
1.2.3.4.3. Barkhane et cordons barkhanoides	42
1.2.3.4.4. Bouclier	42
1.2.3.4.5. Cordons dunaires	43
1.2.4. Cadre édaphique	44

TABLE DES MATIÈRES

1.2.4.1. Sols calcimagnésiques	44
1.2.4.2. Sols minéraux bruts	44
1.2.4.3. Sols peu évolués	44
1.2.4.4. Sols halomorphes	45
1.2.5. Végétations steppiques	46
1.2.5. 1. Steppes à alfa (<i>Stipa tenacissima</i>)	47
1.2.5. 2. Steppe à armoise blanche : Chikh (<i>Artemisia herba alba</i>)	48
1.2.5. 3. Steppe à spart (<i>Lygeum spartum</i>)	48
1.2.5. 4. Steppe à halophytes	48
1.2.5. 5. Steppe à psamophytes	49
CHAPITRE II : CHANGEMENTS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET ANALYSE MULTICRITÈRE	
2.1. POPULATION	51
2.1.1. Un bref historique. Limitation de l'espace des transhumances et déséquilibre de la vie nomade	51
2.1.2. Situation administrative. L'impact du découpage administratif sur la dégradation des parcours	53
2.1.3. Situation démographique	56
2.1.3.1. L'évolution de la population	56
2.1.3.2. Sédentarisation et regroupement de la population.	57
2.1.3.3. La répartition spatiale de la population	58
2.1.3.4. Évolution de la population dans la zone éparsée	59
2.2. ACTIVITES ÉCONOMIQUES. L'AGRICULTURE ET L'AGROPASTORALISME	61
2.2.1. L'agriculture dans les hautes plaines sud-ouest oranaises	63
2.2.1.1. La Surface Agricole Utile (SAU)	64
2.2.1.2. Mise en valeurs des terres par l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (A.P.F.A)	66
2.2.2. L'agropastoralisme et utilisation de l'espace	68
2.2.2.1. Les systèmes d'élevage	69
2.2.2.2. Les parcours steppiques	72
2.2.2.3. L'indice de charge	73
2.3. PRESSION DE LA POPULATION SUR LE MILIEU STEPPIQUE	76
2.3.1. Modélisation et analyse multicritère	78
2.3.2. Les Variables prises en comptes	80
2.3.2.1. La variable proximité du réseau routier	80
2.3.2.2. La variable pente	82
2.3.2.3. La variable proximité d'une agglomération de chef lieu de commune (ACL).	83
2.3.2.4. La variable proximité d'une ressource en eau	84
2.3.2.5. Les contraintes	87
2.4. ÉVALUATION MULTICRITÈRE ET ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE DE PRESSION EXERCÉE PAR LA POPULATION	88
2.4.1. Pondération des critères	89
2.4.2. Carte de pression exercée par la population sur le milieu steppique	90
2.5. CONCLUSION	93

DEUXIÈME PARTIE : DÉGRADATION DU MILIEU STEPPIQUE ET ORGANISATION SPATIALE DU SYSTÈME ÉOLIEN DE LA WILAYA DE NAÂMA.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE III : DÉGRADATION ET ENSABLEMENT DU SOL ET DE LA VÉGÉTATION DANS LA PLAINE SUD ORANAISE.

3.1. DÉGRADATION DANS LA WILAYA DE NAÂMA	97
3.2. EXTENSION DU SABLE ET ÉROSION ÉOLIENNE : PHÉNOMÈNES EN ÉVOLUTIONS.	98
3.2.1. Régression de la végétation : un facteur favorable à l'extension de l'érosion éolienne.	100
3.2.2. Analyse dynamique éolienne des anciens cordons dunaires.	102
3.2.3. Analyse dynamique éolienne de la partie sud-ouest du Chott Chergui.	107
3.2.3.1. Nappage de Sable.	107
3.2.3.2. Édifices Dunaires.	108
3.2.4. Genèse de nouvelles accumulations sableuses et mise en valeur agricole.	109
3.2.5. Genèse de nouvelles accumulations sableuses et barrage vert.	115

