

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED KHIDER- BISKRA

FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Thèse présentée

Par KHADER M'hammed

en vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat Es Sciences en Sciences Agronomiques

THEME

Apport de la géomatique à l'analyse spatio-temporelle des
parcours steppiques : Cas de la région de Djelfa - Algérie

Soutenue publiquement le 01/07/2019

Devant le jury :

| | | | |
|-----------------------------|------------------|------------|-------------------------------------|
| Président: | M. BELHAMRA M. | Professeur | (Université Med Khider- Biskra) |
| Directeur de thèse : | M. MEDERBAL K. | Professeur | (Université Ibn Khaldoun- Tiaret) |
| Examineurs: | M. HOMRANI A. | Professeur | (Université Ibn Badis - Mostaganem) |
| | M. DELLAL A. | Professeur | (Université Ibn Khaldoun- Tiaret) |
| | M. BENZIOUCHE S. | Professeur | (Université Med Khider- Biskra) |
| | Mme. DEMNATI F. | MCA | (Université Med Khider- Biskra) |

Année Universitaire 2018-2019

DEDICACES

A

La mémoire de ma très chère mère

Mon très cher père

Ma femme et mes enfants : Louay, Amdjed et Aya

Mes chers frères et Mes sœurs

Mon Maître pour toujours Mederbal. K

Toute la famille KHADER

M'hammed

Remerciements

Ce travail de thèse n'aurait été abouti sans le soutien et support de nombreuses personnes mais aussi d'organisme que je tiens à remercier très sincèrement ici. Je tiens à remercier d'abord mon directeur de thèse Professeur Khalladi MEDERBAL, qui a su me guider et m'orienter dans toutes les étapes de mes travaux. Vous avez dirigé et encadré cette thèse en prenant votre temps pour m'aider, me lire, me relire et me corriger. Au delà de cette relation professionnelle vous m'avez aussi prodigué un soutien sur tous les plans. J'ai beaucoup apprécié votre ouverture à la discussion, votre bonne humeur et votre rigueur également.

Je remercie vivement Monsieur M. BELHAMRA Professeur à la faculté des Sciences Exact et des Sciences de la Nature et de la Vie Université Mohamed Khider Biskra, d'avoir présidé le jury de thèse.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que j'adresse mes sincères remerciements les plus chaleureuses à Monsieur A. HOMRANI Professeur à la faculté des Sciences Agronomiques et Biologique Université de Mostaganem, A. DELAL Professeur à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Université Ibn khaldou Tiaret, Monsieur S. BENZIOUCHE, Professeur à la faculté des Sciences Exact et des Sciences de la Nature et de la Vie Université Mohamed Khider Biskra et F. DEMNATI, Maître de conférence à la faculté des Sciences Exact et des Sciences de la Nature et de la Vie Université Mohamed Khider d'en faire partie et pour y avoir la gentillesse de consacrer l'attention et le temps nécessaire à l'évaluation de mes travaux de thèse.

Je remercie infiniment mes amis : LAHRECH M ; DAHIA M ; MOUISSA H., TENAH B ; YABRIR. B et SAHEL B. vous avez toujours été là avec vos suggestions et d'orientations pour l'amélioration de ce travail.

Je remercie tous mes collègues de la Faculté SNV de Djelfa et ceux de la Faculté SNV de Mascara est surtout : HAKEM H ; SOUTOU H ; AIT BELKACEM ; HAOUARI ; HMIMED, BOUHADI, BENGUERAI et SAFIA N ; BENGARAI qui m'ont soutenu dans ce travail.

Je remercie également toute ma famille KHADER, mon père, mes frères et sœurs, neveux et nièce qui m'ont soutenus et encouragés. Tous mes remerciements à ma belle famille NAIL. Mes remerciements à tous mes amis. Je tiens à remercier ma femme et mes enfants de par leur compréhension et leur aide en étant sage durant toute cette période. Merci à tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ces travaux quelque soit la manière.

Merci. !

Liste des abréviations

| | |
|-----------------|---|
| ACP | Analyse en composantes principales |
| APC | Assemblée Populaire Communale |
| BNEDER | Bureau national des Etudes de Développement rural |
| CNTS | Centre National des Techniques Spatiales |
| CRBT | Centre de Recherches sur les Systèmes Biologiques et Terrestres |
| DPAT | Direction de Planification et Aménagement de Territoire |
| DSA | Direction des Services Agricoles |
| ETM | Enhanced Thematic Mapper |
| ETM Plus | Enhanced Thematic Mapper Plus |
| GCA | Générale Concession Agricole |
| HCDS | Haut Commissariat au Développement de la Steppe |
| INRF | Institut National de la Recherche Forestière |
| LIDAR | Light Detection And Ranging |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index |
| OIF | Optimum Index Factor |
| OL | Operational Land Imager |
| ONM | Office National de Météorologie |
| ONS | Office National des Statistiques |
| PDAU | Plan de Développement Agricole et rural |
| PIR | Proche Infra Rouge |
| PNDA | Plan National de Développement Agricole |
| R | Rouge |
| TLD | Téledétection |
| TIRS | Thermal Infrared Sensor |
| TM | Thematic mapper |
| UF | Unité Fourragère |
| URBT | Unité de recherches sur les systèmes biologiques et terrestres |

Liste des tableaux

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| Tableau 1 | Nombre de jours annuels moyens de gel pour quelques stations | 8 |
| Tableau 2 | Occupation du sol des zones steppiques exprimé en million d'hectare | 11 |
| Tableau 3 | Variation de la productivité de l'Alfa selon différents auteurs | 13 |
| Tableau 4 | Classification de l'ensemble végétal steppique par ordre de progression | 17 |
| Tableau 5 | Caractéristiques des capteurs MSS et TM de LANDSAT et HVR de SPOT | 26 |
| Tableau 6 | Caractéristiques radiométriques des données ASTER | 27 |
| Tableau 7 | Comparaison entre les méthodes de classification dirigée et non dirigée | 36 |
| Tableau 8 | Principales occupations du sol de la wilaya de Djelfa | 41 |
| Tableau 9 | Espèces d'animaux dans la wilaya de Djelfa | 42 |
| Tableau 10 | Caractéristiques de la station de Djelfa | 46 |
| Tableau 11 | Moyennes des précipitations mensuelles (durant la période 1975-2014) | 47 |
| Tableau 12 | Moyenne des précipitations saisonnières (mm) | 49 |
| Tableau 13 | Température minima, et la température maxima et les températures moyennes mensuelles de la station de Djelfa (durant la période 1975-2014) | 50 |
| Tableau 14 | Précipitations annuelles et températures moyennes annuelles de la station de Djelfa (durant la période 1975-2014) | 51 |
| Tableau 15 | Seuil de démarcation entre un mois sec et un mois humide ($P=2T$) | 53 |
| Tableau 16 | Bilan hydrique annuel de la station de Djelfa période (1975- 2014) | 54 |
| Tableau 17 | Détermination des années sèches, humides et normales | 55 |
| Tableau 18 | Directions principales des vents à l'échelle annuelle à la station de Djelfa | 57 |
| Tableau 19 | Quotient pluviothermique et climagramme | 61 |
| Tableau 20 | Evolution de la population des communes par RGPH | 64 |
| Tableau 21 | Evolution de la population des communes par dispersion | 65 |
| Tableau 22 | Caractéristiques des images utilisées | 68 |
| Tableau 23 | Résultats statistiques obtenus de l'image satellitaire 1984 de la zone d'étude | 80 |
| Tableau 24 | Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image 1984 | 80 |
| Tableau 25 | Résultats statistiques de l'image 2001 | 81 |
| Tableau 26 | Corrélation entre les données multispectrales de l'image 2001 | 82 |
| Tableau 27 | Résultats statistiques obtenus de l'image 2013 | 82 |
| Tableau 28 | Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image 2013 | 83 |
| Tableau 29 | Analyse en composantes principales des images satellitaires (ACP) | 83 |
| Tableau 30 | Statistique de l'NDVI des images de la zone d'étude | 87 |

Liste des tableaux

| | | |
|-------------------|--|------------|
| Tableau 31 | Classification de tranche de densité des valeurs de l'NDVI (Density Slice) | 87 |
| Tableau 32 | Résultat de classification en Pixel | 94 |
| Tableau 33 | Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 1984 | 95 |
| Tableau 34 | Répartition des surfaces des parcours steppique durant l'année 1984 | 95 |
| Tableau 35 | Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 2001. | 97 |
| Tableau 36 | Répartition des surfaces des parcours steppique durant l'année 2001. | 98 |
| Tableau 37 | Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 2013 | 100 |
| Tableau 38 | Répartition des surfaces des parcours steppique durant l'année 2001. | 100 |
| Tableau 39 | Evolution des changements des surfaces des unités d'occupation du sol durant la période d'étude (1984_2013). | 105 |
| Tableau 40 | Plantation pastorale (grands travaux) dans la zone d'étude 1994-1998 | 114 |
| Tableau 41 | Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude de 1984 à 2001 exprimée en hectare | 121 |
| Tableau 42 | Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude de 1984 à 2001 exprimée en pourcent | 122 |
| Tableau 43 | Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude entre 2001 et 2013 | 123 |
| Tableau 44 | Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude entre 1984 et 2001 exprimée en pourcent | 124 |
| Tableau 45 | Classes de seuils de changements | 125 |
| Tableau 46 | Evolution des changements au niveau de la région d'étude | 126 |

Liste des figures

| | | |
|------------------|--|----|
| Figure 1 | Carte des limites naturelles de la steppe Algérienne | 4 |
| Figure 2 | Carte de zonage schématiques des parcours steppiques Algérienne d'après les précipitations | 5 |
| Figure 3 | Climagramme d'EMBERGER | 9 |
| Figure 4 | La steppe d'Alfa Rogassa | 12 |
| Figure 5 | Parcours a halophytes (Cas d' <i>Atriplex canescens</i> dans la région de Zaâfran W de Djel | 15 |
| Figure 6 | Spectre du rayonnement électromagnétique solaire | 24 |
| Figure 7 | Données multi spectrales et thermiques de la mission Landsat | 25 |
| Figure 8 | Spectres de réflectance d'un limon sableux pour différentes humidités pondérales | 29 |
| Figure 9 | Bandes spectrales des capteurs des satellites Landsat MSS et TM, HRV de SPOT et AVHRR de NOAA, superposées à un spectre de sol nu et de végétation | 30 |
| Figure 10 | Principe de la classification thématique d'une image (Bazel et Al ; 2001) | 35 |
| Figure 11 | Les limites administratives de la wilaya de Djelfap | 40 |
| Figure 12 | Localisation de la zone d'étude | 43 |
| Figure 13 | Variations des précipitations en mars et octobre de la station de Djelfa (durant la période 1975-2013) | 48 |
| Figure 14 | Evolution des températures moyennes (°c) de la station de Djelfa durant la période (1975-2013) | 51 |
| Figure 15 | Evolution des précipitations de la station de Djelfa (durant la période 1975-2013) | 52 |
| Figure 16 | Evolution des précipitations annuelles et de l'évapotranspiration corrélée de la station de Djelfa (durant la période 1975-2013) | 56 |
| Figure 17 | Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSENde la station de Djelfa de la période (1975_ 2013) | 59 |
| Figure 18 | Emplacement de la station de Djelfa sur le climagramme d'EMBERGER. | 61 |
| Figure 19 | Organigramme méthodologiques de différentes étapes de l'étude | 76 |
| Figure 20 | Exemple de normalisation radiométrique par l'utilisation de l'histogramme « Matchir | 78 |
| Figure 21 | Histogramme de l'image satellitaire 1984 de la zone d'étude. | 80 |
| Figure 22 | Histogramme de l'image satellitaire 2001 de la zone d'étude. | 81 |
| Figure 23 | Histogramme de l'image de la zone d'étude 2013 | 82 |
| Figure 24 | Résultats de la composition en fausse couleur des trois premières ACP pour les images utilisées a, b et c respectivement pour les images de 1984, 2001 et 20 | 85 |

Liste des figures

| | | |
|------------------|--|------------|
| Figure 25 | Indice de végétation des images utilisées a, b et c respectivement pour les images de : 1984, 2001 et 2013 | 88 |
| Figure 26 | Classification image 1984 (ACP1, ACP2 NDVI). | 96 |
| Figure 28 | Classification image 2013 (ACP1, ACP2 NDVI). | 101 |
| Figure 29 | Effet de la charrue à disque sur les parcours à alfa dans la région de Djelfa | 107 |
| Figure 30 | Remonté biologique après les travaux de fixation biologique dans la région de Djelfa | 112 |
| Figure 31 | Dégradation d'une plantation à base d' <i>Atriplex canescens</i> dans la région de Djelfa. | 113 |
| Figure 32 | Carte des changements entre 1984/2001 | 131 |
| Figure 33 | Carte des changements entre 2001/2013 | 132 |
| Figure 34 | Parcours dégradé sous l'effet de la surexploitation | 138 |
| Figure 35 | Parcours à <i>Stipa tenacissima</i> dégradé | 138 |
| Figure 36 | Parcours à Alfa après mise en défens. | 138 |
| Figure 37 | Scénario pour une stratégie de fixation des dunes en fonction des caractéristiques écologiques de la zone | 144 |

Sommaire

SOMMAIRE

| | |
|-------------------------------|------|
| Dédicaces | I |
| Remerciements | II |
| Liste des abréviations | III |
| Liste des tableaux | IV |
| Liste des figures | VI |
| Sommaire | VIII |
| Introduction et problématique | 1 |

Chapitre I : Aperçu général sur la steppe Algérienne

| | |
|---|----|
| Introduction | 4 |
| 1. Caractéristiques générales | 4 |
| 1.1. Délimitation géographiques et superficie | 4 |
| 2. Espace écologique | 6 |
| 2.1. Hétérogénéité et spécificité | 6 |
| 2.2. Relief | 6 |
| 2.3. Les ressources hydriques. | 6 |
| 2.4. Climat | 7 |
| 2.4.1. Pluviosité | 7 |
| 2.4.2. Température | 7 |
| 2.4.3. Autres facteurs climatiques | 8 |
| 2.4.4. Synthèse climatique | 8 |
| 2.5. Sols | 9 |
| 2.6. Végétation steppique | 10 |
| 2.6.1. Parcours steppique | 12 |
| 2.6.1.6. Parcours à halophytes | 15 |
| 2.6.2. Situation actuelle des parcours | 16 |
| 2.6.3. Tentatives d'amélioration | 19 |

Chapitre II : Télédétection

| | |
|---|----|
| Introduction | 22 |
| 1. Télédétection | 22 |
| 1.1. Historique | 23 |
| 1.2. Technique de télédétection | 23 |
| 1.3. Domaine d'utilisation de la télédétection | 24 |
| 1.4. Principaux programmes | 24 |
| 1.4. 1. Landsat | 24 |
| 1.4. 2. ASTER | 26 |
| 1.5. Principe de la télédétection | 28 |
| 1.5.1. Signature spectrale des sols | 28 |
| 1.5.2. Signature spectrale de la végétation | 29 |
| 1.6. Traitements des données de télédétection | 30 |
| 1.6.1. Prétraitements | 30 |
| 1.6.2. Traitements proprement dits | 31 |
| 1.6. 3. Traitements d'optimisation | 33 |
| 1.7. Méthodes avancées de traitement des données de TLD | 36 |
| 1.7.1. Classification par l'utilisation des méthodes avancées | 36 |
| Conclusion | 38 |

Chapitre III : Présentation du milieu d'étude

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 39 |
| 1. Choix de la zone d'étude | 39 |
| 2. Bref Aperçu sur la wilaya de Djelfa | 39 |
| 2.1. Situation géographique | 39 |
| 2.3. Relief | 40 |
| 2.4. Rlimat | 40 |
| 2.5. Occupation du sol | 40 |
| 2.6. Elevage | 42 |
| 3. Milieu d'étude | 42 |
| 3. 1. Situation de la zone | 42 |
| 3.2. Cadre topographique | 42 |
| 3.2.1. L'Atlas Saharien | 43 |
| 3.2.2. Cuvette du Zahrez Gharbi | 43 |
| 3.3. Cadre géologique | 44 |
| 3.3.1. Lithologie | 44 |
| 3.3.2. Tectonique | 45 |
| 3.4. Aspect climatologique | 45 |
| 3.4.1. Précipitations | 46 |
| 3.4.2. Températures | 50 |
| 3.4.3. Evolution de la précipitation et de la température | 51 |
| 3.4.4. Précipitation - évapotranspiration (P- ETP) | 53 |
| 3.5. Autres variables climatiques en termes de contraintes | 56 |
| 3.5.1. Vents | 56 |
| 3.5.2. Gelées | 57 |
| 3.5.3. Grêles et neiges | 57 |
| 3.6. Synthèse climatique | 58 |
| 3.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1954) | 58 |
| 3.6.2. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger, (1955) | 60 |
| 4. Cadre hydrologique et hydrogéologique | 62 |
| 4.1. Eaux superficielles | 62 |
| 4.1.1. Oued mellah | 62 |
| 4.1.2. Oued El Hadjia | 62 |
| 5. Végétation | 63 |
| 5.1. Formations Forestière | 63 |
| 5.2. Formations Matorrals | 63 |
| 5.3. Formations steppiques | 63 |
| 6. Etude socio-économique | 64 |
| 6.1. Évolution de la population | 64 |
| 6.2. Emploi | 66 |
| Conclusion | 66 |

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

| | |
|---|-----------|
| 1. Données | 67 |
| 1.1. Choix du capteur | 67 |
| 1.2. Choix des images satellitales | 67 |
| 1.2. Choix des variables candidates pour la cartographie | 68 |
| 1.3. Méthode de cartographie choisie | 69 |
| 1.4. Prétraitements | 70 |
| 1.4.1. Choix de l'image référence | 70 |
| 1.4.2. Correction géométrique | 70 |
| 1.4.3 Normalisation radiométrique | 71 |
| 2. Traitements proprement dits. | 72 |
| 2.1. Etude statistique et composition RGB | 72 |
| 2.2. Création de masque | 73 |
| 2.3. Indices de végétation (IV) | 73 |
| 2.4. Analyse en composantes principales (ACP) | 73 |
| 2.5. Classification dirigée | 74 |
| 3. Logiciel utilisé | 75 |
| 3.1. ENVI 7.1 | 75 |

Chapitre V : Résultats et discussions

| | |
|---|------------|
| 1. Résultats | 77 |
| 1.1. Prétraitements | 77 |
| 1.1.1. Correction géométrique | 77 |
| 1.1.2. Normalisation radiométrique | 77 |
| 1.1.3. Création de masque | 78 |
| 1.2. Traitements des données de télédétection | 78 |
| 1.2.1. Compositions colorées | 78 |
| 1.2.2. Etude statistique sur les images utilisées | 79 |
| 1.2.3. Résultats des transformations des données de télédétection | 83 |
| 1.2.4. Photo-interprétation des images satellitaires et choix des zones d'entraînement | 90 |
| 1. 2.5. Classification supervisée et analyse des résultats | 94 |
| 1.2.6. Evaluation de la classification | 103 |
| 2. Discussion et comparaison des changements des occupations des sols | 104 |
| 2.1. Dynamique de changement | 116 |
| 2.1.1. Changement des unités | 116 |
| 2.1.2. Analyse des changements | 125 |
| Conclusion | 130 |

Chapitre VI : Proposition d'action d'aménagement

| | |
|--|------------|
| 1. Actions entrepris dans notre zone d'étude | 133 |
| 2. Proposition d'un modèle d'aménagement | 133 |
| 2.1. Problèmes posés et grandes lignes d'action pour l'aménagement de la zone d'étude | 133 |
| 2.1.1. Problèmes posés de l'amélioration des parcours steppiques | 133 |
| 2.1.2 Les grandes lignes d'actions | 134 |
| 2.2. Contraintes à lever pour la réussite de l'aménagement de la zone | 135 |
| 2.3. Travaux d'aménagement préliminaires | 136 |
| 2.3.1. Travaux d'aménagement pour la diversion et l'épandage des eaux | 136 |
| 2.3.2. Pitting/crochetage | 137 |
| 2.3.3. Fertilisation | 137 |
| 2.3.4. Sillons de niveau | 137 |
| 2.4. Actions agro-sylvo-pastorales | 137 |
| 2.4.1. Réduction de la pression pastorale ou mise en défens | 137 |
| 2.5. Action de reboisement | 140 |
| 2.6. Actions de fixation des dunes | 140 |
| 2.6.1 Principes généraux de fixation de dunes | 141 |
| 2.6.2 Fixation mécanique | 141 |
| 2.6.3 Fixation biologique | 142 |
| 2.5. Scénario éventuel pour une stratégie de fixation des dunes | 143 |
| Conclusion générale | 145 |
| Références Bibliographiques | 148 |
| Annexes | |

Introduction Générale

Introduction générale

La dégradation des différents écosystèmes de la planète a déjà commencé il y'a quelques centaines de milliers d'années, avec l'*Homo sapiens*, la première espèce animale dont l'impact sur la biosphère constituait une source potentielle de déséquilibre suffisante pour compromettre sa pérennité (Ramade, 1982). Les écosystèmes méditerranéens, à l'instar des autres écosystèmes mondiaux, sont les plus vulnérables en effet, l'agriculture et le pastoralisme, premières causes de déséquilibre de cette région sont d'une tradition millénaire. Loin d'avoir disparu de la civilisation contemporaine, l'exploitation irréfléchie, exagérée parfois, conduit à une dégradation massive de la biodiversité s'il n'est pas mis un terme à de telles pratiques.

Dès le dernier siècle, plusieurs botanistes et chercheurs ont attiré l'attention sur la dégradation du tapis végétal en Algérie (Maire, 1926 et Boudy, 1955). Dès lors, de très nombreux travaux ont porté sur les travaux sur les parcours steppiques et les forêts algériennes sont très nombreux, parmi les plus importants, nous pouvons citer : (Boudy, 1955 ; Monjauze, 1957 ; Negre, 1964 ; Letreuch, 1972, Pouget, 1980 ; Benabdeli, 1983 ; Kadik, 1983 ; Le Houerou, 1985; Kaabache, 1990 ; Mederbal, 1992 ; Khader *et al.*, 2009 ; Moulay *et al.*, 2011 et Mouissa, 2014). Cependant, il faut noter que les travaux de recherche phytosociologiques et phytoécologiques sont rarement pris en considération par les gestionnaires pour la réhabilitation et l'aménagement de tels milieux; un effort reste à faire dans ce domaine.

Les chercheurs de part le monde, reconnaissent une place primordiale aux zones steppiques dans la stratégie à déployer pour faire face à l'avancée des déserts. En Algérie, plus de vingt millions d'hectares du territoire national, s'étendant, du sud ouest au nord est constituent une barrière écologique naturelle entre un Sahara en mouvance et un Tell en perte de fertilité.

De nombreux facteurs écologiques militants, le plus souvent agissant en synergie, contribuent à l'affaiblissement de la steppe. Le fragile équilibre de cette barrière, naturellement mit en épreuve climat semi-aride et des précipitations irrégulières et rares, butte, depuis déjà quelques décennies, contre un accroissement démographique fort éprouvant et une exploitation inadaptée. L'appauvrissement du milieu par endroit dépassé le seuil d'alarme. La vitesse de diminution du couvert végétal s'accroît de plus en plus entraînant les sols vers une dégradation irréversible. Les parcours cèdent devant le surpâturage et des espèces peu ou non palatable par les animaux tel que *Noaea mucronata* et *Peganum harmalagagnent* ici et là toujours plus de terrain.

Plusieurs auteurs notamment, (Boukhobza, 1982 ; Benabadji et Bouazza, 2000 ; Mohammedi *et al.*, 2006 ; Aidoud *et al.*, 2006 ; Khader *et al.*, 2009 ; Brouri, 2011 ; Moulay *et al.*,

2011 et Mouissa, 2014 ; Khaldi, 2014 et Daoudi et *al.*, 2015) signalent que l'activité pastorale intense est devenue aujourd'hui, par l'exercice d'une pression permanente sur le milieu, une cause première de la dégradation de l'écosystème steppique et par-là même une préoccupation de premier ordre pour sa sauvegarde. L'accroissement de plus en plus accru de la demande en viande rouge, catalysée par des modes de gestion peu regardant sur les limites du milieu, a induit une surexploitation critique pour la steppe. En accompagnement, les mutations socio-économiques en cours depuis le début du siècle dernier se sont traduites par une déstabilisation des modes de gestions et d'exploitations.