CHAPITRE IV : DYNAMIQUE ÉOLIENNE DANS LES STATIONS DE MÉCHERIA ET DE AINSEFRA

4.1. ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE ÉOLIENNE	120
4.2. CRITIQUE SUR LES DONNÉES ANÉMOMÉTRIQUES	121
4.3. APPROCHE CLASSIQUE	123
4.3.1. Régime des vents calmes	123
4.3.2. Les vents efficaces	124
4.3.3. Direction des vents à l'échelle annuelle, saisonnière et mensuelle.	128
4.3.4. Interprétation	131
4.4. DEUXIÈME APPROCHE : MÉTHODE FRYBERGER S.G., (1979)	131
4.4.1. Description de la méthode de FRYBERGER (1979)	132
4.4.2. Choix de la vitesse limite de mobilité du sable	133
4.4.3. Application de La méthode de FRYBERGER (1979) et détermination des paramètres d'énergie potentielle de déplacement de sable	136
4.4.3.1. Période 1985-1996	137
4.4.3.1.1. Le déplacement potentiel du sable (DP)	137
4.4.3.1.2. Direction et module de la résultante de déplacement potentiel du sable	138
4.4.3.1.3. Roses de déplacement potentiel du sable et coefficient de migration	139
4.4.3.2. Année par année pour la période 1985-1996	141
4.4.3.2.1. Le déplacement potentiel du sable	141
4.4.3.2.2. Direction, module de la résultante et coefficient de migration de sable	142
4.4.3.3. Mois par mois	143
4.4.3.3.1. Le déplacement potentiel du sable DP	143
4.4.3.3.2. Roses de déplacement potentiel de sable	144
4.4.3.3.3. Coefficient de migration de sable	145
4.5. MOBILITÉ ET ÉNERGIE DE L'ACTIVITÉ DES SURFACES DUNAIRES : MÉTHODE DE LANCASTER N., (1988)	146
4.6. COMPARAISON DES RÉSULTATS PAR RAPPORT À UNE ÉTUDE ANTÉRIEURE	148
4.7. MISSION DE TERRAIN ET VÉRIFICATION DES DIRECTIONS DE L'ANALYSE DYNAMIQUE ÉOLIENNE	149
4.8. RÉALITÉ VIRTUELLE ET DYNAMIQUE ÉOLIENNE DE LA WILAYA DE NAÂMA	153

TABLE DES MATIÈRES

4.9. ORIGINES DES SABLES ET DÉLIMITATION SPATIALE	161
4.9.1. Analyse granulométrique	161
4.9.2. Mise en évidence et délimitation spatiale des aires source, d'accumulation et de déflation	162
4.9.2.1. Aire source et de déflation	162
4.9.2.2. Aire de transport et de transite	165
4.9.2.3. Aire d'accumulation	166

TROISIÈME PARTIE : SIG ET TÉLÉDÉTECTION POUR LA CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL ET LE SUIVI DIACHRONIQUE DE L'EXTENSION DU SABLE DANS LA PLAINE SUD ORANAISE

CHAPITRE V : TÉLÉDÉTECTION ET CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA WILAYA DE NAÂMA

5.1. INTRODUCTION	171
5.2. INTÉRÊT DES IMAGES SATELLITAIRES DANS L'ÉTUDE DE LA DÉGRADATION ET DE L'ENSABLEMENT DES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES	172
5.3. REVUES BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES ÉTUDES DE DÉGRADATION EN RÉGION ARIDE PAR TÉLÉDÉTECTION	176
5.4. RÉSOLUTION SPATIALE DES IMAGES ET ÉCHELLE CARTOGRAPHIQUE	177
5.5. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA WILAYA DE NAÂMA	178
5.5.1. Critères de choix des images satellitaires	180
5.5.2. Choix des canaux multi-spectraux des images ETM+ de Landsat	183
5.5.3. Données cartographiques et thématiques	185
5.5.4. Composition colorée et amélioration de la qualité des images	186
5.5.5. Missions de reconnaissances et données de terrains	188
5.5.6. Classification de la composition colorée	191
5.5.6.1. Parcels d'entraînements de vérité de terrain et analyse de séparabilité des classes	192
5.5.6.2. Performance et validation de la classification	197
5.5.7. Interprétation des résultats	201
5.5.8. Conception de la carte d'occupation du sol	203
5.5.8.1. Correction géométrique de l'image classée	203
5.5.8.2. Superposition des plans d'informations sur la carte d'occupation du sol	204