Le système pastoral, jadis basé sur les grands déplacements du cheptel savamment régulés dans le temps et dans l'espace (Achaba, Azzaba), a cédé la place à un système agropastoral parasite obéissant à la seule logique du gain rapide et gros. Ainsi l'évolution de la fonction économique du milieu steppique, telle qu'elle se poursuit aujourd'hui, est une menace majeure à son essence écologique. Cette situation est de fait fort pré-occupante. Néanmoins, s'il est confirmé maintenant que les risques de désertification s'accroissent et se multiplient lorsque les humains agissent sur les écosystèmes au-delà de leur limite de résistance, l'espoir en l'Homme reste entier dans la recherche du juste équilibre par un mode d'exploitation soucieux de la santé de la steppe.

En Algérie, cette préoccupation majeure accuse un retard considérable. D'une part, les méthodes utilisées sont dépassées et d'autre part, au manque flagrant dans le suivi des opérations. A cela s'ajoute une marginalisation manifeste des approches scientifiques et des apports technologiques sans cesse croissant. La nécessité d'une intervention, efficace et imminente sur les zones fragiles arides et semi-arides est aujourd'hui plus que justifiée au regard du degré de dégradation des ressources naturelles, notamment le sol et le couvert végétal. Le bilan publié par le ministère de l'agriculture en 1984 reconnaît que 25% du territoire steppique Algérien, se trouvent dans un état avancé de dégradation. Cette dégradation s'est réalisée sous l'action combinée des facteurs du milieu physique et ceux de l'environnement socio-économique.

La gestion de l'espace pastoral obéit largement encore à des pratiques traditionnelles qui ont prouvé leurs limites. L'obligation de s'approprier des outils performants en matière d'investigations et de prospection est, depuis quelques temps et grâce au concours de scientifiques algériens, fortement recommandée dans toute réflexion sur des modèles de gestion appropriés : Les techniques de la géomatique en l'occurrence, figurent en très bonne place parmi ces outils.

Ils permettent entre autre une connaissance plus approfondie du terrain et offrent des données statistiques fiables, affinées et à des couts plus modeste. Le suivi des changements anthropogéniques et écologiques par l'utilisation des données de télédétection est devenu un

point crucial lors des applications d'informations liés à la gestion du milieu naturel et forestier (Rouse et al., 1974 ; Fiorella, 1999 ; Cohen et Goward, 2004 ; Gasparri et al., 2010). La steppe faut-il le rappeler, présente un certain nombre de spécificités qui la distingue des autres régions et en fait des milieux assez difficiles à aménager.

La première de ces particularités se rapporte à leur microclimat franchement contrasté. En effet l'insuffisance et l'irrégularité des précipitations dans l'espace et dans le temps, de même que les écarts fortes importants de températures font que les efforts d'aménagement demeurent compliquer.

Par ce travail, nous portons le regard sur l'état actuel des parcours steppiques et sur leur mode de gestion dans le but de relever les carences et proposer les remédiassions. Dans cet esprit, nous souhaitons alors, à l'aide des outils de Télédétection, apporter une contribution à la mise en œuvre d'une stratégie de gestion de l'espace pastoral. Notre problématique s'instruit à autour du questionnement suivant :

Quel est l'état actuel de la steppe algérienne tel qu'il est relevé par la télédétection?

Cette question, fondamentale de l'avis des spécialistes, est pour nous le repère et le fil conducteur de notre présent travail. Nous chercherons à faire le point sur les travaux réalisés autour de cette question dans le but d'enrichir nos connaissances et dans l'espoir d'affiner notre perception pour une réflexion future.

Dans cette perspective, nous avons limité notre zone d'étude à un espace géographique considéré comme référentiel dans le diagnostic de la steppe Algérienne. Il s'agit des territoires qui s'étendent administrativement sur la Wilaya de Djelfa.

Les objectifs de notre travail sont :

1. Réalisation d'un bilan spatiotemporel de la zone d'étude par l'utilisation des données de télédétection disponible en archives sur une période allant de 1984 à 2013
2. L'analyse et l'étude de la dynamique spatiotemporelle de la zone d'étude;
3. Recueil de quelques éléments de réflexion sur la nature et les causes des changements (Climatiques et Anthropiques) qui interviennent dans la dégradation du couvert steppique de la zone d'étude.
4. Elaboration d'une carte de changements.

Chapitre I

Aperçu général sur la steppe Algérienne

Introduction

En Algérie, les Hautes Plaines steppiques sont des régions à vocation essentiellement pastorale (Le Houerou, 1995a). Elles sont soumises à une forte tendance à la dégradation qui se traduit par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologiques et socioéconomiques. Nombreuses études phytoécologiques et pastorales entreprise dans ces régions ont permis d'évaluer et de cartographier les ressources naturelles disponibles. Des analyses diachroniques ont été réalisées dans le but de suivre la dynamique, de quantifier la dégradation du couvert végétal et de définir les facteurs qui en sont responsables.

1. Caractéristiques générales

Le terme steppe évoque d'immenses étendues à relief accusé, couvertes d'une végétation herbacée et clairsemée dominées par des espèces pérennes, dépourvues d'arbres (Le Houerou, 1995b).

1.1. Délimitation géographique et superficie

La steppe Algérienne forme un ruban de 1 000 km de longueur sur une largeur de 300 km à l'Ouest et au centre à moins de 150 km à l'Est. Elle s'étend sur plus de 20 millions d'hectares (Benrebaha, 1984 ; Halem, 1997). Géographiquement, elle se localise entre deux chaînes de montagnes en l'occurrence, l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud (figure 1). C'est ce qu'on appelle « Bled el ghnem » (pays du mouton) car elle se caractérise par sa principale production le mouton.

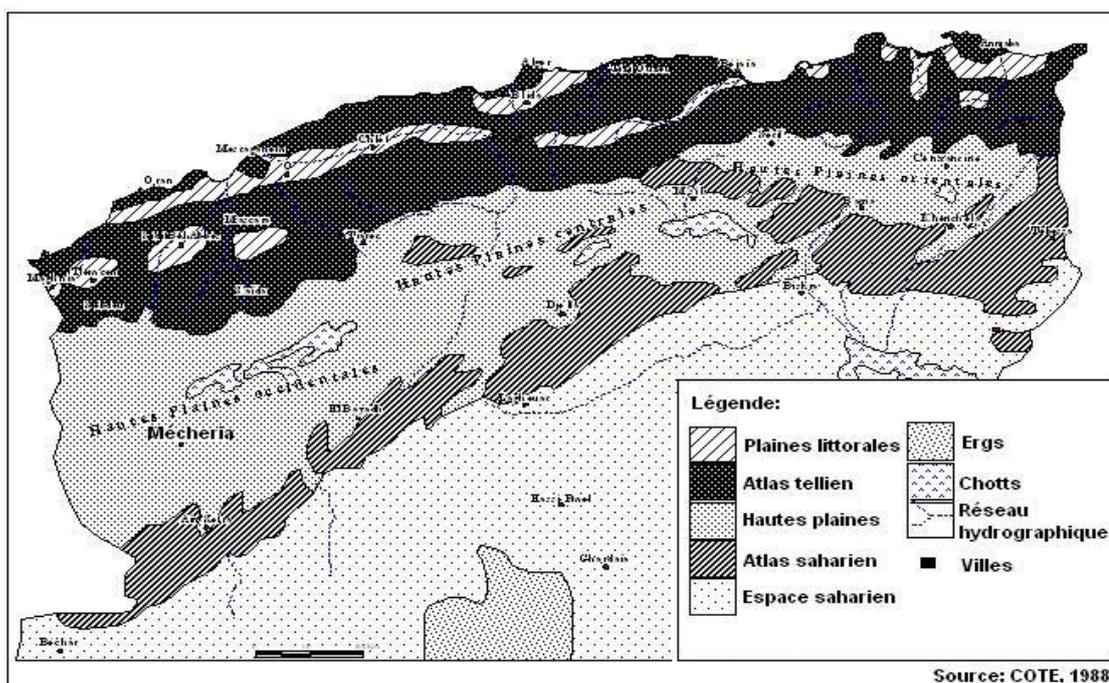


Figure 1 : Limites naturelles de la steppe Algérienne. Source : (Cote, 1988).

Cette délimitation géographique des régions steppiques reste souvent basée d'une part, sur les éléments du climat (pluviosité et température) et d'autre part, sur la végétation dont on se sert pour la classification des étages bioclimatiques (Figure 2). En prenant en considération cet aspect, la steppe se localise dans l'étage aride à semi-aride, délimitée au Nord, par l'isohyète 400 mm/an 'limite supérieur de l'Alfa' et au Sud par l'isohyète 100 mm/an 'limite inférieure de l'Alfa' (Le Houerou, 1959 et Pouget, 1980).

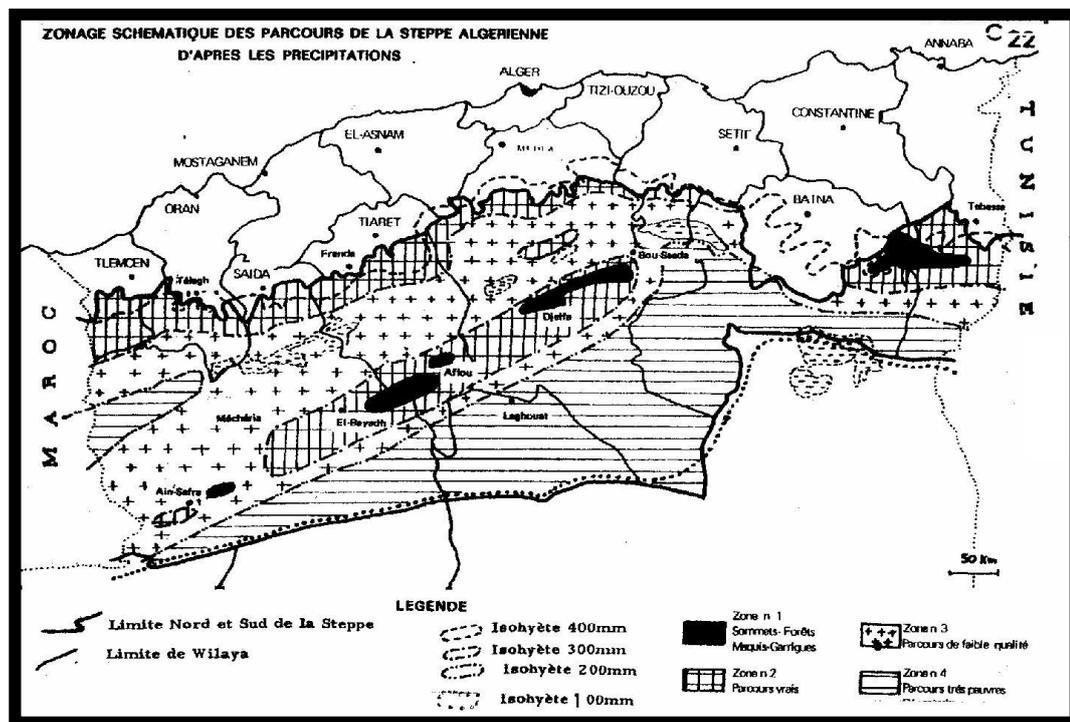


Figure 2: Zonage schématiques des parcours steppiques Algérienne selon les précipitations. (Abdelguerfi et Laouar, 199).

Selon la précipitation on peut subdivisée la steppe Algérienne en trois classes :

- Isohyète 300-400 mm/an correspond à la limite Sud de la céréaliculture régulière et productivité en dry-farming. L'isohyète de 400 mm/an coïncide avec la limite inférieure de l'aire de l'Alfa, (Quezel, 1974).
- La région steppique proprement dite et les grands espaces pastoraux sont situés entre les isohyètes 200-300 mm/an.
- La région steppique pré-saharienne est située entre les isohyètes 100 et 200 mm/an de pluviosité. Elle est dominée par les hauts-plateaux de parcours de type saharien et de vallées alluviales. L'isohyète de 100 mm/an coïncide avec la limite inférieure de l'aire de l'Alfa (Quezel, 1974).

2. Espace écologique

2.1. Hétérogénéité et spécificité

Le milieu physique de la steppe n'est pas homogène en raison des facteurs suivants :

- La pluviométrie qui varie du Nord au Sud pour donner trois étages bioclimatiques :

1. Semi-aride inférieur (300 à 400 mm de pluies par an) ;
2. Aride supérieur (200 à 300mm de pluies par an) ;
3. l'Arde inférieur (100 à 200mm de pluies par an).

- La répartition de la végétation reste aussi très hétérogène au niveau d'un même étage.

La spécificité de la steppe reste liée aux facteurs : homme, climat, sol et par conséquent la végétation. Ces facteurs combinés déterminent les systèmes de productions de la steppe.

L'hétérogénéité et la spécificité de la steppe, restent les éléments fondamentaux qui guideraient toute tentative d'utilisation de la steppe.

2.2. Relief

Les étendues steppiques sont légèrement vallonnées, parcourues par des « Fayeds » (lits d'oued) et parsemés de « Dayas » (dépression) plus ou moins vastes. L'altitude de la steppe est élevée, toujours supérieurs à 600 m sauf dans les chotts qui constituent des dépressions. On peut distinguer deux ensembles de relief bien distinct :

- Les hautes plaines Algéro-Oranaises se prolongeant à l'est par la cuvette du Hodna et les hautes plaines Sud Constantinoises dont l'altitude varie de 600 à 1200m.
- L'atlas Saharien et le mont des Aurès et Nememcha.

2.3. Ressources hydriques

Le réseau hydrographique est fortement influencé à la fois par des variations saisonnières et inter-annuelle de la pluviométrie et le relief formant cloisonnement orographique. Les Oueds sont pour la plupart secs en été (de 6 à 10 mois) et parcourus par des crues violentes et abondantes le plus souvent au début et à la fin de l'hiver. Les Oueds endoréiques se perdent dans les grandes dépressions et chotts, seuls deux se déversent sur la mer méditerranéenne : (Oued Mekerra et Oued Touil). Les eaux s'infiltrent dans les larges vallées mal dessinées des oueds et alimentent les nappes phréatiques.

Selon Labadi, (1998) elles sont disséminées à travers toute l'étendue steppique, comme suit :

- ✓ Nappe albienne affleurant sur le moyen Oued Touil : son débit est de 2600 l/s ;
- ✓ Barrage inféoflux souterrain unique dans son genre (Tadjemout) ;
- ✓ Nappe alimentant le barrage d'Ain Sekhouna (20 000 000 m³) ;

- ✓ Synclinal de Chrea d'un débit de 600 L/s ;
- ✓ Bassin d'El Ma Labiod, son débit est de 30 L/s.
- ✓ Nappe correspondant à la bordure Sud du bassin tectonique de Tebessa avec un débit de 800 L/s.

2.4. Climat

Le climat de la steppe Algérienne, une des caractéristiques principales des régions méditerranéennes arides et semi-arides, a fait l'objet de plusieurs travaux. Tous montrent que le climat est un facteur très important en raison de son influence prépondérante sur les zones steppiques et les précipitations exercent une action supérieure pour la définition de la sécheresse globale du climat. Il est contrasté avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse fraîche sinon froide.

2.4.1. Pluviosité

La région steppique est soumise à un climat typiquement méditerranéen caractérisé par des précipitations peu fréquentes, avec une grande variabilité annuelle et mensuelle, ainsi qu'une nette sécheresse estivale. Cependant, la pluviosité moyenne annuelle reste la donnée la plus utilisée pour caractériser la quantité de pluie d'un milieu physique.

Souvent, la pluviosité moyenne annuelle est faible (100 à 400mm/an) et sa répartition est irrégulière dans l'espace et dans le temps. Il faut noter l'aspect critique de cette pluviosité car son efficacité varie selon la quantité (importante Vs faible), sa répartition et selon le substrat édaphique et l'état du parcours.

Selon Seltzer (1946), les hautes plaines Algéro-Oranaises, reçoivent en moyenne entre 200 et 400 mm/an. La pluviosité s'abaisse sensiblement dans la région du chott El Hodna. Elle diminue encore plus sur le piémont Sud de l'Atlas Saharien. Seuls les sommets des massifs montagneux reçoivent des quantités d'eau plus importantes pouvant atteindre 500 mm (Djellouli, 1981).

2.4.2. Température

La température joue également un rôle important dans la vie des végétaux et des animaux. Il s'agit surtout des températures extrêmes (Minima et Maxima). La moyenne des minima du mois le plus froid (m) varie de -3 à $+6$ °C (Benrebiha, 1984). Selon la classification faite par Le Houerou, (1979) la steppe Algérienne reste dans sa grande partie comprise entre les isothermes $+1$ °C et $+3$ °C pour les températures minima et entre les isothermes 34 et 37° C pour les maxima. Les minima les plus remarquables sont de (-3 °C) dans la région d'El-Bayedh. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer la moyenne des Maxima dépasse les 38°C. Dans la région steppique, l'amplitude thermique extrême reste sensiblement égale à 34,6 °C.

2.4.3. Autres facteurs climatiques

2.4.3.1. Vent

La steppe est un champ de remous pour les masses d'air, en raison des immenses étendues et des couloirs qu'elle comporte. En hiver, elle est traversée par les courants de vents glaciaux qui risquent de geler les jeunes pousses des pâturages et par conséquent réduire les pousses vertes du printemps. En été, elle est parcourue par des courants d'air sec et chaud Sirocco ou «Guebli». Le Sirocco comme le définit Djebaili, (1984) est un vent chaud et sec à pouvoir desséchant élevé par l'augmentation de la température et l'abaissement simultané de l'humidité de l'air qui le provoque. Il accélère la dessiccation des végétaux, et l'augmentation de l'évapotranspiration.

2.4.3.2. Neige

Le nombre de jours d'enneigement varie de 5 à 18 jours et augmentent un peu plus en attitude (Djebaili, 1987).

2.4.3.3. Gel et gelées blanches

Les conditions orographiques locales (vallées, dépressions, Sebkhha) exercent une influence sur les fréquences de gelées blanches dans la région steppique. Le risque de gelée commence quand le minimum de la température tombe au dessous de 10°C. Les gelées blanches sont plus fréquentes dans les hautes plaines (30 jours/an) et dans l'atlas Saharien (50 jours /an) (tableau 1).

Tableau 1 : Nombre de jours annuels moyens de gel et sirocco pour quelques stations météo.

| Stations | Enneigement | Gelées blanches | Sirocco |
|-------------|-------------|--------------------|---------|
| El Bayadh | 13,1 | 17,8 | / |
| El Khaïther | 3 | 48,2 | 22 |
| Djelfa | 7,8 | 31,2 | 12,8 |

Source (Seltzer, 1946).

2.4.3.4. Evaporation

La tranche d'eau évaporée annuellement est presque toujours supérieure à la quantité totale de pluie tombée (Seltzer, 1946).

2.4.4. Synthèse climatique

La végétation est le reflet des conditions du milieu notamment les facteurs climatiques. Ainsi, comme le rapporte Djellouli, (1981) l'une des préoccupations des phyto-géographes et

climatologues est de chercher ; en étudiant les données climatiques disponibles, des expressions susceptibles de traduire au mieux et de façon globale la combinaison des variables climatiques influençant la vie des végétaux.

La diversité bioclimatique de la steppe se caractérise par trois contraintes majeures :

- Une aridité, particulièrement en saison chaude ;
- Un hiver rigoureux;
- Une variabilité climatique d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre.

En effet l'ensemble de la steppe Algérienne se situerait dans les étages arides froids et semi-arides froid à doux (Figure 3).

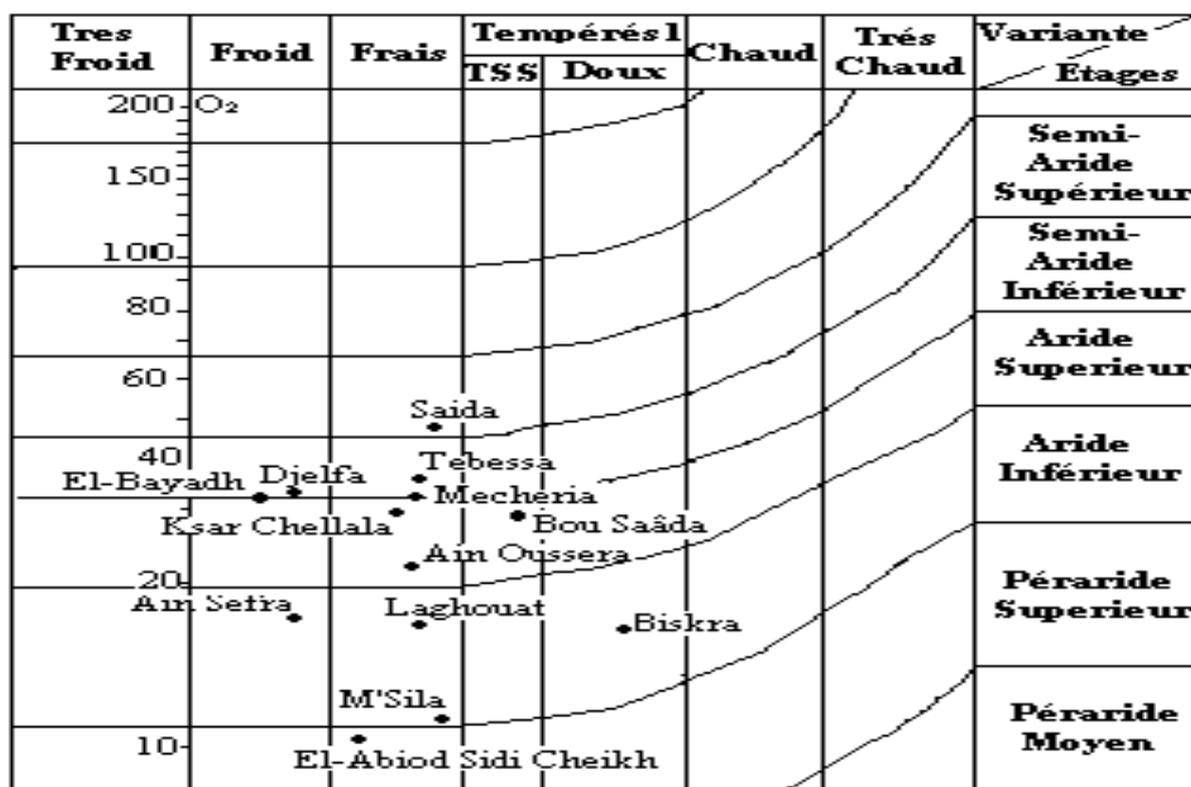


Figure 3 : Climagramme d'Emberger Sourc : (Le Houerou, 1995b).

2.5. Sols

Le sol est un milieu cohérent dont les propriétés s'expliquent par son histoire, les conditions de son environnement et souvent aussi par l'action humaine. Les sols steppiques sont squelettiques, c'est-à-dire pauvres et fragiles à cause de la rareté de l'humus et de leur très faible profondeur (Halitim, 1988). Adaptés au régime climatique aride, ils sont généralement peu évolués, moins profonds et parfois inexistant. Plusieurs études ont été consacrées à la caractérisation des sols steppiques (Aubert, 1960 ; Bellouam et al., 1975 ; Beraud et al., 1975 ; Pouget, 1980 ; Djebaili et al., 1982 et Halitim, 1988).

La répartition géographique des sols est, en général, suivant la situation géomorphologique, ainsi que le degré de pente. Les sols minéraux bruts d'érosion, par exemple,

sont liés aux affleurements rocheux et sont situés sur de fortes pentes. En fonction du substrat rocheux, on distingue principalement les lithosols et les rigosols en altitude. Les zones des terrasses d'oueds et les dayas, situées sur des pentes nulles à faibles, correspondent, généralement, aux glacis du quaternaire récent et au zone d'épandage et sont constituées, essentiellement, de dépôts alluviaux.

Ils sont caractérisés par une évolution beaucoup plus régressive que l'inverse (la morphogenèse qui l'emporte sur la pédogenèse). L'existence de bons sols est très limitée. Ces derniers sont destinés aux cultures et se localisent dans les dépressions, les lits d'Oued, les dayas et les piémonts de montagne du fait que leur situation permet une accumulation d'éléments fins et d'eau. La répartition des sols steppiques correspond à une mosaïque complexe du point de vue pédologie. Les sols sont généralement calcimagnésiques peu profonds, et sujets à un ruissellement très visible (Labadi, 1998).

La répartition des sols steppiques correspond à une mosaïque compliquée où se mêlent sols anciens et sols récents, sols dégradés et sols évolués.

Huit (8) classes de sols sont retenues par la classification française :

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| - Les sols minéraux bruts. | - Les sols peu évolués. |
| - Les sols alcimagnésimorphes. | - Les sols isohumiques. |
| - Les sols à sésquioxyle de fer. | - Les sols salsodiques. |
| - Les sols hydromorphes. | - Les vertisols. |

Les sols de la steppe sont sensibles aux défrichements, au surpâturage et aux techniques inadaptées qui peuvent perturber leur texture et structure.

2.6. Végétation steppique

Les recherches menées dans le domaine de la dynamique du milieu naturel ont montré qu'il y a eu des changements considérables dans les espaces pastoraux. Le Houerou, (1985) évoquant cette dynamique notait que « les caractéristiques phytosociologiques des forêts de pin d'Alep arides se retrouvent dans les steppes d'Alfa jusque sous l'isohyète 200 mm aussi bien en Tunisie qu'en Algérie ou en Libye et que la végétation primitive des steppes arides n'a donc pas été partout steppique contrairement à ce qu'on le pense ».

Il est possible qu'avant les grandes transformations opérées par l'Homme, la végétation évoluant librement, ait réalisé en chaque lieu des ensembles harmonieux, stables, en équilibre avec les conditions du milieu, et en définitif avec le climat et les conditions édaphiques tant que le climat ne changeait pas, les groupements végétaux demeuraient identiques. Après les

interventions successives de l'Homme et du cheptel dans le temps et dans l'espace, la végétation originelle a donné naissance à la végétation actuelle.

Selon Le Houerou, (1985) la steppe Algérienne s'est maintenue dans un état dynamique relativement satisfaisant jusqu'à 1975. Une réduction considérable du potentiel de production est survenue entre 1975-1985, évalué à 75% en moyenne.

Ainsi, les nombreuses études réalisées par les universitaires depuis les années 70, sur les steppes montrent toutes une importante régression du couvert végétal supérieure à 50% et une diminution sérieuse de la production des écosystèmes steppique passant de 120 à 150 UF/an en 1978 à 30 UF/ha/an pour les parcours dégradés et 60 à 100UF/ha/an pour les parcours palatables (Aidoud et Nedjraoui, 1992). La plupart des études (Celles, 1975; Djebaili, 1978 ; Le Houerou et Fromen, 1979 ; Pouget, 1980 ; Djebaili et *al.*, 1982 ; Le Houerou, 1985; Aidoud, 1989 ; Djellouli, 1990 ; Bedrani et *al.*, 1991 ; Mederbal, 1992 ; Bedrani, 1994 ; Le Houerou, 1995 ; Aidoud et Touffet, 1996 ; Aidoud et Lounis, 1997 ; Benabadji et Bouazza, 2000 ; Mohammedi et *al.*, 2006 ; Aidoud et *al.*, 2006) réalisées sur le couvert steppique ont abouti à la conclusion que la végétation steppique se trouve dans un état alarmant dû à l'action combinée des facteurs climatiques et anthropiques.

La répartition de terres selon leur vocation présumée est reportée dans le tableau 2, montre que la superficie des parcours palatables pourrait avoir perdue entre 1,7 et 2,2 millions d'hectares au profit des terres cultivées (y compris jachères) et 0,4 Millions d'hectares au profit des zones improductives, en raison de l'extension de la culture qui représente 2,4 à 2,9 Millions d'hectares soit un taux de 4,8% à 5,8% de la surface totale de la steppe. Ces cultures se localisent sur les bons sols qui offrent des possibilités d'irrigation (Fayeds, Dayas, piémont des montagnes).

Tableau 2 : Occupation du sol des zones steppiques exprimé en million d'hectare

| Auteurs | Cultures | Forêts | Zones improductives (estimation) | Total partiel (estimation) | Palatable total estimation | Total |
|------------------|-------------|--------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| Bedrani, (1994) | 2,4 à 2,9 | 1,4 | 2,9 | 6,7 à 7,2 | 12,8 à 13,3 | 20 |
| M.A.R. A, (1974) | 1,1 | 1,4 | 2,5 | 5 | 15 | 20 |
| Ecart | - 1,3 à 1,8 | 0 | + 0,4 | +1,7 à 2,2 | - 2,2 à 1,7 | 00 |

La végétation steppique est formée en grande partie par des espèces vivaces ligneuses (Chamaephytes) ou graminéennes, arbustive ou buissonnante. Elle est discontinue formant des touffes couvrant 10 à 80 % de la surface du sol. C'est une végétation basse et traque une hauteur variable entre 10 cm et 1m et même plus. Les espèces vivaces sont particulièrement adaptées aux

conditions climatiques et édaphiques arides. Un grand nombre d'entre elles gardent leur verdure en saison sèche.

A ces espèces vivaces s'ajoute une végétation herbacée annuelle dite printanière (Acheb), elle apparaît avec les premières pluies pour quelques semaines (environ 2 à 4 mois) et occupe en préférence les sols sablonneux ou limoneux et humide. Elles s'abritent souvent par les touffes des espèces annuelles vivaces (Alfa, Sparte, Chamaephytes ...). La végétation steppique est de très inégale valeur, tant pour sa composition floristique que par sa densité. Si on impute les zones de cultures, les forêts et les zones improductives, il nous reste 15 millions d'hectares de végétation steppique qu'occupent les parcours.

La steppe Algérienne est dominée par 4 grands types de formations végétales : les formations à Alfa (*Stipa tenacissima*), à armoise blanche (*Artemisia herba alba*), à sparte (*Lygeum spartum*) et à remt (*Hamada scoparium*). Les formations azonales sont représentées par les espèces Psammophiles et les espèces Halophiles.

2.6.1 Parcours steppique

La végétation steppique peut revêtir diverses physionomies et structures. Ainsi, on peut distinguer plusieurs types de parcours steppiques.

2.6.1.1. Parcours à Alfa (*Stipa tenacissima*)

Les parcours ou steppes à Alfa (Figure 4) dont l'aire potentielle était de 4 millions d'hectares assurent la transition entre les groupements forestiers et les groupements steppiques à armoise blanche. Elles présentent une forte amplitude écologique (Achour, 1983 et Kadi-Hanifi, 1998). On les retrouve en effet dans les étages bioclimatiques semi-arides à hiver frais et froid et aride supérieur à hiver froid. Ces steppes colonisent tous les substrats géologiques de 400 à 1800 m d'altitude (Djebaili et al., 1989). Dans les cas les plus favorables la production de l'Alfa peut atteindre 10 tonnes MS/ha, mais la partie verte, qui est la partie exploitable, a une production de 1000 à 1500 kg MS/ha (Aidoud, 1983 et Nedjraoui, 1990).



Figure 4 : Steppe d'alfa dans la région de Djelfa

Les nappes alfatières se dégradent rapidement depuis une trentaine d'années dans les hautes plaines steppiques. Dans de nombreux sites, l'Alfa tend à être remplacé par l'armoïse (Bensid et Debouzie, 1996).

La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique (Nedjraoui, 1981). La valeur pastorale des parcours à Alfa permet une charge de 4 à 6 hectares par mouton. La productivité au niveau de ces parcours, laisse apparaître des variations selon plusieurs auteurs (Tableau 3).

Tableau 3 : Variation de la productivité de l'Alfa selon différents auteurs.

| Auteurs | Densité (Pieds/ha) | Production en M. F (kg/ha) | Production en M. S (kg/ha) | UF et N UFL/ha |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Djebaili et al. (1989) | ----- | ----- | 1000-1500 | 130 ⁽¹⁾ |
| Ouaffai et al. (2001) | 4000 | 1710 | 1098 | 210 ⁽²⁾ |

⁽¹⁾ Calculée selon Bereirem (1954) ; ⁽²⁾ Calculée selon le système français (I. N. R. A, 1978).

2.6.1.2. Parcours à armoïse (*Artemisia herba alba*)

Les parcours à armoïse recouvrent en moyenne une superficie de 3 millions d'hectares (en aire potentielle). Ils se situent dans les étages arides supérieures et moyens à hiver frais et froid semi-arides frais ; avec des précipitations comprises entre 100 et 300 mm, souvent sur des croûtes plus ou moins profondes, mais avec une pellicule de glaçage en superficie (Djebaili et al., 1989).

La production primaire varie de 500 à 4500 kg MS/ha/an en fonction du degré de dégradation du milieu. La production annuelle totale est de 1000kg MS/ha dont une production annuelle consommable estimée à 500kg MS/ha ce qui représente une productivité pastorale moyenne de 150 à 200 UF/ha. (Aidoud, 1983 et 1989). L'armoïse ayant une valeur fourragère importante de 0,45 à 0,70 UF/kgMS (Nedjraoui, 1981), les steppes à armoïse blanche sont souvent considérées comme les meilleurs parcours avec une charge de 1 à 3 ha/mouton.

Les parcours à armoïse sont utilisés pendant toute l'année et en particulier en mauvaises saisons, en été ou en hiver, où ils constituent des réserves importantes. Ce type de parcours fournit des réserves fourragères pour l'alimentation sur pied pour le cheptel ovine (Lapeyronie, 1982). L'armoïse est une espèce bien adaptée à la sécheresse et à la pression animale, en particulier ovine. Le type de faciès dégradé correspond à celui de *Peganum harmala* dans les zones de campement et autour des points d'eau (Nedjraoui, 2001).

2.6.1.3. Parcours à sparte (*Lygeum spartum*)

Selon Djebaili et *al.*, (1989) ces parcours occupent une superficie de 2 millions d'hectares environ. Ils sont localisés dans les étages semi-arides frais et surtout arides frais ou froids, souvent sur des croûtes calcaires plus ou moins profondes, mais avec une pellicule de glaçage en superficie. Elles sont rarement homogènes et occupent les glacis d'érosion encroûtés recouverts d'un voile éolien sur sols bruns calcaires, halomorphes dans la zone des chotts (Nedjraoui, 2001). La productivité du *Lygeum* est comprise entre 300 et 500 kg MS/ha/an. En termes d'UF, les parcours à sparte sont d'un niveau productif moindre, évalué à 150 UF/ha/an (Nedjraoui, 1981). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Ouaffai et *al.* (2001) dans la zone de Djelfa, où ils ont déterminé une productivité en matière sèche du *Lygeum spartum* égale 818 kg MS/ha, soit un rendement énergétique de 168 UFL/ha. Cependant, cette espèce ne constitue qu'un pâturage assez pauvre, sa valeur énergétique étant de 0,20 UFL/kg. Elle n'est broutée qu'au moment des bourgeonnements aériens des rhizomes (mars-avril) (Lapeyronie, 1982). Leur intérêt vient de leur diversité floristique. La productivité, relativement élevée (110 kg MS/ha/an), des espèces annuelles et petites vivaces, confère à ces types de parcours une production pastorale importante de 100 à 190 UF/ha/an permettant une charge de 2 à 5 ha/mouton (Nedjraoui, 2001).

2.6.1.4. Parcours à Remt (*Arthrophytum scoparium*)

D'après Nedjraoui, (2001) les parcours à remth *Arthrophytum scoparium* forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Les mauvaises conditions de milieu, xérophilie ($20 < P < 200$ mm/an), thermophilie, variantes chaude à fraîche, des sols pauvres, bruns calcaires à dalles ou sierozems encroûtés, font de ces steppes, des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La valeur énergétique de l'espèce (*Remt*) est de l'ordre de 0,2 UF/kgMS. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 kgMS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/an avec une charge pastorale de 10 à 12 ha/mouton.

2.6.1.5. Parcours à psamophytes

Les parcours à psammophytes sont liées à la texture sableuse des horizons de surface et aux apports d'origine éolienne. Ces formations sont inégalement réparties et occupent une surface estimée à 200000ha. Elles suivent les couloirs d'ensablement et se répartissent également dans les dépressions constituées par les chotts. Elles sont plus fréquentes en zones aride et présaharienne. Ces formations psamophytes sont généralement des steppes graminéennes à *Aristida pungens* et *Thymellaea microphyla* ou encore des steppes arbustives à *Retama retam* (Le Houerou, 1969 ; Celles 1975; Djebaili, 1978). Le recouvrement de la végétation psamophyte est souvent supérieur à 30% donnant une production pastorale importante comprise entre 150 et 200

UF/Ha/an. Cette production relativement élevée est due essentiellement à la prolifération des espèces annuelles dans ce type de parcours ensablé, ce qui permet une charge de 2 à 3 ha/mouton.

2.6.1.6. Parcours à halophytes

La nature des sels, leur concentration et leur variation dans l'espace vont créer une zonation particulière de la végétation halophile autour des dépressions salées. Ces formations se développent sur des sols profonds (supérieur à 1mètre) riches en chlorure de sodium et en gypse. Ces formations étant très éparses, leur surface n'a pas été déterminée de façon très précise, mais ils sont d'environ 1 million d'hectares d'après Djebaili et *al.*, (1982). Cependant elles constituent d'excellents parcours notamment pour les ovins en raison des fortes teneurs en sel dans ce type de végétation et les valeurs énergétiques relativement élevées des espèces les plus répandues (0,89 UF/Kg MS pour *Suaeda fruticosa* ; 0,85 UF/KgMS pour *Atriplex halimus* ; 0,68 pour *Frankenia thymifolia* et 0,58 UF/Kg MS pour *Salsola vermiculata*). Les espèces dominantes les plus courantes comprennent beaucoup de chénopodiacées dont les principales espèces sont : *Atriplex halimus* et *Salsola vermiculata*. Il faut noter que les *Atriplex* présentent un double intérêt à savoir :

- **Un intérêt fourrager** : Ils peuvent constituer une réserve fourragère sur pied non négligeable, pour l'alimentation du cheptel. Ceci est démontré par les travaux réalisés *in vitro* et *in vivo* de Ouaffai et *al.*, (2000). En ce qui concerne la valeur nutritive de *l'Atriplex canescens* elle est variable d'une région à une autre mais en générale elle est comprise entre 0,30 à 0,55 UF/kg Ms.

- **Un intérêt écologique** : protection des terrains de parcours contre l'érosion (éolienne et hydrique) ainsi comme moyen de fixation biologique des dunes, ceci est démontré par les travaux de l'INRF Station de lutte contre la désertification Djelfa (figure 5) et la valorisation des étendues salées.



Figure 5 : Parcours d'*Atriplex canescens* dans la région de Zaâfran W de Djelfa.

Franclet et Le Houerou., (1971) signalent que les *Atriplex* permettent de réduire la salinité des sols d'environ 1100 de NaCl /ha/an. Par ailleurs, notons que *Salaola vermiculata*, offre également un intérêt fourrager puisqu'elle permet un apport énergétique. De plus, selon les observations de Botschantzev et al., (1970), elle se caractérise par une longue période d'utilisation (printemps et été) et par une bonne appétibilité. Aussi, elle est consommée par les principales espèces de ruminants qu'on rencontre dans les zones steppiques (ovins, caprins et camelins).

On peut retrouver sur des steppes peu dégradées des traces d'une autre formation végétale le matorral qui est composé d'arbustes hauts de 1 à 2m, tel que le *Ziziphus lotus* (jujubier), le *Retama retam* (retam) et le *Geniperus phoenica* (genévrier de phénicie). Enfin, on retrouve des associations d'annuels formants des pelouses sur les bas-fonds et en particulier sur les terrains défrichés, là où disparaît la végétation steppique vivace (tableau 4).

2.6.2. Situation actuelle des parcours

L'état actuel des parcours est alarmant. Le processus de dégradation a pris de l'ampleur sans précédent durant les années quatre vingt-quatre vingt dix (Aidoud, 1994). Ainsi plus de 80 % de la surface totale ont atteint un niveau de production inférieur à 50 % de leur potentiel écologique productif (Benrebiha, 1984).

A l'origine de cette situation porteuse de graves risques à l'écosystème steppique, il y a une conjonction de facteurs naturels ou provoqués imputables essentiellement à l'exploitation anarchique des parcours, pour la survie d'une activité pastorale devenue désormais aléatoire ainsi qu'aux aléas climatiques.

2.6.2.1. Action du climat

L'action du climat s'est accentuée de façon significative surtout par la sécheresse des deux dernières décennies dont les effets ne sont qu'une circonstance favorable à la dégradation et non la cause (Boughani, 1995). Toute fois, selon le même auteur si une aridification du climat se précisait, la sécheresse conjointement au surpâturage deviendrait une cause essentielle de cette dégradation.

En effet, sous climat aride, ce sont les conditions hydriques qui déterminent le fonctionnement d'un écosystème au niveau de la phytocénose ; s'exprimant d'un point de vue qualitatif par la richesse floristique et la phénologie et d'un point de vu quantitatif par la production primaire nette (Aidoud, 1989). Par ailleurs, Larpyronie, (1982) souligne que les conditions climatiques, notamment la sécheresse et surtout une succession d'années sèches éliminent un grand nombre de plantes, en favorisant d'autres, cette constatations est résumée au tableau 4 par Ozenda et Borel (1990).

Tableau 4 : Classification de l'ensemble végétal steppique par ordre de régression.

| Formation Végétale | Association – Faciès | Géomorphologie |
|---|--|------------------------------------|
| Forêts claires | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Pinus alepensis</i> • <i>Pistacia atlantica</i> | Djebels, Piedmonts |
| Matorral | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Ziziphus lotus</i> • <i>Retama retam</i> • <i>Geniperus phoenica</i> | Plateaux, Glacis, Piedmonts |
| Steppe | Groupe gramineen: | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Stipa tenacissima</i> • <i>Lygeum spartum</i> • <i>Aristida pungens</i> | Crêtes plateaux Sables fixes |
| | Groupe chamaephyte: | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Artemisia herba alba</i> • <i>Artemisia campestris</i> | Plateaux, |
| | Groupe crassulescent : | |
| Plantes halophiles <i>Atriplex halimus</i> , • Salsolacées, | Terrains sableux | |
| | Groupe nanophanaerophyte: | |
| | • Chamaephyte et arbustes | Piedmonts |
| Pelouses | Annuelles et plantes post-culturelles | Alluvions et colluvions humides |
| Steppes dégradées | • <i>Salsola zygophylla</i> | Sols plus halomorphes |
| | • <i>Peganum harmala</i> | Terrains sableux |
| | • <i>Thymelea microphylla</i> | |

Ozenda

2.6.2.2. Action anthropique

L'action anthropique a fait subir à la physionomie de la steppe depuis quelques années d'importants changements qui semblent indiquer une tendance régressive de la végétation (Aidoud, 1989). Ce phénomène accentue la fragilité de l'écosystème, en raison de l'exploitation du milieu, selon des modes et moyens inadaptés. Cette action, trouve sa traduction dans :

a/ Mise en culture

Selon Pouget, (1980) la mise en culture sous entend au préalable, un défrichement, lui-même à l'origine de la diminution de la superficie de parcours palatables et de même la dégradation de certaines des terres mises en culture, car présentant des caractères physiques favorisant une déperdition au moindre aléa externe. En effet, l'absence d'une réglementation d'accès aux parcours a favorisé et encouragé les labours et les défrichements des meilleurs parcours pour la mise en place d'une céréaliculture épisodique.

Le défrichement pour la mise en culture a été très important au cours de ces trente dernières années. Ce qui a accentué la surcharge du reste des parcours, augmentant les risques de désertification (Abdelgherfi et Laouar, 1999). Par ailleurs, notons que la mise en culture favorise l'installation d'une végétation annuelle (végétation messicole) avec d'une façon générale la disparition plus ou moins rapide et complète des espèces vivaces et spontanées (Lappyronie, 1982).

b/ Surpâturage

Le surpâturage se définit comme étant l'action qui consiste à prélever sur une végétation donnée, une quantité de fourrage supérieure à la capacité de production annuelle.

Le surpâturage peut être essentiellement dû :

- A la forte concentration du cheptel, en raison de l'augmentation du nombre de tête parallèlement à une diminution de la surface palatable ;
- Au cantonnement permanent sur les mêmes terrains de parcours, généralement autour des points d'eau et les lieux d'habitations.

Bedrani (1995), estime que l'effectif ovin a triplée entre 1960 et 1990 et a enregistré une croissance de 83 % entre 1970 et 1983. Cette nette augmentation conduit à une surcharge à l'hectare, ce qui provoque un surpâturage généralisé. L'impact du surpâturage sur la végétation se traduit selon Aidoud, (1989) par :

- Le développement des espèces « indésirable » refusées ou très peu consommées par le troupeau qui devient dominant ;
- Le développement d'une flore « post-pastorale » riche en thérophytes, favorisée par la concentration des animaux (plantes nitrophiles) ;
- La régression du couvert végétal en général, celui des pérennes en particulier.

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

c/ Eradication des plantes ligneuses

La destruction des espèces ligneuses pour les besoins domestiques comme source d'énergie et autres usages divers (artisanat, brise vent, clôture...), est spectaculaire surtout en Afrique du Nord et au proche –orient. Cette pratique demeure toujours en vigueur chez les nomades, mais tend de plus en plus à diminuer (Boughani, 1995).

L'état actuel de la dégradation du couvert forestier montre que la végétation ligneuse a été surexploitée. Ceci s'explique par les besoins en combustible pour la cuisson, le chauffage et même l'utilisation des perches dans la construction, amenant les populations à déraciner les espèces ligneuses (*Artemisia herba alba*, *Noaea mucronata*, *Salsola vermiculata* et *Tetrandra*, *Hammada scoparia*, etc...) et/ où à couper les arbustes et les arbres qui subsistent (*Juniperus phoenicoide*, *Tamarix*, *Jujubier*, *Chêne vert*, *Pin d'Alep*... etc.).

Enfin, on peut conclure, qu'en voulant ces milieux à ces avantages ; l'homme est manifestement, en grande partie responsable de leur détérioration, mais il en est généralement la victime, contraint de vivre dans des écosystèmes fragiles, soumis à une grande variabilité des précipitations et un retour épisodique de la sécheresse.

d) Démographie

Le Houerou (1983), note que dans la plupart des zones arides mondiales, la population s'accroît au rythme exponentiel de 2,5% à 3,5% par an, et parfois plus. Les zones, où la pression démographique est la plus intense sont aussi les zones où le risque de la désertification est plus aigu.

2.6.3. Tentatives d'amélioration

Devant la gravité d'une telle situation, de nombreuses techniques d'amélioration pastorale ont été conduites, et ce afin d'y remédier au processus de dégradation.

2.6.3.1. Mise en défens

La mise en défense temporaire ou différée est la soustraction temporaire d'une surface de pâturage ayant pour but la reconstitution des espèces vivaces, l'établissement des jeunes semis ou la mise à graine des annuelles ou des vivaces (Bourbouze et Donadieu, 1987). L'efficacité de la mise en défens est d'autant plus grande que le climat est moins aride et les sols sont plus profonds, perméables et fertiles ; cependant cette efficacité dépend aussi de la dynamique de l'écosystème envisagé en particulier de son entropie, de sa résilience et de l'importance spatiale relative des écosystèmes dégradés et non ou peu dégradés en présence (Le Houerou, 1985). La durée de la mise en défens dépend du degré de dégradation des parcours et de la conjoncture pluviométrique au cours de la période de protection (Khelil, 1997).

De nombreux travaux, notamment ceux de Rodin et *al.*, (1970) ; Floret, et pontanier, (1980) et Aidoud (1983, 1989), montrent que la mise en défens de courte durée permet d'augmenter la production. Malheureusement, l'abus de cette technique n'a pas toujours donné les résultats escomptés. Par contre, la mise en défens de longue durée aboutit à la lignification de la végétation qui diminuera de son intérêt pastoral (Aidoud, 1989). De plus, elle présente l'inconvénient de soustraire pendant longtemps une quantité d'unité fourragère disponible et surcharger les autres parcours (Benrebiha, 1984). Donc ; la solution d'amélioration passe non pas par l'interdiction absolue des pâturages de plusieurs années mais par un simple contrôle de charge par le quel l'animal exerce un effet stimulant sur la végétation (Lapeyronie, 1982).

En effet, les piétinements enfouissent les graines et ameublissent le sol de sorte que les plantes annuelles pourront être favorisées lors de la prochaine germination. Par contre, lorsque les piétinements sont trop intenses, ils détruisent les couches de vivaces qui diminuent d'importance relative. Enfin, la mise en défens pourrait dans des cas particuliers, être accompagnée d'intervention de type recepage, résumés, «pitting» et devrait être suivie d'une exploitation pastorale rationalisée (Boughani, 1995).