CHAPITRE VI : CARTOGRAPHIE DIACHRONIQUES DES CHANGEMENTS DYNAMIQUES DU MILIEU STEPPIQUE À L'AIDE DES IMAGES ETM+ ET TM DE LANDSAT

6.1. DÉTECTION DES CHANGEMENTS DYNAMIQUES DE L'ESPACE STEPPIQUE DANS LA WILAYA DE NAÂMA.	206
6.2. MÉTHODOLOGIE	207
6.2.1. Données utilisées	208
6.2.2. Correction radiométrique et atmosphérique	210
6.2.2.1. Principe du modèle absolu de correction radiométrique utilisé	211
6.2.2.2. Validité du modèle en utilisant des images Multidates	214
6.2.3. Rééchantillonnage	217
6.2.4. Correction Géométrique	217
6.2.5. Méthodes de détection de changements dynamiques de l'espace.	217
6.2.5.1. Identification rapide et quantification de l'évolution significative de	217

TABLE DES MATIÈRES

l'extension de l'ensablement entre 1972 et 2002.	226
6.2.5.2. Technique de la composition colorée multidate	226
6.2.5.3. Techniques de l'indice dynamique de couverture des sols	229
6.2.6. Interprétation des résultats	235
QUATRIÈME PARTIE : MODELISATION DES DONNÉES ET CONCEPTION DU PROTOTYPE SIG POUR L'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE DE SENSIBILITÉ À L'ÉROSION ÉOLIENNE DES ESPACES STEPPHIQUES	
CHAPITRE VII : CONCEPTION DE LA BASE DE DONNÉES STEPPHIQUES DE LA PLAINE SUD ORANAISE	
7.1. BASE DE DONNÉES GEOGRAPHIQUES DE LA ZONE STEPPIQUE	238
7.2. CONCEPTION DE LA BASE DE DONNÉES	240
7.2.1. Modélisation des données géographiques.	240
7.2.2. Objectif de la modélisation	241
7.2.3. Inventaires des données physiques et socio-économiques	241
7.2.4. Organisations et gestion des données de la base de données	244
7.2.4.1. Les données	244
7.2.4.2. Choix d'un système de projection et de l'échelle	245
7.2.5. Modèle conceptuel des données	246
7.2.6. Dictionnaire de données	249
7.2.7. Méta-Données	249
CHAPITRE VIII : CONCEPTION ET DESCRIPTION DU PROTOTYPE DÉVELOPPÉ	
8.1. DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE	252
8.2. OBJECTIFS DU PROTOTYPE	254
8.3. CONCEPTION DU PROTOTYPE	254
8.3.1. Méthodologie	254
8.3.1.1. Analyse fonctionnelle et évaluation des besoins	255
8.3.1.2. Analyse Structurelle	258
8.3.1.3. Analyse historique	261
8.3.1.4. Fonctionnalités du prototype	261
8.3.2. Modèles intégrés dans le prototype	265
8.3.2.1. Description des modèles analytiques d'agrégations spatiales	266
8.3.2.2. Les critères descripteurs de l'érosion éolienne utilisés dans les modèles	268
8.3.3. Intégration des données dans les modèles	269
8.3.3.1. Couche d'agressivité climatique	270
8.3.3.1.1. Calcul de l'indice C	271
8.3.3.1.2. Élaboration de la couche d'agressivité climatique	273
8.3.3.2. Couche pédopaysage	276
8.3.3.3. Couche des pentes	278
8.3.3.4. Couche pression exercée par la population	279
8.3.3.5. Carte de synthèse	279
CONCLUSION	283
BIBLIOGRAPHIE	289