2.6.3. 2. Plantation d'arbustes fourragers

Khelil, (1997), indique que la plantation d'arbustes fourragers présente les avantages suivants :

Résistance élevée à la sécheresse ;

Réserve sur pied d'aliments généralement de bonne qualité pour les périodes sèches ;

Très grande productivité ;

Aptitude à utiliser les nappes phréatiques plus ou moins profondes (2,20 m).

Utilisation des sols marginaux (dunes, marnes, sols salés, fortes pentes, submersibles,...);

Mise en œuvre relativement facile avec des taux de réussite élevés, lorsque les normes techniques sont respectées ;

Conservation du sol, lutte contre l'érosion et la désertification.

Cette technique, bien que présentant des avantages certains indéniables, notamment ceux se rapportant à la transformation du paysage steppique et par conséquent, des mentalités pour ceux qui ne voient dans la steppe que le mouton ; est soumise à un certain nombre de contraintes (contrôle absolu du troupeau, gestion relativement élaborée variant d'une espèce à l'autre...), qu'il s'agira de lever et de maîtriser pour faire de la steppe un écosystème en évolution positive s'intégrant dans un véritable système de production.

2.6.3. 3. Exploitation rationnelle

L'amélioration de ces parcours et de leurs productivités ne doit pas se limiter à de simples actions de mise en défens ou de plantation. Elle suppose une organisation de la gestion de ces parcours qui préserve et améliore la végétation à travers des statuts juridiques adoptés et une exploitation rationnelle. Cette dernière, nécessite une mise en place d'un système de rotation de pâturage dont le reste de la charge à l'hectare est l'élément fondamental qui prend différentes significations (Boughani, 1995).

La charge est définie comme étant le nombre d'animaux d'un type précis par hectare et pour une période donnée. On estime théoriquement en nombre d'hectares par unité ovine ou en UFL/ha, on admet que :

- une unité ovine = 400 UF/an ;
- une unité caprine = 300UF / an;
- une unité cameline = 2000 UF /an.
- une unité ovine = 1 brebis + un agneau (jusqu'à l'âge de 3 mois).

Les éléments servant à la détermination de la charge sont :

- La production fourragère et période végétative ;
- La fréquence de repousses ;
- La consommation par jour et par tête.

Conclusion

Les steppes Algériennes sont très sensibles au processus de désertification. En effet, les différents facteurs de dégradation se conjuguent pour créer un déséquilibre écologique social et biologique. Les indicateurs de la désertification, qui concernent en fait les attributs vitaux de l'écosystème, sont la détérioration des caractères du sol, la diminution des réserves hydriques et de la fertilité du sol, allant souvent jusqu'à sa stérilisation, et la régression de la productivité végétale. Ces indicateurs d'impact induisent une modification des systèmes de production inhérente à une intensification des besoins et par là même une mauvaise gestion des parcours donnant lieu à une surexploitation des ressources naturelles disponibles. La surveillance continue de l'écosystème par les outils modernes tels que la télédétection et les SIG notamment la géomatique qui est un axe prioritaire de recherche qu'il faudrait développer car ils permettent de délimiter les différents écosystèmes en fonction de leur état de dégradation et de dégager les zones prioritaires d'intervention pour lutter contre le processus de désertification.

Chapitre II
Téledétection

Introduction

La science et les techniques spatiales notamment, la géomatique, constituent des outils essentiels dans le suivi et l'évaluation de la dégradation des écosystèmes naturels. Les données de télédétection satellitaire sont considérées comme un puissant outil de caractérisation, d'inventaire et de suivi temporel des processus de dégradation. Elle est devenue (télédétection) un passage obligé rapide et efficace pour plusieurs disciplines grâce à l'aspect synoptique, la répétitivité de l'acquisition des images et la disponibilité d'archives importantes (depuis des années 1970 ; le cas du satellite Landsat). La combinaison des données de télédétection, l'utilisation des systèmes d'informations géographiques et la modélisation sont souvent utilisées en appui aux études écologiques et aux applications de portée spatiale et temporelle (Cohen et Goward, 2004). Dans ce chapitre nous allons présenter une synthèse bibliographique sur la télédétection les méthodes de traitements les plus utilisées.

Selon ESRI (Environmental Systems Research Institute)- France « La géomatique est une discipline regroupant les pratiques, méthodes et technologies qui permettent de collecter, analyser et diffuser des données géographiques ». L'objectif final de la géomatique est la représentation spatiale des données récoltées pour identifier, représenter et démontrer les résultats d'analyses statistiques. De ce fait, la géomatique apporte un nouvel axe d'analyse à vos données qui, jusqu'à présent, n'étaient analysées qu'en deux dimensions. Logiquement, le terme géomatique provient de la contraction des termes géographie et informatique. La géomatique permet donc de tirer le meilleur parti de chacun de ces deux domaines ».

1. Télédétection

Plusieurs définitions du mot télédétection ont été proposées, à titre d'exemple :

D'après Deshayes et *al.*, (1990) «*La télédétection est un moyen d'appréhender les objets et d'étudier leur propriétés spectrales, cela se fait en étudiant les caractéristiques des ondes électromagnétiques réfléchies ou émises par ces objets. Elle est basée sur le principe que chaque objet absorbe, émet, diffuse et réfléchit des rayonnements qui lui sont propres et que l'on peut enregistrer et analyser*».

Une autre définition donnée par la commission ministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale (COMITAS) et qui a fait l'objet de sa publication par arrêté dans le journal officiel de la république française «*la télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact direct avec ceux-ci* »

(Bonn et al.,1996). Définissent « la télédétection comme étant est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci ».

Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol,...) (Girard et Girard, 1999).

1.1. Historique

La télédétection est devenue possible le jour du premier vol en ballon en 1738 et qui a permis par la suite à Felix Tournachon en 1858 de prendre la première photographie aérienne de Paris. Ce fut le point de départ de toute une dynamique qui jettera les bases de la télédétection contemporaine. Dès le début du XXème siècle et grâce aux nombreux développements survenus dans le domaine de l'aviation, il était désormais possible de sillonner le ciel et d'obtenir une vision de l'ensemble de notre milieu qui était limité dans un premier temps. Parallèlement à cela, de nombreux capteurs utilisant les pellicules couleur ont été développés depuis 1895 (Caloz, 1994).

La photographie aérienne constitue le plus ancien des supports utilisés par les thématiciens ayant donné naissance à la photo-interprétation. Elle a ainsi permis une vision globale et synoptique de notre milieu tout en restant limité au seul domaine visible. Pour les domaines non visibles, tels l'infrarouge qui a été découvert par Harschel en 1800, il fallait attendre 1960 pour qu'il soit appliqué dans l'étude de la végétation et la détection des maladies des plantes. Néanmoins on s'est vite aperçu qu'un procédé de photographie ne permettrait pas d'aller très loin dans l'infrarouge pour détecter des variations de températures de la surface terrestre et des océans. Il faut des capteurs sensibles à l'infrarouge thermique aux environ de dix microns, ce qui a amené à la conception des détecteurs électroniques. Ainsi, des technologies nouvelles ont fait leurs apparitions à partir de capteurs autres que les caméras photographiques (Kangas et Maltamo, 2006).

1.2. Technique de télédétection

Les techniques de télédétection peuvent être classées selon les domaines du spectre électromagnétique, le nombre de bandes spectrales, les largeurs de bandes spectrales et sur la

base de la source d'énergie (Figure 6). Lorsque les systèmes de télédétection dépendent de sources naturelles d'énergie, tels que le rayonnement entrant du soleil ou le rayonnement émis par la surface de la Terre, la télédétection est classée comme une télédétection passive. Lorsque des impulsions d'énergie requises pour la télédétection sont générés par le capteur lui-même (RADAR « Radio Detection And Ranging » ; LiDAR « Light Detection And Ranging »), la télédétection est appelé télédétection active.

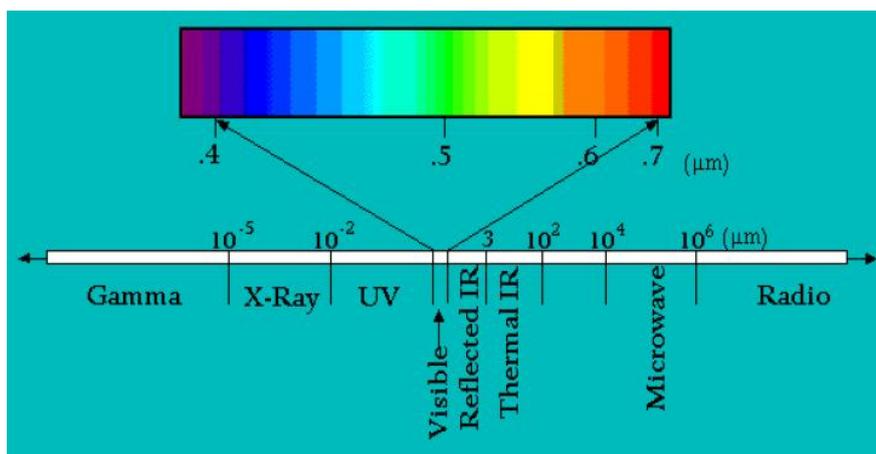


Figure 6: Spectre du rayonnement électromagnétique solaire (Soudani, 2007).

1.3. Domaine d'utilisation de la télédétection

La télédétection est présente dans plusieurs domaines tels que la cartographie des zones humides (Roshier et Rumbachs, 2004), l'analyse d'habitat naturel (Hyde *et al.*, 2006), les études sur la biodiversité (et Nagendra, 2001 ; Turner *et al.*, 2003 ; ; Duro *et al.*, 2007 ; Gillespie *et al.*, 2008), les inventaires forestiers (Ardö, 1992 ; West, 1995 ; Cohen *et al.*, 2001 ; Franco-Lopez *et al.*, 2001 ; Foody *et al.*, 2003 ; McRoberts et Tomppo, 2007 ; Gasparri *et al.*, 2010 ; Powell *et al.*, 2010 ;), la gestion des incendies et l'évaluation de leurs effets (Chuvienco et Kasischke, 2007) et enfin la cartographie de la végétation et les types de couverture végétale dans le monde entier (Cherrill *et al.*, 1994 ; Muldavin *et al.*, 2001).

1.4. Principaux programmes

1.4. 1. Landsat

Le programme *Earth Resources Technological Satellite* (ERTS) qui utilisent les satellites ER75-1 dont le nom a été transformé en LANDSAT (Land Satellite) est dû à la NASA. Il y a deux séries de satellites Landsat: numéros 1 à 3 puis numéros 4 à 6 (figure 7 et Tableau 5).

Les Landsat 1 à 3 comportaient un *Return Beam Vidicon* (RBV) et un capteur Multi-Spectral Scanneur (MSS) à 4 bandes spectrales. Le pixel des images MSS mesure 79 m de large sur 56 m de long de la trace. Les satellites Landsat 4 et 5 portent le capteur MSS ainsi qu'un Capteur Thematic Mapper (TM) qui comporte 7 bandes spectrales. Historiquement, Landsat 1 a été envoyé le 22 juillet 1972 et a fonctionné jusqu'au 6 janvier 1978. Landsat 2 a été envoyé le 5 novembre 1975 et a fonctionné jusqu'au 27 juillet 1983, des anomalies ont affecté ses capteurs. Landsat 3 a été lancé le 5 mars 1978 et retiré le 7 septembre 1983 suite à une panne dans le dispositif de balayage. Landsat 4 lancé le 16 juillet 1982, a eu aussi des ennuis techniques. Lancé le 1er mars 1984, LANDSAT 5 fonctionne sans problème. Landsat 6 s'est écrasé en mer lors du lancement. Landsat 7 a été envoyé en 1998 (Girard et Girard, 2004). L'utilisation des données Landsat 7 a été très limitée à cause des *gipse*. Le satellite Landsat 8 fut lancé le 11 février 2013 avec 11 bandes dont 9 sont acquises par le capteur Operational Land Imager (OLI) et le reste des bandes (2 bandes) sont acquises par le capteur Thermal Infrared Sensor (TIRS) (<https://www.usgs.gov>).

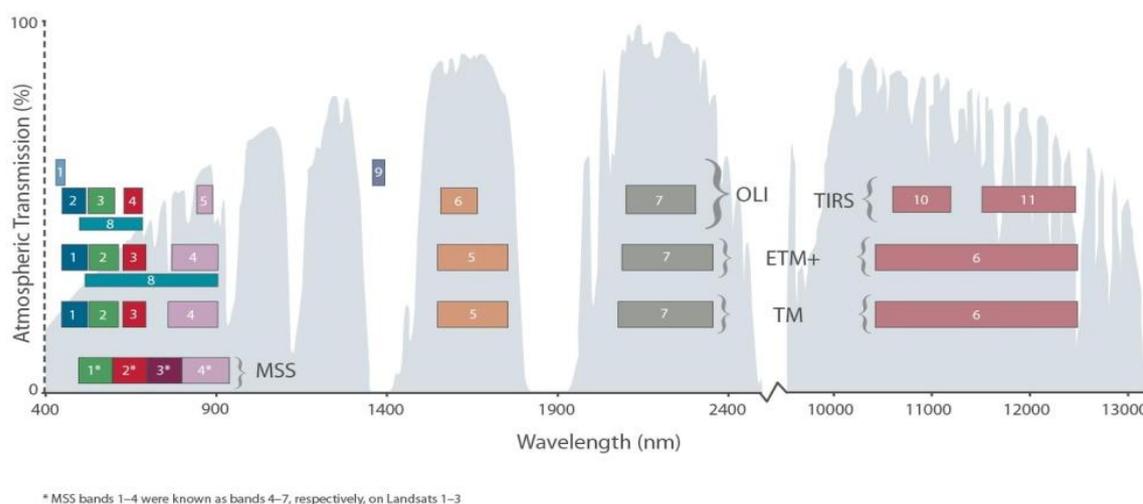


Figure 7 : Données multi spectrales et thermiques de la mission Landsat. (<https://landsat.usgs.gov/how-does-landsat-8-differ-previous-landsat-satellites>)

Tableau 5 : Caractéristiques des capteurs Landsat.

| | Landsat 1, 2 et 3 | Landsat 4 et 5 | Landsat 7 | Landsat 8 |
|--|--|---|---|---|
| Pays | USA | | | |
| Année de lancement | 1972,1975 et 1978 | 1992 et 1984 | 1999 | 2013 |
| Altitude (Km) | 705 | | | |
| Capteur | MSS | TM | ETM | OLI |
| Résolution spectrale (μm) | V [0,5 - 0,6] R [0,6 - 0,7] IR [0,7 - 0,8] IR [0,8 - 1,1] | B [0,45 - 0,52] V [0,52 - 0,60] R [0,63 - 0,69] IR [0,76 - 0,90] IRM [1,55 - 1,75] IRT [10,4 - 12,5] IRM [2,08 - 2,35] | B [0,45 - 0,52] V [0,53 - 0,61] R [0,63 - 0,69] IR [0,78 - 0,90] IRM [1,55 - 1,75] IRT [10,4 - 12,5] IRM [2,09 - 2,35] Pan [0,52 - 0,90] | B1 [0,43 - 0,45] B [0,450 - 0,51] V[0,53 - 0,59] R [0,64 - 0,67] IR[0,85 - 0,88] IRM 1[1,57 - 1,65] IRM 2 [2,11 - 2,29] Pan [0,50 - 0,68] B9 [1,36 - 1,38] TIRS1 [10,6 - 11,19] TIRS 2 [11,5 - 12,51] |
| Résolution spatiale (mètre) | 60 x 80 | MS : 30 IRT : 120 | MS : 30 IRT: 60 Pan : 15 | MS : 30 IRT: 100 Pan : 15 |
| dimension de l'image | 185 x 185 km | 185 x 172 km | | |
| Répétitivité | 18 jours | 16 jours | | |

Source : (modifié)

MSS : Multispectral Scanner ; TM: Thematic Mapper ; ETM : Enhance Thematic Mapper.

1.4. 2. ASTER

L'ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) est une imagerie multispectrale avancée qui a été lancée à bord de la plate-forme Terra de la NASA en 1999 et reste opérationnel jusqu'à 2006. L'ASTER vole à une altitude de 438 milles, il fait une révolution autour de la terre à une période de 16 jours, et suit une orbite polaire héliosynchrone (30 minutes derrière LANDSAT ETM+).

Chaque acquisition d'ASTER est approximativement 60×60 km. Il peut acquérir des données au-dessus du globe entier avec un coefficient d'utilisation moyen de 8% par orbite. Ceci traduit à l'acquisition d'environ 650 scènes par jour (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/> anonyme 2).

L'instrument d'ASTER acquiert l'information à travers les spectres visibles et infrarouges. L'information est acquise par trois instruments séparés :

- VNIR (Visible and Near-Infrared Radiometer);
- SWIR (Short Wave Infrared Radiometer);
- TIR (Thermal Infrared Radiometer).

Chacun des instruments d'ASTER a une série unique de canaux ou de "bandes", et chacun a ses propres caractéristiques radiométriques uniques (Tableau 6).

Tableau 6: Caractéristiques radiométriques des données ASTER.

| Domaine | Bande | Résolution spectrale (µm) | Résolution spatiale (m) |
|-------------------------------------|----------|---------------------------|-------------------------|
| VNIR (visible and near-infrared) | Bande 1 | [0,52 - 0,60] | 15 |
| | Bande 2 | [0,63 - 0,69] | |
| | Bande 3N | [0,76 - 0,86] | |
| | Bande 3B | [0,76 - 0,86] | |
| SWIR (Short-wave infrared) | Bande 4 | [1,600 - 1,700] | 30 |
| | Bande 5 | [2,145 - 2,185] | |
| | Bande 6 | [2,185 - 2,225] | |
| | Bande 7 | [2,235 - 2,285] | |
| | Bande 8 | [2,295 - 2,365] | |
| TIR (Thermal Infrared) | Bande 9 | [2,360 - 2,430] | 60 |
| | Bande 10 | [8,125 - 8,475] | |
| | Bande 11 | [8,475 - 8,825] | |
| | Bande 12 | [8,925 - 9,275] | |
| | Bande 13 | [10,25 - 10,950] | |
| | Bande 14 | [10,95 - 11,650] | |

1.5. Principe de la télédétection

La télédétection se fonde sur l'idée déjà ancienne qu'il est nécessaire de s'éloigner d'un objet pour avoir une perception nouvelle et ainsi en compléter l'analyse. La télédétection est un moyen d'observation de la terre, par l'étude des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis par les objets au sol (Bariou, 1978). Chaque élément de la surface de la terre peut absorber, transmettre ou réfléchir les rayonnements envoyés par des sources électromagnétiques telle un radar ou un corps céleste comme le soleil. Chaque corps peut émettre aussi ses propres rayonnements, en particulier dans l'infrarouge thermique. Mais la quantité de radiations réfléchies ou émises par un corps, et pour chaque longueur d'onde dépend de la nature de ce corps (Soudani, 2007). Pour mieux représenter les prétraitements et les traitements des données de télédétection nous allons contourner dans cette section le principe physique de la télédétection (notion de vecteur, rayonnement électromagnétique, interaction rayonnement électromagnétique matière (diffusion, absorption..etc.). Avant d'aborder ce point nous avons jugé utile de représenter deux notions importantes pour notre travail à savoir :

1.5.1. Signature spectrale des sols

La réflectance des sols résulte directement de leur composition et de leur couleur (Bannari, 1996). En effet chaque sol présente une signature spectrale précise en fonction des éléments qui le composent, à savoir :

- Dans sa phase solide, les éléments minéraux et organiques ;
- Dans sa phase liquide, l'eau sous ses différentes formes
- 3/ Dans sa phase gazeuse, l'oxygène, le gaz carbonique...etc.

Ces derniers ont une influence sur la réflexion du rayonnement solaire dans le visible et le proche infrarouge en particulier entre 0,5 et 2,5 μm . La plupart des auteurs mettent l'accent sur l'intérêt de la bande rouge (0,6 - 0,7 μm). Pour l'étude des sols toutefois, l'interprétation de la réflectance doit tenir compte de la texture, de la structure et de l'humidité du sol (Figure 8). Il est donc, à priori, possible d'identifier un objet à partir de son spectre électromagnétique (Guyot, 1995). Mais la signature spectrale d'un objet donné varie en fonction de son état et des conditions d'éclairement (Mederbel, 1983).

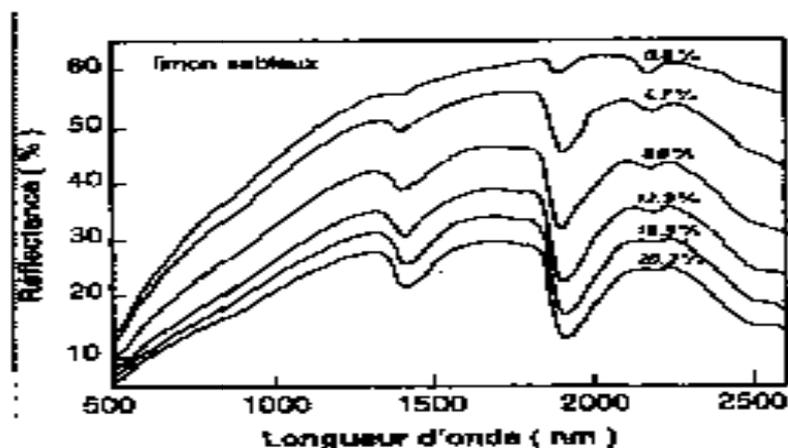


Figure 8 : Spectres de réflectance d'un limon sableux pour différentes humidités pondérales (Bowers et Hanks, 1965 *cité par* Guyot, 1995)

1.5.2. Signature spectrale de la végétation

Quant à la signature spectrale de la végétation, elle est complexe et sa complexité croît de la feuille vers la plante en fonction de la phénologie (variation spectrale en fonction des saisons et des phases de croissance). La signature spectrale de la feuille vivante, qui se traduit par une couleur verte dans le visible, est attribuable aux pigments foliaires comme la chlorophylle qui a une forte absorption dans le bleu et le rouge et un maximum de réflectance dans le vert vers $0,55 \mu\text{m}$ (Guyot et Seguin, 1988). En revanche, dans le proche infrarouge, les feuilles se caractérisent par une forte réflectance. Pour la transition entre le rouge et le proche infrarouge, ce sont les bandes d'absorptions de l'eau à 145 et 195 nm qui commandent l'absorption de la feuille, ce qui génère des pics de réflectance à 1650 et 2200nm.

Au niveau de la plante et du couvert végétal (Figure 9), on a une réponse spectrale « composite », car la signature du sol est mixée avec celle de la plante et vient donc compliquer l'interprétation de la signature de l'ensemble. La signature diffère d'un organe à l'autre et d'une plante à l'autre. Celle des troncs et des tiges diffère de celle des feuilles car leurs surfaces varient au cours de l'année, pour les plantes annuelles ou les arbres à feuilles caduques. C'est pour cela que la notion de biomasse ou indice de végétation a été introduite en télédétection (Guyot et Seguin, 1988).

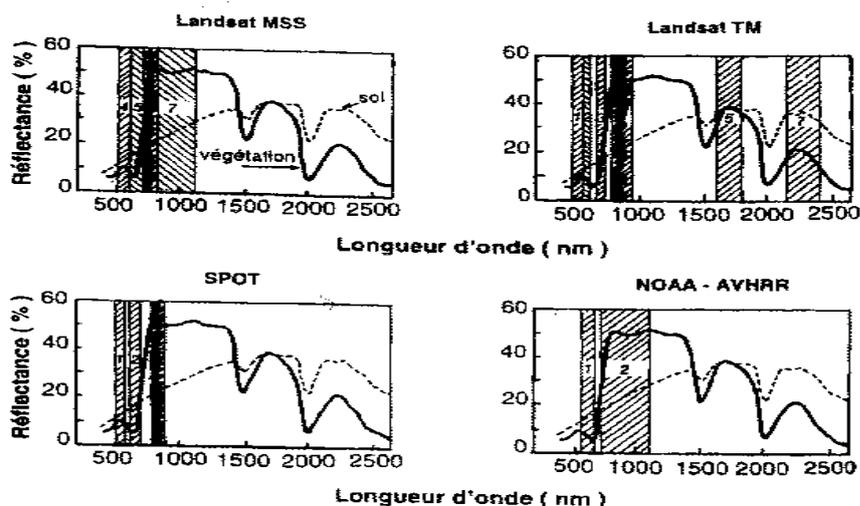


Figure 9 : Bandes spectrales des capteurs des satellites Landsat MSS et TM, HRV de SPOT et AVHRR de NOAA, superposées à un spectre de sol nu et de végétation (Guyot et Seguin, 1988).

1.6. Traitements des données de télédétection

Les traitements des données consistent à transformer les données enregistrées en informations susceptibles d'utilisation immédiates. D'après Chamignon (1990), on peut classer ces traitements en trois types : les prétraitements, les traitements numériques proprement dits et les traitements d'optimisations.

1.6.1. Prétraitements

Les prétraitements englobent la correction géométrique, atmosphérique et radiométrique.

1.6.1.1. Corrections géométriques

Les images enregistrées par les capteurs des satellites contiennent des informations spectrales et spatiales. Par ailleurs, l'instabilité des satellites (Lacet, roulage et tangage), l'effet de la forme de la terre et les effets de reliefs peuvent provoquer des déformations sur les images. La correction géométrique consiste à régler la géométrie des images selon un référentiel cartographique d'usage courant (Bonn et Rochon, 1996). Le concept de base de ce prétraitement est de localiser chaque pixel de l'image dans un système de coordonnées terrain et de rééchantillonner l'image dans une grille uniforme. La correction géométrique est nécessaire pour éliminer ou réduire les effets de distorsions non systématiques ou aléatoires présents dans les données de télédétection (Bonn et *al.*, 1996). Cette correction est possible grâce à l'utilisation

des points de contrôle au sol (Ground Control Points (GCPs)) obtenus d'une carte (image to map), image (image to image) ou de données GPS (Kardoulas et *al.*, 1996). Elle peut se faire par deux grandes méthodes : la correction par la méthode polynomiale et la correction par les méthodes photogrammétriques. Une revue bibliographique assez détaillée sur ces méthodes est donnée par Caloz et Collet, (2001).

1.6.1.2. Corrections atmosphériques

Les corrections atmosphériques agissent principalement comme un facteur additif puisque les courbes spectrales évoluent de manière sensiblement parallèle (Caloz Collet, 2001). L'objectif de ces corrections est de corriger les effets atmosphériques pour en extraire la véritable information qui nous intéresse (La réflectance de la surface terrestre) ((Bonn et *al.*, 1996 ; Lavorini, 2010). Le module de la correction atmosphérique *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) proposé par Matthew et *al.*, (2000) est le plus utilisé dans ce type de correction.

1.6.1.3. Corrections radiométriques

La correction radiométrique est une étape critique qui consiste à corriger la dérive du capteur radiométrique pour extraire des informations fiables et précises de l'image. Cette correction est plus importante pour le calcul des indices de végétation, afin de les rendre indépendants vis-à-vis des variations des conditions d'éclairement lors de l'acquisition des données (Bariou, 1978 ; Bonn et *al.*, 1994). Le calibrage radiométrique relatif à l'égalisation des comptes numériques des données multispectrales a pour objet de réduire le lignage subsistant par les différentes procédures d'équation d'histogramme de la scène (Legg, 1992).

1.6.2. Traitements proprement dits

Ils visent à extraire, à partir des données satellitales brutes, des informations relatives à des problématiques définies par l'utilisateur (foresterie, géologie, occupation du sol,...).

1.6.2.1. Seuillage

Il correspond à une amélioration du contraste. On modifie ainsi la gamme de gris en transformant l'amplitude du signal de chacun des pixels de l'image.

1.6.2.2. Equilibrage de la dynamique

Chaque pixel d'une image a une valeur. Cette valeur correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi par l'objet observé dans la gamme de longueur d'ondes auxquelles le capteur est sensible. Le niveau de gris varie selon le codage des images. Par exemple, une image

codée en (28), les pixels pourront prendre des valeurs allant de 0 (absence de lumière 'noir') à 255 (blanc). La visualisation la plus simple consiste à visualiser les pixels de valeur 0 en noir, ceux de valeur 255 en blanc et ceux de valeur intermédiaire dans la teinte de gris linéairement correspondant (Deshayes et Maurel, 1999).

1.6.2.3. Création de compositions colorées

Malgré que la notion de couleur puisse paraître un peu « artistique » dans le contexte d'une approche scientifique (Bonn, 1996), elle reste un élément essentiel pour l'étude des sols. La couleur est un effet de la sensation visuelle d'une absorption, c'est-à-dire une réflexion inégale de la lumière selon la longueur d'onde (Bonn, 1996). L'atlas Munsell des couleurs est largement utilisé dans l'étude des sols, tant sur le plan de la caractérisation sur le terrain et de la cartographie que dans l'étude de la pédogenèse et la classification des sols (Munsell colour company, 1971). En effet, la couleur d'un objet opaque peut être calculée en utilisant les lois de la colorimétrie dans des conditions standards, et cela à partir de son spectre de réflectance dans le visible [370 -770 nm]. Elle est exprimée dans les systèmes de mise au point par la commission internationale de l'éclairage.

La couleur est une donnée tridimensionnelle, basée sur les trois primaires, rouge (R), vert (V) et bleu (B) soit le système de la composition colorée RVB (Bonn, 1996). Ce système est capable d'inverser la démarche précédente et d'estimer les valeurs de réflectance à partir de la couleur des sols mesurés sur le terrain et de comprendre comment la couleur influe sur les mesures obtenues par le satellite. Des relations simples ont été établies entre la couleur et les valeurs de réflectance dans les bandes visibles des satellites de télédétection optique (Bonn et Rochon, 1993).

Les compositions en fausse couleur sont identifiées par trois chiffres commençant par la composante affichée en rouge, suivie de celle du vert puis de celle du bleu (RGB). Par exemple, une composition TM1, 3, 4 affiche le canal vert de TM en bleu, le canal rouge en vert et le canal proche infrarouge en rouge : le résultat, une image aux couleurs naturelles. La composition qui utilise les canaux de l'infrarouge moyen (TM5 et TM7) apporte une information intéressante sur la végétation et les sols (Caloz et Collet, 2001).

1.6.2.4. Composés diachroniques

La combinaison d'images prises à des temps différents dans la même bande spectrale (PIR par exemple) constitue un moyen pour différencier l'occupation des sols. La création d'une composition colorée de trois images d'un même territoire prises à des temps différents montrera

des gris partout où la réflectance du sol n'aura pas changé dans le temps. Par contre, des couleurs apparaîtront aux endroits où des changements seront survenus pour l'une ou l'autre des dates considérées; Une telle technique est très convenable pour l'étude du phénomène de déforestation (Bonn et Rochon, 1996).

1.6.2.5. Ratios et indice spectrale

L'établissement de ratios (quotient) consiste à créer de néo-canaux où la valeur de chaque pixel correspond au résultat d'un quotient faisant appel à plusieurs bandes spectrales. Un des rapports le plus utilisé est l'indice spectral de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) proposé par Rouse et al. (1974) est par exemple :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR}-\text{R}}{\text{PIR}+\text{R}} \text{ dont PIR : proche infrarouge ; R : Rouge}$$

Plus de 500 indices spectrales sont représentés dans la base de données des indices de télédétection (<https://www.indexdatabase.de/db/i.php?offset=1>).

1.6.3. Traitements d'optimisation

1.6.3.1. Optimisation de la densité

Elle vise à mettre en évidence la géomorphologie en distinguant les détails non visibles à l'intérieur des zones trop sombres ou trop claires.

1.6.3.2. Analyse en Composantes Principales (A.C.P)

L'ACP permet de calculer à partir de N canaux d'origine, N néo-canaux et de les corrélés les uns par rapport aux autres (Durrieu, 1994). Le résultat de l'ACP est une série de coefficients (ou vecteurs propres), qui s'alignent le long de l'axe principal dont le degré de corrélation est le plus fort dans l'espace tridimensionnel, ce qui concentre donc le maximum d'informations possibles dans un groupe appelé la première composante principale (CP1). La deuxième composante principale (CP2) est le deuxième axe perpendiculaire à la première dans l'espace tridimensionnel. Elle contient une information inférieure à celle obtenue par l'CP1 car elle concentre le maximum d'informations possibles à partir de l'information restant après la création de CP1. Ce processus est répété pour le même nombre de composantes principales que le nombre initial de bandes. La majorité de l'information est contenue dans les trois premières composantes soit ACP1, ACP2 et ACP3 (Liang, 2004 et Mather, 2004).

A cet effet, il est possible de réduire les dimensions des données spatiales en conservant uniquement les trois premières composantes et de rejeter les autres.

1.6.3.3. Classification des données de télédétection

Les techniques de classification sont largement utilisées dans les études de cartographie de l'occupation du sol. En principe, les techniques de classification utilisent les propriétés spectrales (Réflectance) et parfois spatiales (texture) de l'image dans le cas des méthodes avancées telles que la classification orientée objet. Elle consiste à regrouper des ensembles de pixels similaires en classes thématiques (Figure 10). Théoriquement, une classification automatique peut intégrer plusieurs bandes d'information en même temps, avec objectivité et à une vitesse plus grande que l'interprétation humaine (Bonn et Rochon, 1996). La classification des images consiste en une partition de l'espace radiométrique, associant chaque portion d'espace à une classe d'appartenance (selon des critères statistiques ou de distance en fonction du type d'algorithme) et une affectation de chaque pixel à la classe dans laquelle sa radiométrie le positionne (Estiva et Puech, 1998 ; Bazile et *al.*, 2001 ; Chirici., 2001).

Parmi le très grand nombre d'algorithmes proposés, on peut distinguer deux groupes principaux:

a. Classification non dirigée

Certains types de couvert naturels peuvent être mieux séparés en utilisant une classification non supervisée à cause de la difficulté de définir des zones d'entraînement précises pour une classification supervisée (Legg, 1992). Cette technique est intéressante dans les cas où il est impossible de se rendre sur le terrain (Bazile et *al.*, 2001). Elles sont effectuées sans prise en compte de données statistiques des zones d'entraînement. Il s'agit d'un découpage entièrement mathématique de l'espace radiométrique en un nombre de classes définies par l'utilisateur. L'algorithme le plus connu et le plus utilisé est celui de l'IsoData (Schowengerdt, 1997).

La classification non supervisée donne un nombre de classes largement supérieur à celui que l'on cherche à extraire en final. Dans cette situation, on regroupe ces classes selon leurs statistiques (moyenne, écart-types) et d'une façon progressivement et interactivement à l'écran. Ce regroupement (agrégation des classes) doit se faire jusqu'à se rapprocher au mieux de la réalité de terrain (Minvielle et Souiah ; 2003).

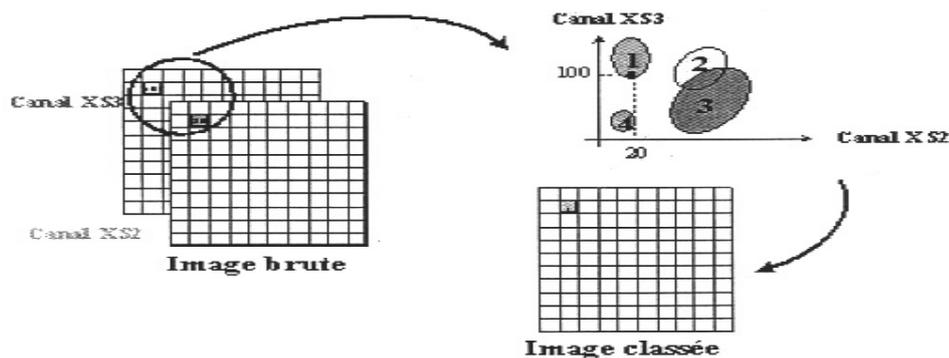


Figure 10 : Principe de la classification thématique d'une image (Bazile et al., 2001)

b. Classification dirigée

La classification dirigée est basée sur une connaissance a priori de la position et de la nature d'un thème quelconque de l'image. Cette connaissance peut être acquise par travail de terrain, photographie aérienne ou par toute autre source d'information indépendante. Les zones d'entraînement sont utilisées pour « entraîner » l'algorithme de classification dirigée à reconnaître les différents thèmes en fonction de leur signature spectrale telle que définie sur l'image (Caloz et Collet, 2001). Cette classification est aussi dénommée par classification assistée, Elles sont pour les quelles on recherche des objets semblables à des objets référence (Girard et Girard, 1999).

Selon Bonn et Rochon (1993), plusieurs aspects doivent être pris en considération lorsqu'on effectue une classification dirigée. D'abord, on doit déterminer le plan de classification approprié selon les objectifs et les moyens disponible. Ensuite, procéder au choix pertinent des zones d'entraînement se basant sur le critère d'homogénéité. Ces zones d'entraînement doivent être localisés sur l'image à classée et une bonne répartition des ces derniers pourra éviter l'auto-corrélation spatiale. L'étape suivante est l'étude statistique, c'est une étape de renseignements statistiques concernant les propriétés spectrales (signature spectrale de l'échantillon) de chaque catégorie du territoire. Ces informations seront par la suite utilisées par les algorithmes de la classification dirigée pour identifier la classe de pixels inconnus (Jensen, 2000). Comme étape finale on évalue la précision de la classification (Girard et Girard, 1999).

Les algorithmes de classification dirigée sont très variés et à titre d'exemple on peut citer les algorithmes suivants : Classification selon la distance minimale (Minimum Distance), Classification selon la distance de Mahalanobis (Mahalanobis Distance), le maximum de

vraisemblance (Maximum Likelihood), Classification parallélépipédique (Parallelepiped), Spectral Angle Mapper (SAM) et le codage binaire (Binary Encoding). Ces algorithmes sont tous conçus pour comparer statistiquement les caractéristiques de chacune des classes avec les pixels inconnus dans l'espace géométrique. Les avantages et les inconvénients des deux méthodes de classifications dirigée et non dirigée sont résumés dans le (Tableau 7).

Tableau 7 : Comparaison entre les méthodes de classification dirigée et non dirigée

| Méthodes | Avantages | Inconvénients |
|----------------------------|---|--|
| Classification non dirigée | Utile pour réaliser une première classification des images en grands thèmes d'occupation du sol; Cette classification pourra être utilisée pour réaliser un masquage des thèmes non concernés par l'étude. | Le regroupement des valeurs de reflectance crée des classes dont la signification thématique est parfois difficile à identifier. |
| Classification dirigée | Les classes obtenues ont une signification thématique précise | Le temps des réalisations est long, en particulier pour le choix et la délimitation des zones d'apprentissage. |

(Mequignol et *al.*, 2005).

1.7. Méthodes avancées de traitement des données de TLD

1.7.1. Classification par l'utilisation des méthodes avancées

La progression des techniques d'analyse numérique d'images combinées avec l'avancement de matériel informatique et de logiciels, a conduit à l'élaboration de classificateurs alternatifs qui présentent un plus grand degré d'exploration de données de télédétection. Ces techniques modernes incorporent la segmentation des images et la classification Orientée objet 'Hiérarchique' (Baatz et Schape, 2000); l'intelligence artificielle, les réseaux neuronaux, la logique floue, les structures logiques dans les procédures de classification (Foody, 1999 ; Baatz et Schape, 2000 ; Brown de Colstoun et *al.*, 2003). Ces classificateurs alternatifs sont moins utilisés en pratique en raison de leur complexité (De Carvalho et *al.*, 2004).

1.7.1.1. L'analyse de texture

A l'inverse de l'information spectrale donnée, l'information texturale est déterminée par la forme et la configuration d'un groupe de pixels (Bonn et Rochon, 1996). Les propriétés structurales et statistiques de textures proposées par Haralick (1973 - 1986) sont considérées comme une source d'information potentiellement importante pour la foresterie.

1.7.1.2. Morphologie mathématique

La morphologie mathématique s'intéresse à la forme des objets. Selon Bonn, (1996), le principe de cette méthode consiste à comparer les objets que l'on veut analyser à un autre objet de forme connue appelé élément structurant. On la définit également comme étant l'ensemble des méthodes qui considèrent les objets de l'image comme des parties de l'espace. Les paramètres dont on tient compte en morphologie mathématique sont la forme, la couleur et la disposition des objets dans l'image (Bonn, 1996).

1.7.1.3. Analyse fractale

Les fractals sont une famille de fonctions mathématiques dont la caractéristique est d'être irréguliers à toute échelle. Une des caractéristiques des fractals purs est l'auto similarité qui implique qu'elles ont le même degré d'irrégularité quelle que soit l'échelle à laquelle on les observe (Bonn et *al.*, 1996). Ce degré d'irrégularité est exprimé par la dimension fractale (Bonn et *al.*, 1996). Sur une image numérique, on peut soit calculer la dimension du contour d'une région, soit celle de la surface d'intensité définie par les coordonnées x et y ainsi que par le niveau de gris de ses pixels.

Conclusion

Par leur côté esthétique et leur réalisme, les images peuvent enfin renforcer le pouvoir de communication de ceux qui les intègrent dans leur S.I.G car elles apportent, plus encore que les autres outils de représentation cartographique, une base visuelle objective de dialogue entre partenaires (Bazile *et al.*, 2001).

L'image de télédétection tant aérienne que satellitale est sans doute le modèle visuel le plus fidèle, le plus riche de l'espace géographique. Elle est la source d'informations abondantes et précises sur l'occupation du sol et sur les phénomènes qui se déroulent à la surface de la planète ou sur d'autres astres grâce aux véhicules spatiaux. Dès la naissance du concept de systèmes d'information géographique (SIG), des liens étroits ont été établis entre la source d'information que les images de télédétection représentent et la similitude algorithmique qui caractérise les traitements associés à ceux du mode image. SIG et traitements d'images numériques ont évolué de concert. Paradoxalement, si l'imagerie de télédétection est une source privilégiée d'information à référence spatiale, elle exige pour son traitement l'association des informations exogènes ; les SIG ont tous naturellement proposé un tel environnement. C'est par le traitement d'images que les données de télédétection, associées à d'autres informations géoréférencées, sont transformées en une information géographique exploitable. Ainsi, aujourd'hui, ces deux domaines s'intègrent totalement dans l'ensemble plus vaste des Sciences de l'information géographique.

Chapitre III

Présentation du Milieu d'étude

Introduction

Ce chapitre s'articule autour des éléments qui composent notre zone d'étude, pour cela, on va tout d'abord mieux positionner notre zone d'étude qui fait partie du sous bassin versant du Zahrez el Gharbi dans un contexte géographique, et analyser ses éléments aussi bien physiques (géomorphologie, hydrologie, climat) que socioéconomique.

1. Choix de la zone d'étude

Plusieurs raisons ont orienté notre choix. Tout d'abord une raison climatique, en effet le sous bassin versant du Zahrez El Gharbi comprend les deux principaux étages bioclimatiques des Hautes Plaines (aride et semi-aride). De plus cette distinction coïncide avec les deux principales régions naturelles hautes Plaines sensu-stricto (avec prédominance des parcours steppiques) et l'Atlas Saharien (forêts de Pin d'Alep). Ajoutons à cela les vastes zones salées (Zahrez El Gharbi). La présence du périmètre d'épandage d'eaux de crue de Rocher de Sel (Agriculture). Enfin, notons la présence de différentes strates d'agglomération. Tous ceci conduit à regrouper sur une même zone une grande diversité de types de sols, climats, végétation et des zones urbaines qui correspondent précisément aux spéculations essentielles des Hautes Plaines.

2. Bref aperçu sur la wilaya de Djelfa

2.1. Situation géographique

La wilaya de Djelfa, est située à environ 300Km au sud de la capitale (Alger) avec une superficie de 32280Km², elle se localise en plein cœur de l'espace steppique, par cette localisation, elle constitue une zone de transition entre les hautes plaines steppiques de l'Atlas Tellien et les débuts désertiques de l'Atlas Saharien (Figure 11).

Elle est limitée :

- Au nord par les wilayas de Médéa et de Tissemsilt ;
- A l'est par les wilayas de M'sila et de Biskra ;
- A l'ouest par les wilayas de Tiaret et de Laghouat ;
- Au sud par les wilayas d'El Oued, d'Ouargla et de Ghardaïa.

Elle est composée actuellement de 36 communes regroupées en 12 Daïras.

La Wilaya de Djelfa est occupée par la grande confédération des Ouleds Nail, qui regroupe plusieurs tribus. Sa population estimée d'après les statistiques de 2008 à plus de 1200000 habitants, avec une forte concentration dans l'agglomération chef lieu qui englobe 601170 habitants soit 69,22 % de la population totale.

2.3. Relief

La wilaya de Djelfa est formée du Nord au sud par plusieurs lignes de reliefs qui sont :

- La plaine d'Ain Ouassera avec une altitude moyenne de 850 m ;
- Les dépressions de Zahrez El Gharbi et El Chargui avec une altitude de 850 m ;
- Les monts d'Ouled Naïls, les plaines de Maïaleb et Mouilah à l'est du chef lieu d'une altitude de 900 à 1200 m ;
- Au sud, il y a un plateau dont l'altitude varie de 400 à 800m, ce vaste plateau comporte dans sa partie Nord-Est le Djebel Boukhil avec 1422m d'altitude.

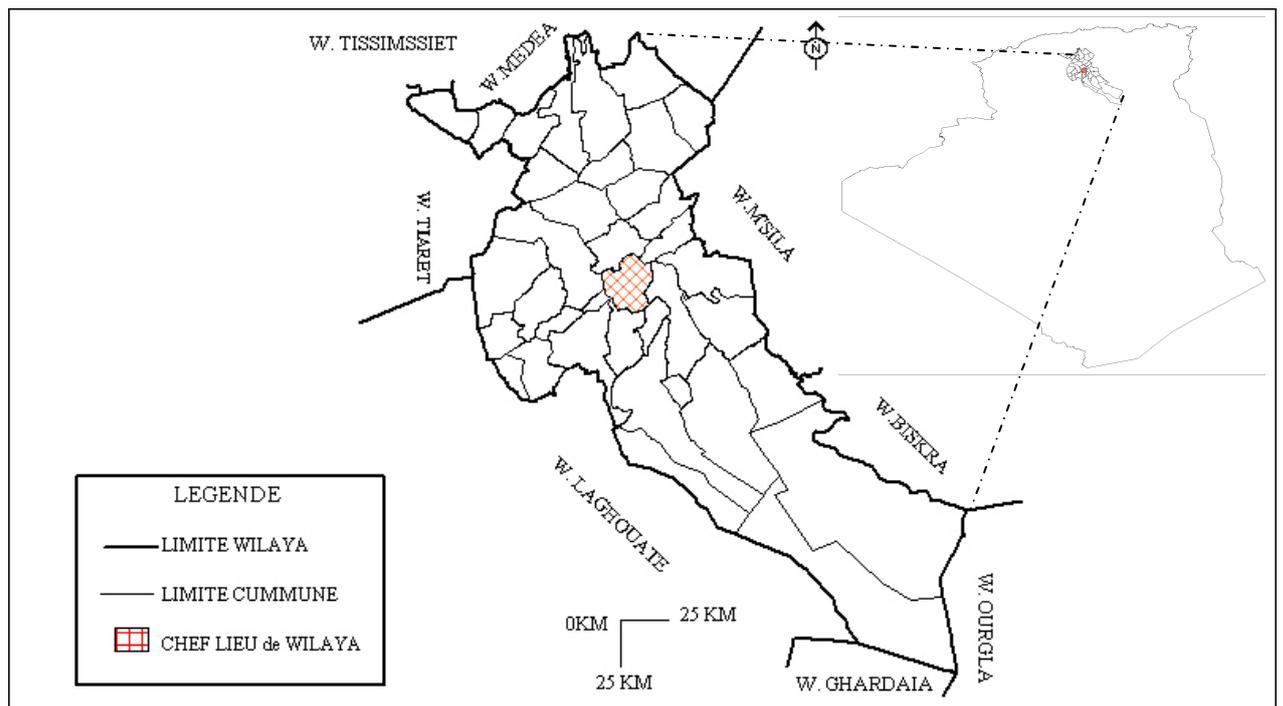


Figure 11 : Limites administratives de la wilaya de Djelfa.

2.4. Climat

Le climat est de type semi-aride avec une nuance continentale (hiver froid, été chaud et sec), la pluviométrie varie de 350mm au nord à moins de 200mm au sud, avec 10 à 13 jours d'enneigement en moyenne et des vents dominants d'origine désertique, secs et chauds (sirocco) pendant 20 à 30 jours en moyenne, (Pouget , 1980)

2.5. Occupation du sol

La composition de la superficie totale de la wilaya de Djelfa montre que la plus grande part est occupée par les parcours, soit 66 % de la superficie totale (Tableau 8), L'agriculture n'occupe que 12 % de la superficie totale (D. S. A Djelfa, 2010).

Tableau 8 : Principales occupations du sol de la wilaya de Djelfa.

| Formations végétales | Superficie (ha) | Taux en % |
|---------------------------|-----------------|------------|
| Forêts et maquis | 191527 | 06 |
| Alfa | 355238 | 11 |
| Parcours | 2135401 | 66 |
| Terres improductives | 167205 | 05 |
| Surfaces agricoles utiles | 378 665 | 12 |
| Superficie totale | 3228036 | 100 |

(D.S.A Djelfa, 2010).

- Les parcours à *Stippa tenacissima* (Alfa) répartie sur tout le territoire wilaya de Djelfa à l'exception de la partie sud qui coïncide avec l'isohyète 100mm. L'Alfa se localise dans la rocaille des Djebels et dans les sols les plus caillouteux et non salés. Il occupe une superficie globale d'environ 150000ha leurs productivité est très faible ;
- Les parcours à *Artemisia herba alba* (Armoises blanches) plus répandus à Ain Ouassera, Mouilah et Ain Elbel occupent une superficie globale de 88000ha soit 4,10% de la surface totale des parcours, et leur productivité est très faible soit 90UF/ ha/an (H. C. D. S, 2005).
- Les parcours à *Lygeum spartum* (Spartes) plus répandus dans les régions de Moudjebara, Djelfa et El-Idrissia occupent une superficie globale de 87000ha soit 4,07 % de la surface totale des parcours, leur productivité est faible avec 75UF/ ha /an (H.C.D.S. 2005).
- Les parcours à *Retama retam* (R'tem) plus répandus à Ain Elbel, Messaâd, Guétra et Sidi Rahal occupent une superficie globale de 48,000ha, leur productivité est de l'ordre de 55 UF / ha / an (H. C. D. S, 2005).
- Les parcours à *Noaea mucronata* (Choubrouk) occupent une superficie globale de 29000 ha soit 1,4 % de la superficie totale.
- Les parcours à végétation psammophile plus répandus dans les périphéries du chott, dans les dépressions et les glacis, leur productivité est de 70UF/ha/an (H. C. D. S, 2005).
- Les dayates de *pistachia atlantica* (B'toum) et *Ziziphus lotus* (Cedra) avec 14000ha et la végétation halophile avec 74000ha représentent 3,5 % de la surface totale des parcours. avec un apport fourrager non négligeable.

2.6. Elevage

La wilaya de Djelfa compte dans son territoire un cheptel évalué à 2547428 têtes toutes espèces confondues, La répartition de ce cheptel met en évidence la dominance du l'effectif Ovin qui représente 89,7 % du cheptel total, suivi par le Caprin avec 8,68 %. Par contre l'élevage Bovin ne représente que 1,03 % (tableau 9). Suite à l'utilisation massive des moyens mécaniques pour le transport l'effectif camelin et équin tendent à diminuer de plus en plus (D. S. A Djelfa, 2010).

Tableau 9 : Espèces d'animaux dans la wilaya de Djelfa

| Espèces | Effectifs | Pourcentages |
|-----------------|------------------|---------------------|
| Ovins | 2285300 | 89,7 |
| Caprins | 22200 | 8,68 |
| Bovins | 26300 | 1,03 |
| Camelins | 4505 | 0,18 |
| Equins | 10123 | 0,36 |
| Total | 2547428 | 100 |

(D. S. A Djelfa, 2010).

3. Milieu d'étude

3. 1. Situation de la zone

Notre région d'étude fait partie d'un écosystème steppique composée d'une diversité de paysage ; zone montagneuse, différents niveau de Glacis, plaine d'épandage, cordon dunaire et la zone humide de Zahrez el Gharbi (Figure 12). Limité climatiquement au sud par l'isohyète 100mm et au nord 400mm. Elle s'intègre dans le bassin versant Zahrez portant le code 17, et couvre la totalité du sous bassin versant 1702. Elle se localise géographiquement selon la projection (W.G.S 84) entre les parallèles 34° 25' 50'' et 35° 8' latitude Nord et les méridiens 3° 39' 45'' de longitude Est et 2° 38' 50'' de longitude Ouest. Avec une superficie 3857km², elle comprend trois agglomérations chef-lieu à savoir : Djelfa, Ain Maabed et Zaafrane .

3.2. Cadre topographique

Deux ensembles bien distincts caractérisent notre région d'étude, il s'agit de l'Atlas Saharien au Sud et de la cuvette du Zahrez El Gharbi au Nord.

3.2.1. Atlas Saharien

Le relief dans cette zone est le plus élevé de l'ensemble de la région de Djelfa, les altitudes varient entre 1000 à 1500m et dominent les Hautes Plaines au nord (700m en moyenne). Ils sont très contrastés, parfois très accidentés, marqués par des versants à forte pente allant de 15 à plus de 25°.

Les exemples sont nombreux à travers cette entité montagneuse, comme c'est le cas de Dj. Senalba (1598m), Dj Sahari (1273 m) et Dj. Degdegue, (1090 m). D'autres reliefs sont très peu accidentés, c'est le cas des vallées et des couloirs intra montagneux où les pentes sont très faibles, souvent inférieures à 5 degré °.

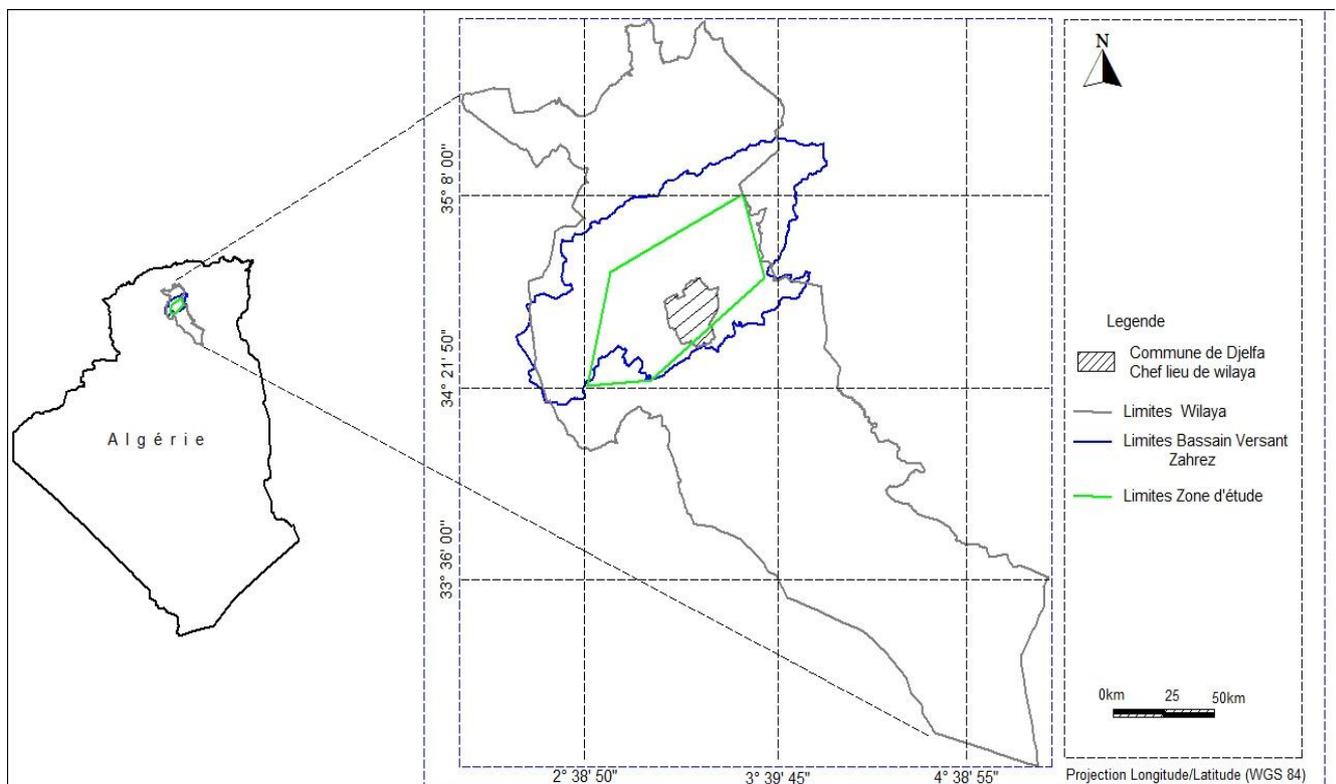


Figure 12 : Localisation de la zone d'étude.

3.2.2. Cuvette du Zahrez Gharbi

D'après Pouget, (1980) la cuvette du Zahrez El Gharbi se décompose en quatre niveaux topographiques successifs à partir de la crête nord du relief des Monts des Ouled Nail :

- Le piémont, au Sud, se trouve à des altitudes comprises entre 900 et 1000 m ;
- La plaine d'épandage au Centre à une altitude moyenne de 850 m ;
- Le cordon dunaire couvrant les deux tiers de la plaine d'épandage ;
- Au Nord, la Sebka avec une altitude inférieure à 850 m.

3.3. Cadre géologique

Notre zone d'étude se caractérise par un grand synclinorium dissymétrique, avec une orientation NW-SE. Les couches géologiques du bassin versant, appartenant essentiellement au Crétacé, sont recouvertes par un Tertiaire continental surmonté par des dépôts du Quaternaire.

3.3.1. Lithologie

L'influence de la lithologie sur l'évolution géomorphologique et géodynamique des terrains est un élément fondamental, elle influe sur les formes d'érosion, la pédogenèse et les formes du relief en général. Il est donc nécessaire de faire le point sur les principaux affleurements de cette zone, en essayant de les examiner sur la base des unités physiques mentionnées ci-dessus.

3.3.1.1. Atlas saharien

L'atlas Saharien est marqué par deux traits majeurs :

- L'alternance de roches dures et de roches tendres ;
- Structure plissée, simple de style jurassique.

C'est à l'ère secondaire, à l'occasion du plissement hercynien qu'apparaît une partie de l'Algérie, dont l'Atlas Saharien (Pouget, 1980).

L'ensemble du massif de Senalba chergui date pour la plus part de Crétacé, c'est-à-dire de la fin de l'ère secondaire (100 millions d'année environ). L'enlèvement le plus important survenu au cours de cette ère est le long affaissement de la pénéplaine post-hercynienne, caractérisée actuellement par différents calcaires alternant avec des marnes, constituant des monts de Ouled Nails, (B. N. E. F, 1983).

3.3.1.2. Cuvette du Zahrez Gharbi

Les terrains du Zahrez El Gharbi, faisant partie des Hautes Plaines, occupent presque le tiers de la superficie de cette région. A l'exception de quelques reliefs isolés, essentiellement jurassico-crétacés et présentant les mêmes caractères des reliefs atlasiques, la lithologie de la majeure partie de cette unité est marquée par l'abondance des terrains continentaux qui assurent le remplissage de cette zone déprimée dont les limites dépassent largement la frontière de la région d'étude.

L'épaisseur de ces formations, essentiellement continentaux, est très importante, elle dépasse largement les 50m et peut atteindre par endroit plus de 100m (Pouget, 1971).

3.3.2. Tectonique

La tectonique de la région d'étude s'intègre, comme pour la lithologie, dans la déformation globale du domaine atlasique. Après la régression marine, au milieu du Tertiaire, soit vers la fin de l'Oligocène début Miocène, une phase d'Orogenèse extrêmement active (plissement Alpin) entraîne la surrection de l'Atlas saharien et l'apparition d'un ensemble de plis disposés en échelons, parallèles entre eux, de direction SW-NE, caractérisés par des anticlinaux étroits et des synclinaux larges où les dépressions des Zahrez ont pris naissance et ont connu au cours du temps des apports continentaux qui les ont comblées.

3.4. Aspect climatologique

La dégradation des zones arides prend une ampleur sans cesse croissante, Si la plupart des auteurs s'accordent à reconnaître le rôle potentiel du climat dans les phénomènes de dégradation du milieu, la tendance climatique n'est pas toujours facilement perçue et reste encore controversée. Dans ces régions, la pluviométrie constitue un facteur prépondérant dans la caractérisation climatique. Les précipitations, en liaison avec la végétation, interviennent dans la formation des sols dont les transferts d'eau et la dynamique des éléments dépendent de la pluviosité. Des températures atmosphériques sont liées à celles du sol et à ses solutions qui influent largement sur l'intensité de son activité biologique et de l'altération de ses minéraux.

Le climat de la steppe algérienne, qui est l'une des caractéristiques principales des régions méditerranéennes arides et semi-arides, a fait l'objet de plusieurs travaux, On cite, notamment, ceux de Stewart, (1946) ; Bagnouls et Gausson, (1957) ; Dubief, (1959) Stewart, (1968) ; Pouget (1980) ; Djellouli (1981) ; Djellouli et Daget, (1987) ; Djellouli, (1990) ; Le Houerou, (1995b) ; Aidoud et *al.*, 2006 et Hirche et *al.*, (2007).

Tous montrent que le climat est un facteur très important en raison de son influence prépondérante sur les zones steppiques et les précipitations exercent une action supérieure pour la définition de la sécheresse globale du climat. Il est contrasté avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse fraîche sinon froide. Ce climat est caractérisé par :

- des manifestations météorologiques très contrastées : concentration des précipitations sur quelques jours, le plus souvent en périodes fraîches d'Octobre à Avril, pluviosité ne dépassant que rarement 400mm ;
- de faibles précipitations et un régime thermique relativement homogène,

Pouget, (1980) évoque qu'il s'agit, cependant, d'une forme particulière de ce climat. L'une des causes majeures de la dégradation des parcours steppiques est la sécheresse. Cette

sécheresse est caractérisée par les faibles précipitations et les fortes températures qui causent ainsi une forte évaporation et une faible infiltration de l'eau dans le sol. Les conséquences sont connues. Elles se manifestent par une dégradation du couvert végétal et une stérilisation des sols à long terme, par conséquent, une faible pédogenèse et l'apparition des sols squelettiques.

D'après Djellouli, (1990) ; Daget, (1991), et Le Houerou, (1995b), la sécheresse a sévit dans la steppe durant les années 1980. Elle a été l'une des causes de la dégradation des parcours. Si tous ces auteurs s'accordent qu'il y'a eu sécheresse durant les années 1980, qu'en est-il après?

Dans cette section, il s'agit de caractériser la variation des températures et des précipitations sur une période de 40ans, allant de 1975 à 2014. Les séries d'observations sont fournies par les services de l'ONM station de Djelfa. Il est important de savoir que les données climatiques sur la steppe sont rares et présentent souvent soit des anomalies, soit des lacunes. Les caractéristiques majeures de cette station sont reportées dans le tableau 10 :

Tableau 10 : Caractéristiques de la station de Djelfa.

| Zone | Altitude (m) | Latitude | Longitude |
|--------|--------------|-----------------|-----------------|
| Djelfa | 1160 m | 34°40'2,103'' N | 03°15'44,91'' W |

Le choix de cette station et de cette période se justifié pour les raisons suivantes :

- Une station typiquement steppique et opérationnelle (disponibilité des données) ;
- Une différence de distribution des pluies durant les années 1970, les années1980, les années1990 et les années 2000 ;
- Une période de 40ans qui semble suffisante pour expliquer l'impact de l'assèchement sur le couvert végétal.

La démarche proposée est axée sur la recherche de la variation de la saison sèche durant la période considérée et l'étude de l'irrégularité inter et intra annuelles pour établir leur impact sur les changements de paysage, L'une des méthodes la plus caractéristique de ce type d'étude est la méthode de Bagnouls et Gausson, (1957) basée sur la réalisation des courbes ombrothermiques qui permettent de fixer le début et la fin d'une période sèche aux intersections des courbes des valeurs moyennes mensuelles des températures et des précipitations.

3.4.1. Précipitations

La pluviométrie est parmi les principales composantes du climat qui contribue à la désertification des zones arides. En fait, l'aridité est une conséquence d'un déficit de

précipitation par rapport à l'évaporation durant une période plus au moins longue de l'année (Arrignon, 1987).

Les précipitations moyennes annuelles fluctuent selon une fourchette de 175 à 510mm par an. La partie centrale de Djelfa est plus arrosée par rapport au sud. De même la pluviosité augmente d'Ouest en Est (gradient longitudinal). Selon Nedjraoui, (1990) 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». En général dans cette zone les pluies sont caractérisées par leurs irrégularités spatio-temporelles. Celles-ci sont marquées par l'influence présaharienne et les pluies dépassent rarement les 450mm par an.

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 1975 à 2014 est de 326,01mm à Djelfa.

3.4.1.1. Régime mensuel des précipitations

Le régime mensuel pluviométrique de la région de Djelfa contrasté entre la période 1975-2014 a atteint 326,01mm (tableau 11). Le maximum de pluies qui arrosent la région durant les mois de Novembre et de mai respectivement de 34,31 et 33,73mm de précipitation, et un minimum de 10,41mm durant le mois de juillet. Les isohyètes suivent d'une manière générale les directions des montagnes, Leurs tracés suivent bien les lignes des monts de Senelba Chergui et Gherbi au Nord et le mont de Djelal au Sud.

Tableau 11 : Moyenne des précipitations mensuelles (durant la période 1975-2014)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | juin | Juil | Aoû | Sep | Oct | Nov | Dec | Total |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| P(mm) | 32,85 | 29,66 | 29,43 | 28,86 | 33,73 | 20,66 | 10,41 | 21,05 | 32,43 | 27,55 | 34,31 | 28,28 | 326,01 |
| Ecart type | 25,51 | 20,87 | 23,18 | 22,16 | 26,55 | 17,97 | 10,36 | 18,70 | 26,52 | 25,72 | 43,13 | 17,76 | 80,71 |

3.4.1.2. Irrégularité des pluies

Il est important de noter que, globalement, la pluviosité a diminué par rapport à la période 1913-1938 (Seltzer, 1946). La moyenne des précipitations a passé de 400mm (1913-1938) à 326,01mm (1975-2014). Donc, elle enregistre un déficit (écart moyen) de 18,50% par rapport à

celle calculée par Seltzer (1946). Mais ces moyennes calculées ne présentent pas réellement la réalité du terrain. Elles sont utilisées uniquement pour dégager les différences périodiques.

L'irrégularité des pluies dans cette station est grande, pour la période 1975-2014, la moyenne annuelle fluctue entre un minimum de 187 mm (année 1978) et un maximum de 510mm (année 1976). Plusieurs auteurs confirment que le régime de pluie est irrégulier dans les régions steppiques (Seltzer, 1946 ; Despois, 1995 ; Le Houerou 1995b et Benabadji et Bouaaza, 2000). L'analyse de la variabilité mensuelle climatique dans les zones semi aride elle doit se baser sur la pluviométrie du mois de Mars pour prononcer s'il s'agit d'une bonne ou mauvaise année (sèche ou humide).

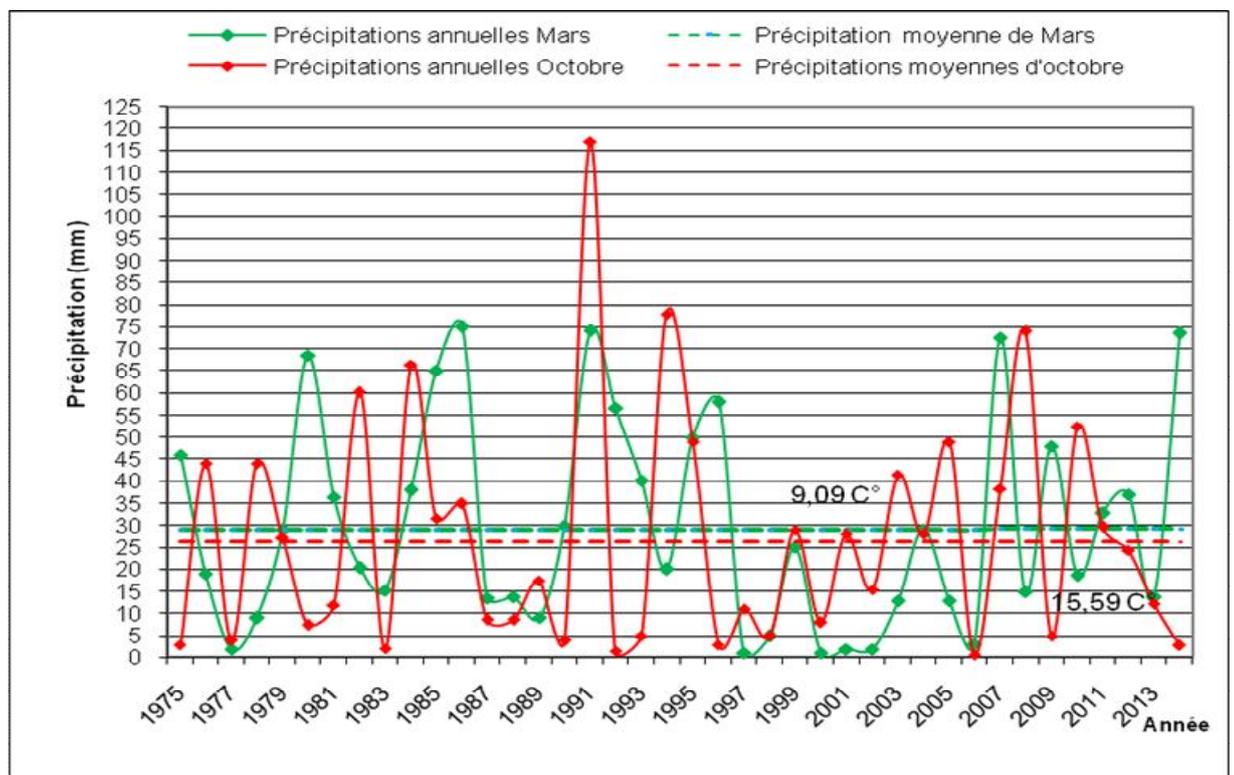


Figure 13 : Variations des précipitations en mars et octobre de la station de Djelfa (durant la période 1975-2014).

Dans le même contexte (Bensaid, 2006) signale que la pluie du mois de Mars est considérée comme de l'Or pur chez les agropasteurs. Toutefois, ce que nous avons constaté sur notre période (1975-2014), la pluviométrie de ce mois a reculé d'un cran, cédant la première place au mois d'Octobre pour la période 1997-2007 (Figure 15).

Les valeurs de la pluviométrie de mars fluctuent entre 1mm pour l'année 1997 et 74,2mm pour l'année 2002. A partir de l'année 2000 et jusqu'à 2002 soit 3 années successives, les pluies de mars étaient trop faibles et ne dépassent guère 2mm/mois. Pour le mois d'octobre, on

enregistre des piques de 117mm, 78mm, 66,3mm et 60,1mm pour les années 1991, 1994, 1982 et 1984 respectivement (taux de précipitations dépassant deux à quatre fois la moyenne périodique pour ce mois), même si l'écart type est assez important 26,57mm. Ceci est expliqué par le fait que cette période fait partie des périodes sèches d'alternances qui ont débuté à partir des années 1970.

3.4.1.3. Variation saisonnière du régime pluviométrique

Il est préférable que les saisons soient placées dans l'ordre qui intéresse les agropasteurs de la région steppique (l'automne commence au premier septembre). De ce fait, les saisons se répartissent comme suit :

- Hiver : décembre, janvier, février ;
- Printemps : mars, avril, mai ;
- Eté : juin, juillet, août ;
- Automne : septembre, octobre, novembre.

Tableau 12 : Moyenne des précipitations saisonnières (mm)

| Période | Saison | | | |
|-------------|--------|-----------|-------|---------|
| | Hiver | Printemps | Eté | Automne |
| 1975 – 2014 | 94,29 | 92,03 | 51,32 | 90,79 |

On remarque que la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec 94,76mm de précipitations, et la saison la moins pluvieuse est celle de l'été avec une moyenne de 49,48mm (tableau 12). Le régime saisonnier des précipitations de notre zone d'étude durant la période 1975/2014 est de type H,P,A,E (hiver, printemps, automne, été).

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

3.4.2. Températures

La température est un facteur écologique fondamental et un élément vital pour la végétation, toutefois au-delà d'un certain seuil la température peut provoquer des effets néfastes.

La température est le second facteur constitutif du climat influant sur le développement de la végétation. Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat, Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont une influence sur la végétation, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (Greco, 1966).

3.4.2.1. Moyenne des maxima et des minima

Durant la période entre 1975 et 2014 le mois de Janvier demeure pour notre région d'étude le mois le plus froid avec un minimum de 0,37°C. On enregistre un maximum de 33,50°C pour le mois Juillet (tableau 13).

Tableau 13 : La température minima, et la température maxima et les températures moyennes mensuelles de la station de Djelfa (durant la période 1975-2014).

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T (m) °C | 0,37 | 1,66 | 3,24 | 6,02 | 10,17 | 15,07 | 18,14 | 17,86 | 14,06 | 9,49 | 4,43 | 1,72 |
| T (M) °C | 9,70 | 11,74 | 14,96 | 18,11 | 23,49 | 29,83 | 33,50 | 33,06 | 27,39 | 20,96 | 14,57 | 10,79 |
| TM+Tm/2 | 5,03 | 6,70 | 9,10 | 12,07 | 16,83 | 22,45 | 25,82 | 25,46 | 20,73 | 15,23 | 9,50 | 6,25 |
| M - m | 9,33 | 10,08 | 11,72 | 12,09 | 13,31 | 14,76 | 15,36 | 15,20 | 13,34 | 11,47 | 10,14 | 9,06 |

L'amplitude thermique mensuelle (M-m) pour cette station varie de 9,06 enregistré durant le mois de Juillet et 15,36 durant le moi d'Août, et l'amplitude thermique annuelle pour cette station est de 33,13°C.

3.4.2.2. Tendance de la température pour la période 1975-2014.

Si la pluviosité présente une irrégularité interannuelle, la température moyenne affiche une tendance à la hausse, surtout pour les huit dernières années (Figure 12).

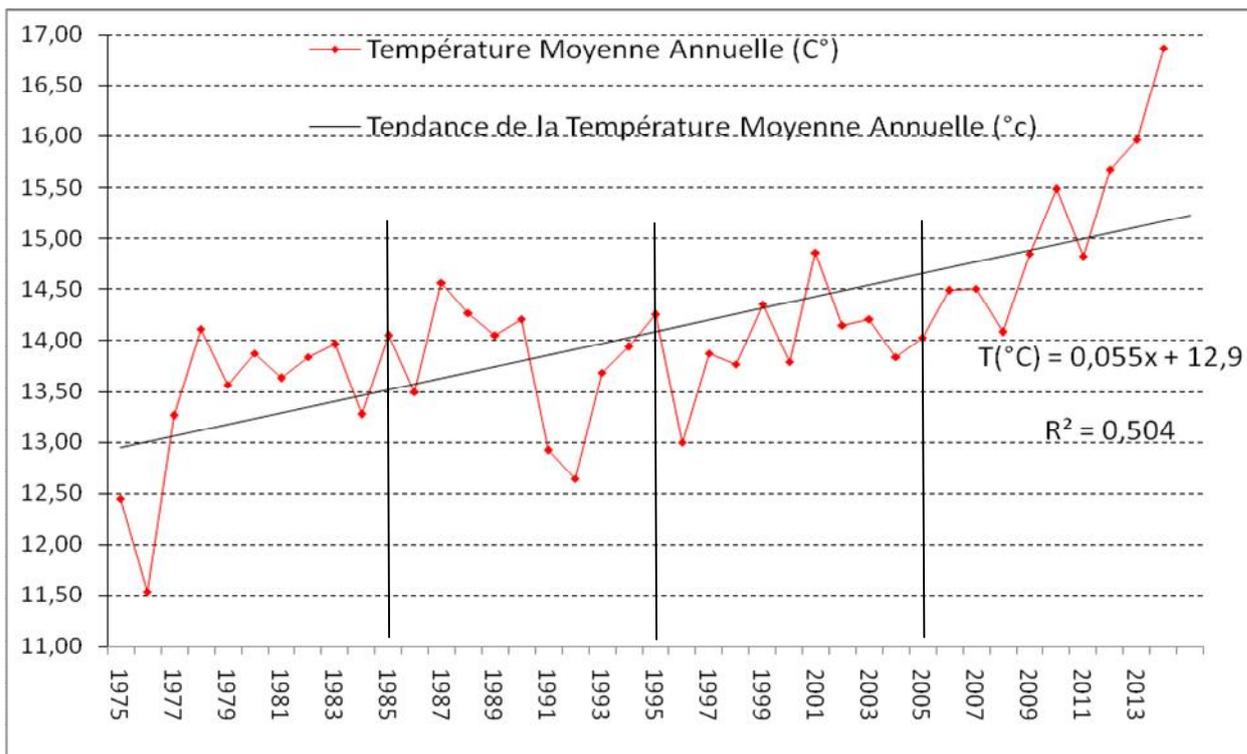


Figure 14: Evolution des températures moyennes (°c) de la station de Djelfa durant la période 1975-2014).

3.4.3. Evolution de la précipitation et de la température

Pour comprendre plus le comportement du climat dans cette région steppique, il nous y paru intéressant de voir l'évolution comparative entre les précipitations et les températures. Etant donné que la température n'a pas cessé d'augmenter à partir de 1975, elle a passé d'une moyenne de 13,35°c durant la période 1975-1984 à une moyenne de 15,08°c durant la période 2005-2014 (tableau 14), l'accroissement constaté des précipitations à partir de 2002 n'a pas influencé la moyenne périodique qui ne cesse de diminuer depuis 1997 jusqu'à l'année 2014 (Figure 15).

Tableau 14 : Précipitations annuelles et températures moyennes annuelles de la station de Djelfa (durant la période 1975-2014).

| | Précipitation (mm) | Température (°c) |
|--------------------------|--------------------|------------------|
| Moyenne annuelle, | 322,12 | 14,07 |
| Ecartype | 85,35 | 0,93 |

3.4.3.1. Evolution annuelle des précipitations

L'étude de la variation des précipitations saisonnières est très importante. Elle permet d'apprécier les variations des précipitations et leurs tendances vers telle ou telle période. Dans notre zone d'étude et d'après la Figure si dessous en constate qu'elle a passé par quatre période, la première entre 1975 et 1984 avec une précipitation moyenne de 323mm/an, une deuxième période entre 1985 et 1994 avec une augmentation des précipitations annuelle de l'ordre de 43,34mm/an par rapport à la moyenne des précipitation de la région et depuis 1995 on assiste à une baisse moyenne des précipitations de l'ordre de 21,75mm/an, cette chute est enregistrée surtout durant la période de 1995 à 2004 avec une valeur de 37,36mm/an.

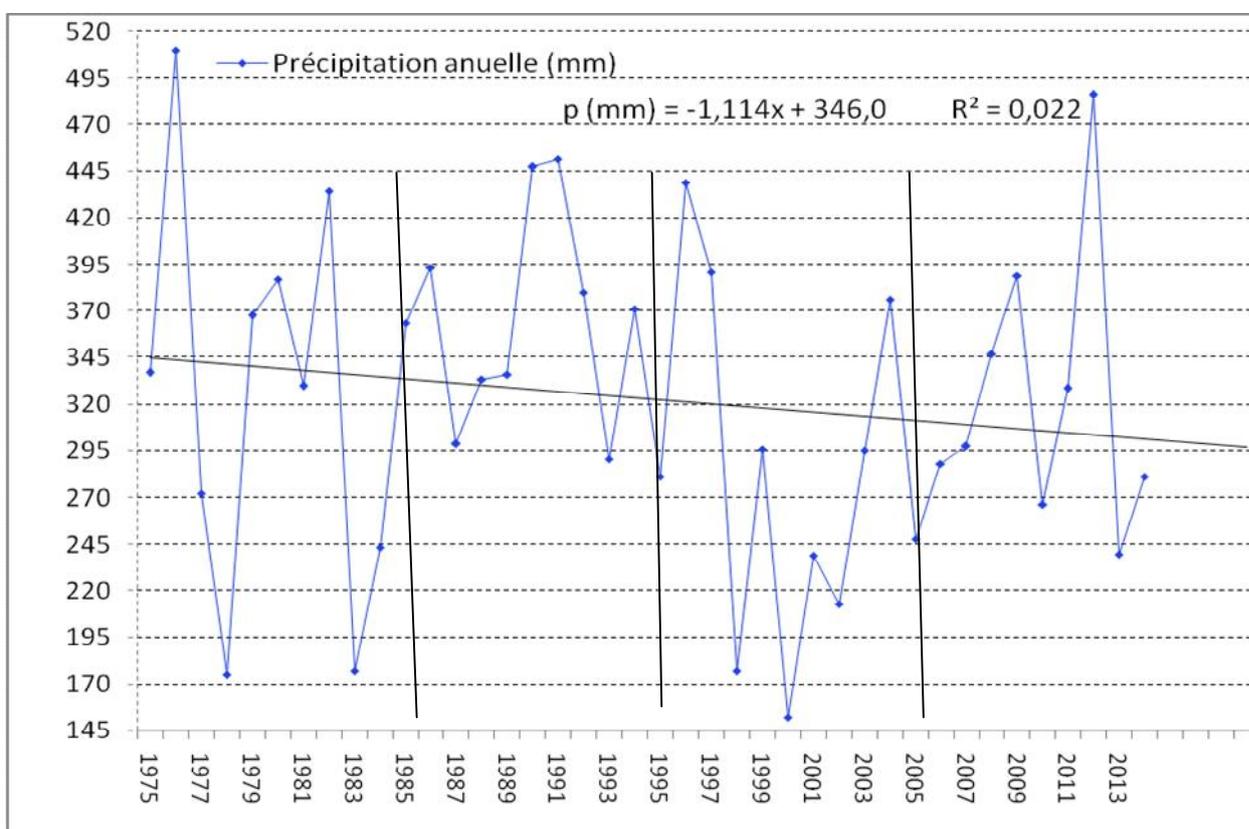


Figure 15 : Evolution des précipitations de la station de Djelfa (durant la période 1975-2014).

Le seuil de démarcation entre une saison sèche et une saison humide a été mis en évidence par Bagnouls et Gaussen, (1953). 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. Pour notre zone d'étude on enregistre 08

mois secs contre seulement 04 humides (tableau 15), Une saison sèche assez accusée représente un facteur écologique défavorable à la végétation.

Tableau 15 : Le seuil de démarcation entre un mois sec et un mois humide ($P=2T$).

| Moy des 40 ans | P (mm) | T (°c) | Seuil : $P \geq 2T$ | Seuil : $P < 2T$ | Moy des 40 ans | P (mm) | T (°c) | Seuil : $P \geq 2T$ | Seuil : $P < 2T$ |
|-------------------|--------|--------|------------------------|---------------------|-------------------|--------|--------|------------------------|---------------------|
| Janvier | 34,15 | 4,53 | Humide | | Juillet | 10,24 | 26,17 | | Sec |
| Février | 27,62 | 6,20 | Humide | | Aout | 20,87 | 26,26 | | Sec |
| Mars | 28,38 | 8,88 | Humide | | Sept, | 35,47 | 20,61 | | Sec |
| Avril | 29,77 | 12,14 | Humide | | Octobre | 29,35 | 15,10 | | Sec |
| Mai | 35,59 | 16,68 | Humide | | Nov, | 32,47 | 8,90 | Humide | |
| Juin | 18, 51 | 22,41 | | Sec | Déc, | 30,68 | 5,60 | Humide | |

Toutefois, Le Houerou, (1995) a fait des remarques et des reproches à cette méthode ($P \geq 2T$) concernant son caractère empirique, arbitraire et contingent des unités de mesure utilisées. En effet, le critère de démarcation doit être corrélé à un paramètre expérimental plus rationnel, De nombreux auteurs ont montré que l'évaporation d'un sol non saturé est approximativement égale à 0,35 ETP.

3.4.4. Précipitation - évapotranspiration (P- ETP)

Les zones sèches désignent les régions terrestres où la précipitation moyenne par an est inférieure à deux tiers de l'évapotranspiration potentielle (ETP = évaporation potentielle depuis le sol plus transpiration par les plantes), à l'exception des régions polaires et de certaines hautes montagnes remplissant ces critères mais ayant des caractéristiques écologiques complètement différentes. Les régions hyper-arides, également appelés vrais déserts, ont un rapport P/ETP inférieur à 0,05. Les régions arides ont un rapport P/ETP situé entre 0,05 et 0,20. Les régions semi-arides ont un rapport P/ETP situé entre 0,20 et 0,50. Les régions subhumides sèches ont un rapport P/ETP situé entre 0,50 et 0,65 (UNESCO, 1977). Les zones sèches comprennent toutes les régions terrestres où la production de récoltes, fourrage, bois et autres services des écosystèmes est limitée par la disponibilité en eau. Plus spécifiquement, la définition englobe toutes les terres où le climat est défini comme sec subhumide, semi-aride, aride ou hyper-aride.

Cette classification se base sur les valeurs de l'Indice d'Aridité. L'évolution de la pluviosité sera appréciée par une visualisation graphique des distributions pluviométriques en fonction des années et par une analyse de l'évapotranspiration (ETP) qui semble réduire l'amplitude des fluctuations interannuelles et fait mieux ressortir la courbe des tendances. Les hauteurs des précipitations

atteignent maximum en mois de mai et janvier environ 35,80mm et une ETP de 64mm pour janvier et 162mm pour mai. Ces hauteurs atteignent leur point minimum en mois de Juin et Juillet à laquelle l'ETP atteint son maximum dépassant 170mm. La valeur moyenne annuelle de l'ETP estimé pour Djelfa est de 1686,85mm. Cela peut être expliqué par l'alternance des années sèches et années humides. Si on analyse les totaux pluviométriques de notre série de données allant de 1975 à 2014, on constate que la moyenne annuelle des 40 années est de 323,00mm. L'écart à la moyenne est de 88,91mm (tableau 16).

Tableau 16 : Bilan hydrique annuel de la station de Djelfa période (1975- 2014).

| Année | P(mm) Annuelle | ETP | P/ETP | Année | P(mm) annuelle | ETP | P/ETP |
|--------------|---------------------------|------------|--------------|--------------|---------------------------|------------|--------------|
| 1975 | 337 | 1442 | 0,23 | 1995 | 281,1 | 1571 | 0,18 |
| 1976 | 510 | 1206 | 0,42 | 1996 | 438,8 | 2008 | 0,22 |
| 1977 | 272 | 1206 | 0,23 | 1997 | 391 | 2086 | 0,19 |
| 1978 | 171 | 1709 | 0,10 | 1998 | 177 | 2269 | 0,08 |
| 1979 | 367,6 | 1666 | 0,22 | 1999 | 295,6 | 2431 | 0,12 |
| 1980 | 386,9 | 1527 | 0,25 | 2000 | 152,2 | 2441 | 0,06 |
| 1981 | 330 | 1618 | 0,20 | 2001 | 296,0 | 2100 | 0,14 |
| 1982 | 528,9 | 1499 | 0,35 | 2002 | 212,8 | 1567 | 0,14 |
| 1983 | 177,3 | 1753 | 0,10 | 2003 | 295,3 | 1592 | 0,19 |
| 1984 | 243,6 | 1617 | 0,15 | 2004 | 376 | 1344 | 0,28 |
| 1985 | 363,4 | 1529 | 0,24 | 2005 | 258,0 | 1641 | 0,16 |
| 1986 | 393,3 | 1627,2 | 0,24 | 2006 | 316,0 | 1691 | 0,19 |
| 1987 | 298,7 | 1739 | 0,17 | 2007 | 297,4 | 1654 | 0,18 |
| 1988 | 411 | 1573 | 0,26 | 2008 | 347,00 | 1583,00 | 0,22 |
| 1989 | 336,1 | 1573 | 0,21 | 2009 | 389,00 | 1430,00 | 0,27 |
| 1990 | 447,4 | 1659 | 0,27 | 2010 | 266,40 | 1611,00 | 0,17 |
| 1991 | 451,5 | 1424 | 0,32 | 2011 | 328,60 | 1428,00 | 0,23 |
| 1992 | 394 | 1433 | 0,27 | 2012 | 486,20 | 1668,00 | 0,29 |
| 1993 | 290,8 | 1507 | 0,19 | 2013 | 239,60 | 1987,00 | 0,12 |
| 1994 | 371 | 1520 | 0,24 | 2014 | 281 | 1591,00 | 0,18 |

Les années 1978, 1983, 1998 et 2000 présentent un écart de -157,06 qui est relativement important à la moyenne. Ces années peuvent être considérées comme années sèches surtout l'année 2000 avec une pluviométrie de 152mm. Par contre les années 1976, 1982, 1999 et 1996 présentent un écart de 131,10 à la moyenne relativement important. Ces années peuvent être considérées comme années humides, surtout l'année 1976 qui a enregistré une pluviométrie exceptionnelle 510mm. En fonction des précipitations et des ETP, on constate qu'à partir de 1999, l'ETP est beaucoup plus importante que les précipitations reçues. Ainsi, nous considérons

que cette période est une séquence de déficit hydrique (sécheresse). Ce qui veut dire, cette région enregistre un net assèchement, surtout durant cette dernière décennie. Même si elle a été marquée par une augmentation considérable des quantités de pluie, l'ETP a augmenté, à son tour, deux fois plus la quantité des précipitations reçues. Ce qui provoque d'avantage des séquences d'années sèches. Le rapport P/ETP pour notre période d'étude donne des valeurs comprises entre 0,08 (1998) et 0,42 (1976) pour la période retenue ; ce qui la propulse globalement dans l'aridité. Après avoir une idée sur la tendance hydrique pour cette période (1975-2014), nous nous sommes intéressés à la définition de l'année sèche, humide et normale après corrélation entre P et ETP.

Tableau 17 : Détermination des années sèches, humides et normales.

| Année | P(mm) mesurée | P (corrélée) = - 0,130ETP+538,256 | | Sécheresse | Année | P (mm) mesurée | P (corrélée) = -0,130ETP+538,256 | | Sécheresse |
|-------|------------------|--------------------------------------|---------|------------|-------|-------------------|-------------------------------------|---------|------------|
| | | R = -0,44 | R2=0,20 | | | | R = -0,44 | R2=0,20 | |
| 1975 | 337 | 350,94 | | S | 1995 | 281,10 | 334,19 | | S |
| 1976 | 510 | 381,60 | | H | 1996 | 438,80 | 277,42 | | H |
| 1977 | 272 | 381,60 | | S | 1997 | 391,00 | 267,29 | | H |
| 1978 | 171 | 316,26 | | S | 1998 | 177,00 | 243,52 | | S |
| 1979 | 367,6 | 321,85 | | H | 1999 | 295,60 | 222,47 | | H |
| 1980 | 386,9 | 339,90 | | H | 2000 | 152,20 | 221,17 | | S |
| 1981 | 330 | 328,08 | | N | 2001 | 238,90 | 265,47 | | S |
| 1982 | 528,9 | 343,54 | | H | 2002 | 212,80 | 334,71 | | S |
| 1983 | 177,3 | 310,55 | | S | 2003 | 295,30 | 331,46 | | S |
| 1984 | 243,6 | 328,21 | | S | 2004 | 376,00 | 363,67 | | N |
| 1985 | 363,4 | 339,64 | | N | 2005 | 247,80 | 325,09 | | S |
| 1986 | 393,3 | 326,89 | | H | 2006 | 288,00 | 318,60 | | S |
| 1987 | 298,7 | 312,36 | | S | 2007 | 297,40 | 323,41 | | S |
| 1988 | 411 | 333,93 | | H | 2008 | 347,00 | 332,63 | | N |
| 1989 | 336,1 | 333,93 | | N | 2009 | 389,00 | 352,50 | | H |
| 1990 | 447,4 | 322,76 | | H | 2010 | 266,40 | 328,99 | | S |
| 1991 | 451,5 | 353,28 | | H | 2011 | 328,60 | 352,76 | | S |
| 1992 | 394 | 352,11 | | H | 2012 | 486,20 | 321,59 | | H |
| 1993 | 290,8 | 342,50 | | S | 2013 | 239,60 | 280,15 | | S |
| 1994 | 371 | 340,81 | | H | 2014 | 281,00 | 331,59 | | S |

N : Normale ; S : Sèche ; H : Humide ;

Période 1975-2014 : Vingt années humides- Quiz années sèches et Cinq années normales

Le résultat obtenu montre que le moitié de la période étudiée est concédérée comme des années sèches contre 15 années humide et 05 années sont normales. L'augmentation de l'ETP (Figure 16) à partir des années 2000, contracte d'avantage une tendance nette à la sécheresse.

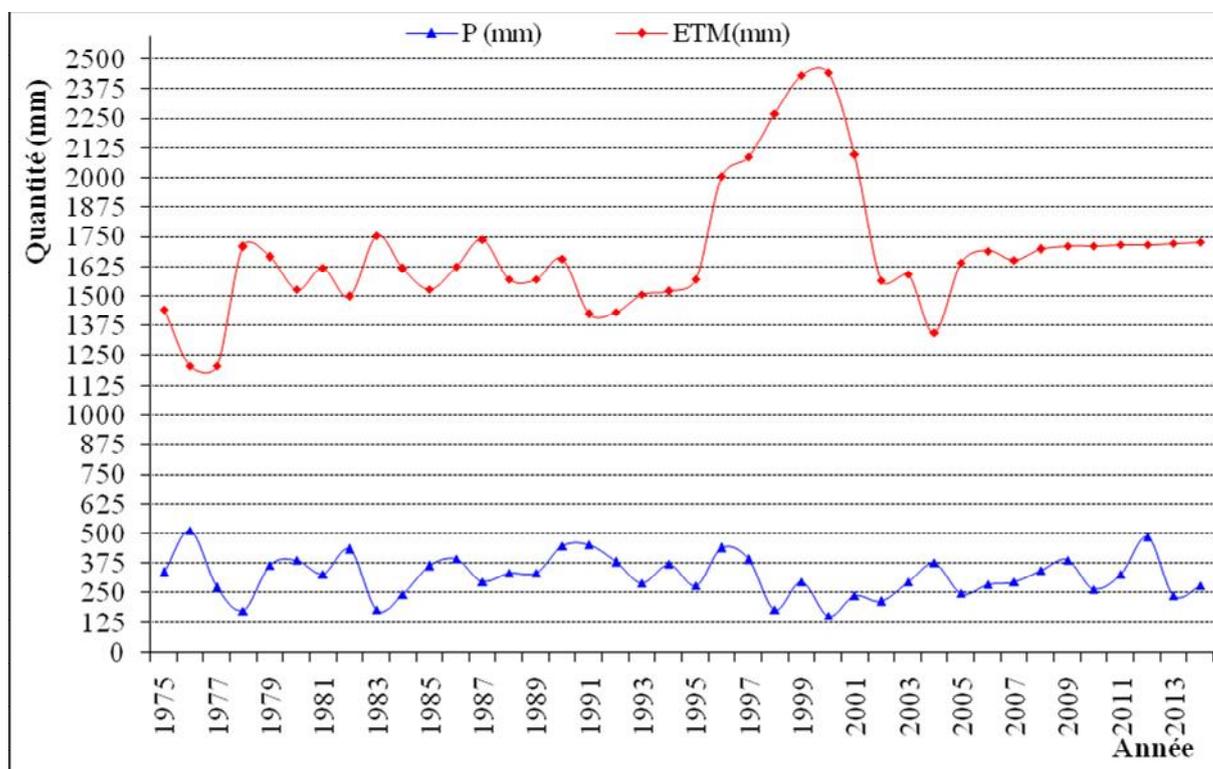


Figure 16 : Evolution des précipitations annuelles et de l'évapotranspiration corrélée de la station de Djelfa (durant la période 1975-2014).

3.5. Autres variables climatiques en termes de contraintes

Le climat est marqué dans son ensemble par une forte irrégularité non seulement d'une année à une autre mais également entre les différents mois au sein de l'année.

3.5.1. Vents

Le vent est un paramètre climatique qui influe sur le déplacement des fines particules de sable et accentue de ce fait le processus de désertification.

Dans les régions arides les vents jouent un rôle primordial dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols. Les vents sont généralement secs et froids en hiver et en été ils deviennent très desséchants (Halitim, 1988).

Les vents dominants sont de direction Sud-Ouest et Nord Ouest, Ils contribuent à la fois à l'aridité de la zone en activant le processus d'évaporation et en déplaçant les particules fines du sol en formant des dépôts dunaires.

Tableau 18 : Directions principales des vents à l'échelle annuelle à la station de Djelfa

| Direction du vent | N | NNE | E | SE | S | SO | SSO | SSE | O | NO |
|-------------------|------|------|---|------|------|-------|------|------|------|-------|
| Fréquence | 2,62 | 2,62 | 0 | 1,57 | 8,92 | 55,64 | 5,77 | 1,31 | 7,61 | 13,91 |

Il faut noter que la répartition de la fréquence annuelle des vents durant la période d'étude au niveau de la station de Djelfa (Tableau 18) met en évidence la dominance de la direction Sud et ces différentes variantes avec un taux de globale de 73,21% dont, 55,64% Sud Ouest, 8,92% Sud, 5,77 Sud-Sud- Ouest 1,57% Sud Est ; tandis que les vents du Nord généralement font leur apparition entre avril et septembre avec des fréquences oscillant de 2,62 à 13,91%, En revanche, la direction Ouest se manifeste avec des fréquences généralement inférieures à 7,92% et qui peuvent atteindre des taux de 25%.

3.5.2. Gelées

La gelée est un phénomène qui est défini comme étant un dépôt de cristaux de glace sur une surface, survenant lorsque la température minimale descend en dessous de 0°C (Seltzer, 1946). La fréquence est exprimée en nombre de jours par an. Les gelées posées d'énormes difficultés sur le développement de la biomasse. Les hauts plateaux sont caractérisés par des gelées tardives qui d'après constitue dans certains cas un handicap important pour le reboisement.

A Djelfa la gelée intervient durant la période de l'hiver. Les gelées sont enregistrées à raison de 33 jours avec un écart de 13,73, le maximum est enregistré durant les années 2000 et 2005 respectivement 65 jours et 62 jours et le minimum enregistré durant les années 1986 et 1977 respectivement 11 jours et 13 jours par an. Les gelées blanches quant à elles sont fréquentes et s'étalent de mars à Avril. Les gelées contribuent énormément à la dégradation de la végétation sensible notamment aux jeunes repousses et la floraison précoce. En effet, un hiver particulièrement le froid peut considérablement retarder la reprise de la végétation lors du réchauffement printanier et se répercuter sur le développement de la biomasse.

3.5.3. Grêles et neiges

Les grêles et neiges sont pratiquement présentes chaque année dans les hauts plateaux et surtout dans la région de Djelfa. Pour la neige elle est enregistrée entre Décembre et Février à raison de 4 à 17 jours/ans, soit une moyenne de 8 jours par an avec un écart-type égale à 5 jours. Par contre les grêles sont fréquents à une moyenne de 2 jours par an.

3.6. Synthèse climatique

La synthèse climatique est basée sur la recherche de formules qui permettent de ramener à une variable unique l'action de plusieurs indices climatiques, tenant compte des variables telles que la pluviosité et les températures.

3.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1954)

Selon les deux auteurs, une année est considérée sèche lorsque les précipitations moyennes mensuelles sont inférieures ou égales à deux fois la température moyenne mensuelle ($P \leq 2T$). Il a pour but de déterminer la période sèche comparée à celle humide. La période sèche est déterminée par une représentation graphique portant en abscisse les mois de l'année, en ordonnée à la droite les précipitations mensuelles moyennes, exprimées en (mm), et à gauche les températures moyennes mensuelles exprimées en ($^{\circ}\text{C}$).

La période 1975-2014 présente une période de sécheresse qui se prolonge sur une durée de 5 à 6 mois de sécheresse allant du mois d'Avril jusqu'au mois d'octobre (mois non inclus) et en partie entre les deux mois de Février - Mars et Novembre – Décembre. Cette période enregistre un maximum de précipitations qui ne dépasse pas les 30,58 mm de pluie pour le mois d'octobre. Ainsi, ce diagramme n'indique pas dans la zone une sécheresse uniquement estivale mais sur presque toute l'année. La classification de ces derniers et celle d'Emberger restent les plus efficaces dans la description du climat méditerranéen comme le soulignent Djellouli, (1981) et Meigs, (1964) cité par Aidoud, (1983) et Nahal, (1981).

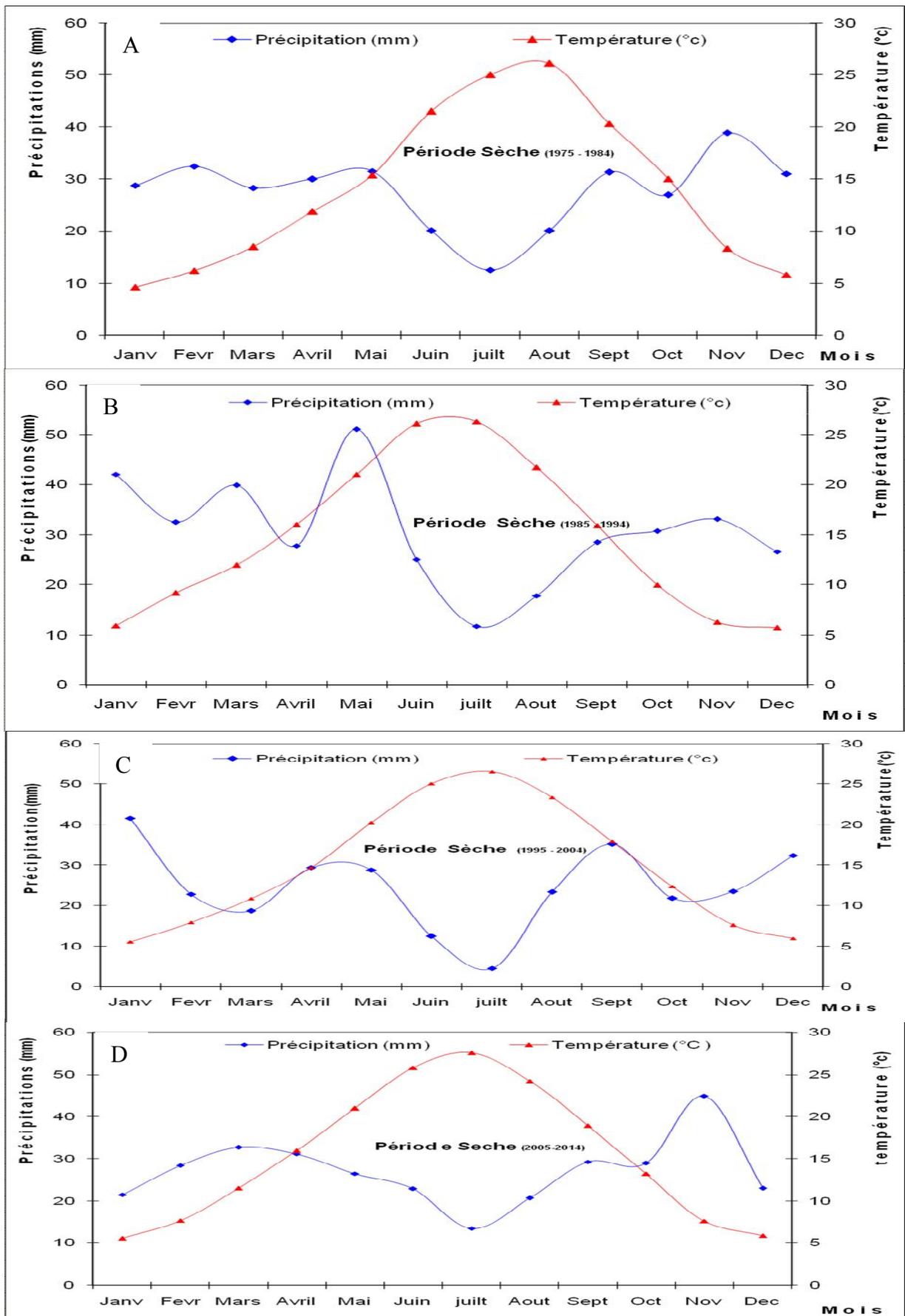


Figure 17 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

De la zone d'étude (périodes 75/84, 85/94, 95/2004 et 2005/ 2014 respectivement a, b, c et d)

3.6.2. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger (1955)

Pour la détermination du type de climat qui règne ces dernières années nous avons eu recours à l'utilisation du quotient pluviométrique d'Emberger, (1955). Ce quotient est spécifique au climat méditerranéen, Il est généralement le plus utilisé dans les régions de l'Afrique du Nord.

Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géographique du mot mais plutôt de bandes de transition mixtes. A ce titre Emberger, (1955) a bien précisé que sur le diagramme les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé. Le quotient pluviothermique Q_2 est exprimé par la formule suivante :

$$Q_2 = 20009 P / M^2 - m^2$$

Pour l'élaboration du climagramme, nous avons utilisé la formule simplifiée de Stewart, (1969) qui s'écrit comme suit :

$$Q_3 = 3,43 \times P / (M - m)$$

- Q_3 : Quotient pluviométrique d'EMBERGER ;
- P : Pluviosité moyenne annuelle exprimée en mm ;
- M-m : amplitude thermique ;
- M et m sont exprimées en degré Celsius,

L'application de la formule du quotient pluviothermique sur les données climatiques de la région de Djelfa pour une période de 40 ans a donné un Q_2 égal à 33,06 avec une température minimale de 0,05°C, révèle que cette station est classée dans l'étage semi aride inférieur à hiver froid à frais (Figure 18).

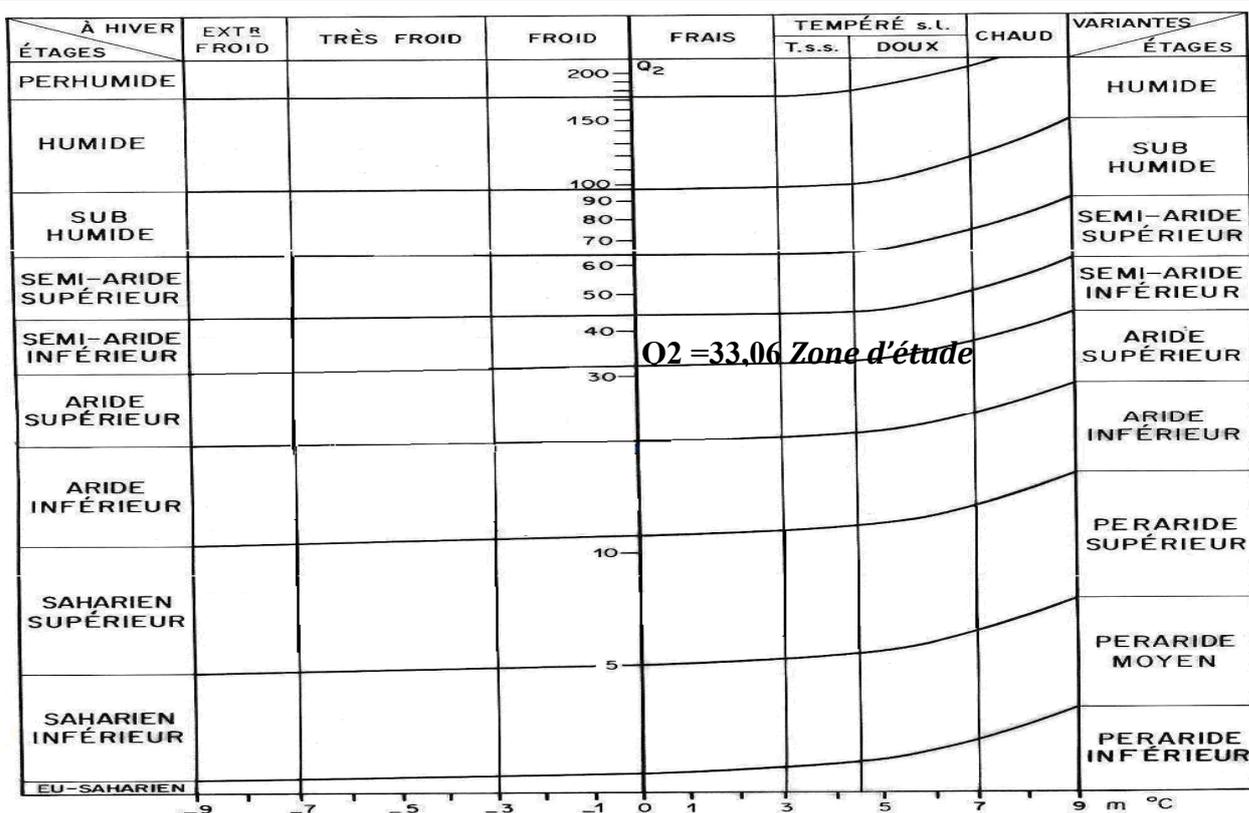


Figure 18 : Emplacement de la station de Djelfa sur le climagramme d'EMBERGER

Toujours à titre de comparaison diachronique, on a subdivisé nos données climatiques de la période (1975-2014) en quatre décennies pour voir le changement climatique voir les résultats porté au (tableau 19), montre bien que le quotient, a passé de 35,44 durant la décennie 75-84 à 32,01 pour la décennie 2005-2014 soit un écart de 3,33 donc elle a passé de l'étage semi-aride inférieur à l'étage aride supérieur. 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.).

Tableau 19 : Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger (1955).

| | P annuelle (mm) | T M (°c) | T m (°c) | Q2 |
|-----------|-----------------|----------|----------|-------|
| 1975/1984 | 331,9 | 32.55 | 0.61 | 35.44 |
| 1985/1994 | 366,57 | 33.53 | 0 | 37.28 |
| 1995/2004 | 294,47 | 33.89 | 0.79 | 30.34 |
| 2005/2014 | 322,62 | 34.67 | 0.3 | 32.01 |
| 1975/2014 | 323,00 | 33,64 | 0,43 | 33,17 |

4. Cadre hydrologique et hydrogéologique

On appelle bassin versant d'un cours d'eau le territoire qui alimente ce dernier, en d'autres termes, c'est l'aire, limitée par le contour à l'intérieur de laquelle toute l'eau précipitée est drainée par ce cours d'eau. Notre région d'étude s'inscrit dans le sous bassin versant des Zahrez, codé 17-02, l'ensemble du bassin des Zahrez occupe une superficie totale de 4974 Km² (ANRH).

4.1. Eaux superficielles

4.1.1. Oued mellah

C'est le plus important des oueds de notre région, son bassin versant de 1388Km²(d'après ANRH) se situe pour une part dans le synclinal de Djelfa, (812km²) et 576Km² pour l'aval du bassin. Dans cette partie de son cours il draine une grande surface de Djebels plus ou moins boisés, entaille ensuite les argiles rouges du Miopliocène avant de venir butter sur le diapir de Rocher de sel qu'il contourne pour déboucher dans le bassin des Zahrez.

4.1.2. Oued El Hadjia

Toute la partie amont de son cours se situe dans les argiles rouges Miopliocène qu'il entaille vigoureusement. Il débouche dans le bassin versant de Zahrez en recoupant le glacis encroûté du Quaternaire moyen pour s'étaler sur une vaste zone d'épandage. Le réseau hydrographique, organisé en système endoréique, alimente de nombreuses nappes phréatiques de 1 à 6mètres de profondeur, et participe à la pédogenèse des sols halomorphes.

Dans le bassin du Zahrez El Gharbi, on note la présence de plusieurs nappes, toutes plus ou moins salées, la salure de ces nappes est en relation directe avec différentes sources d'alimentation et la nature des terrains. Les principales nappes sont :

- La nappe du cordon dunaire avec une profondeur de 50 à 100 centimètres et une salure faible de 0.2 à 3 g/l
- La nappe de Zaafrane, dont la profondeur varie entre 1 et 3 mètres et une salure faible de 2 à 5 g/l.
- La nappe en relation avec l'Oued Melah a une profondeur de 3 à 5 mètre et une salure forte de 3 à 20 g/l.
- La nappe des sols gypseux de la zone Sud-Ouest des Zahrez, de 2 à 4 mètres de profondeur, a une faible salure de 3 à 4 g/l.

5. Végétation

Notre zone d'étude est située au cœur de la steppe Algérienne dont les principaux parcours steppiques existent et ils s'étendent sur des superficies très importantes et contribuent dans l'alimentation d'un cheptel très importants.

5.1. Formations Forestière

Ils occupent les hauts Djebels au-dessus de 1150-1200 m (Forêt de Senalba Chergui) et la grande dépression (Combe des marnes cénomaniennes encrotées) au Sud du Djebel Sahari.

La majeure partie est protégée et incluse dans la forêt domaniale mais certaines zones restent encore d'accès libre peu réglementé. Il s'agit d'une forêt claire de pins d'Alep, le plus souvent dégradée en matorral arboré avec quatre strates.

- La strate supérieure ou (I) de 3 à 20 m est composée uniquement de Pins d'Alep, alors que la strate ;
- (II) comprend des arbustes: (*Quercus ilex*, *Juniperus oxycedrus*, *Pistacia lentiscus*, *Phyllirea angustifolia*) ;
- La strate (III) De 0,40 à 1m, elle est composée des principaux arbustes suivants:
- (*Rosmarinus tournefortii*, *Globularia alypum*, *Cistus libanotis*, *Cistus salvifolius*, *Cistus villosus*, etc...);
- La strate inférieure (IV) regroupe une série de plantes très diverses (Chamephytes hemicryptophytes etc...).

5.2. Formations Matorrals

Localisé dans les glacis des Djebels Senalba et Sehary, il s'agit d'une steppe arborescente, on y trouve principalement, le genévrier (*Juniperus phoenicea*) en haut de versant avec du Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), mais la grande partie de la couverture est formée par de l'Alfa (*Stipa tenacissima*) et le romarin (*Rosmarinus officinalis*).

5.3. Formations steppiques

Elles se présentent comme une formation basse et ouverte, qui laisse apparaître le sol à nu ; elle est formée de touffes, d'arbuste ou de plantes herbacées vivaces xérophiles. Nous distinguons dans notre région d'étude cinq types de steppes :

Les parcours à *Stipa tenacissima* (Alfa) répartie sur tout le territoire de notre zone d'étude, ces limites au sud coïncident avec l'isohyète 100mm. L'Alfa se localise dans la rocaille

des Djebels et dans les sols les plus caillouteux et non salés, elle est souvent associée à l'Armoise champêtre.

- Les parcours à *Artemisia herba alba* (Armoises blanches) plus répandus au Nord Ouest de Zaafrane et au Sud Est de Djelfa occupent une superficie importante leur productivité est très faible soit 90UF/ ha/an (H. C. D. S, 2003),
- Les parcours à *Lygeum spartum* (Spartes) plus répandus dans les régions de Djelfa Ain Maabed, et le Nord de Zaafrane, se développent dans les sols sableux ou limoneux. Leur productivité est faible avec 75UF/ ha /an (H.C.D.S. 2003).
- Les parcours à psammophiles à base d'*Aristida pungens*, *Saccocalyx satureiodes*, *Retama retam* et *Atriplex canescens* qui se développent au niveau des microdunes. cependant dans les dépressions inter-dunaires se développe une végétation plus dense d'hygrophytes colonisée par du tamaris (*Tamarix aphylla* et *Tamarix gallica*) et du Jujubier (*Ziziphus lotus*). Ils sont plus répandus au niveau du cordon dunaire et El Musrane, leur productivité est de l'ordre de 55 UF / ha / an (H. C. D. S, 2001).
- Les parcours à hallophiles à base de *Retama* et à base d'*Atriplex halimus*, *Salsola* et *Souida*, ils sont plus répandus dans les dépressions et les glacis, les périphéries du chott et entre la sebkha et le cordon dunaire. Leur productivité est de 70UF/ha/an (H. C. D. S, 1991 et 1994).

6. Etude socio-économique

6.1. Évolution de la population

La région a enregistré un taux d'accroissement global supérieur à la moyenne de la Wilaya durant la décennie de 1977-1987 avec un taux de 4,34% alors celui de la Wilaya de Djelfa pour la même décennie est de 4 %, ce taux est suivi par une régression importante arrive à un taux de 3,32% et 3,34% pour les deux décennies (1977-1987) et (1998-2008) respectivement cette régression d'accroissement relève une forte migration. L'observation de l'évolution de la population par commune (tableau 20) fait ressortir d'importants écarts, allant d'un taux d'accroissement annuel de 0,08 pour la commune de Zaafrane à 5,73% pour celle de Djelfa de la décennie (1998-2008).

Tableau 20 : Evolution de la population des communes par RGPH

| Zone | Nombre Population | | | | Taux d'accroissement (%) | | |
|-------------------|-------------------|--------|---------|---------|--------------------------|-----------|-----------|
| | 1977 | 1987 | 1998 | 2008 | 1977/1987 | 1987/1998 | 1998/2008 |
| Djelfa | 52 800 | 90 032 | 164 126 | 288 228 | 5,43 | 5,48 | 5,73 |
| Zaafrane | 7 400 | 10 028 | 12 865 | 12 971 | 3,05 | 2,24 | 0,08 |
| Ain Maabed | 6 500 | 10 260 | 13 183 | 19 997 | 4,62 | 2,25 | 4,21 |

Ce constat dénote une forte tendance à l'aggloméré qu'a connu la région durant cette décennie. Toutefois Les communes ont enregistré des taux d'accroissement faibles résultant de plusieurs facteurs défavorables : population totale trop dispersée, dotation faible en équipement et proximité des agglomérations attractives.

Par dispersion, l'observation des taux d'accroissement de la population totale enregistrent des taux d'accroissement positif et élevés 10,92 et 11,04 pour les communes de Djelfa et Zaafrane respectivement pendant la période (1977-1987) sauf pour la commune de Zaafrane durant la décennie (1998-2008) a enregistré un taux négatif de -1,73 %. Inversement, les populations éparses ont enregistré un taux d'accroissement négatif, (-6,52 et -5,24) respectivement pour les communes de Zaafrane et Djelfa pendant la période de 1987-1998 (tableau 21).

Tableau 21 : Evolution de la population des communes par dispersion (1977/1987/1998/2008).

| | | | Djelfa | Zaafrane | Ain Maabed |
|----------------------------------|-------------------|---------|---------|----------|------------|
| Population par dispersion | Agglomérée | 1977 | 47 435 | 1 273 | 1 891 |
| | | 1987 | 84 207 | 3 627 | 5 447 |
| | | 1998 | 160 949 | 6 205 | 10 930 |
| | | 2008 | 276 417 | 5 202 | 14 839 |
| | Eparse | 1977 | 5 365 | 6 127 | 4 609 |
| | | 1987 | 5 825 | 6 401 | 4 813 |
| | | 1998 | 3 177 | 6 660 | 2 253 |
| | | 2008 | 11 810 | 7 769 | 5 157 |
| Taux d'accroissement (%) | Agglomérée | 77/87 | 10.92 | 11.04 | 5.85 |
| | | 87/98 | 4.88 | 6.38 | 5.92 |
| | | 98/2008 | 5,5 | 3,07 | -1,73 |
| | Eparse | 77/87 | 0,82 | 0,43 | 0,43 |
| | | 87/98 | - 5,24 | - 6,52 | 0,35 |
| | | 98/2008 | 1.54 | 8,54 | 13,88 |

Généralement le taux d'accroissement des populations agglomérées est nettement plus élevé par rapport aux populations éparses, expliqué par l'exode rural massif de la population à cause du manque des moyens dans milieu rurale et l'absence de l'activité économique.

6.2. Emploi

L'analyse de l'emploi dans la région d'étude a été appréhendée sur la base du dernier recensement (RGPH, 2008). La population active elle est de l'ordre de 205 513 personnes, représentant 60,10 %. L'activité dominante dans notre zone d'étude est l'élevage extensif associé à une céréaliculture aléatoire. L'effectif total du cheptel dans notre zone d'étude est de l'ordre de 1500000 têtes, dont 1200000 têtes d'ovins qui dominant et le reste c'est des caprins.

Conclusion

L'étude climatique montre clairement que notre zone étude présente une irrégularité annuelle et saisonnière des précipitations avec une augmentation des températures maxima induisent une accentuation de l'intensité et la durée de la sécheresse. Cette spécificité agit directement sur le régime des oueds qui est caractérisé par l'existence d'un grand nombre d'années sèches entrecoupé par un petit nombre d'années humides avec crues violentes. L'irrégularité, la faiblesse des étiages et l'empileur des crues réduisent l'intérêt des eaux de surfaces. La diversité du climat et du sol permet l'apparition des différentes types de formations végétale tel que la forêt et le matorral avec la dominance du pin d'Alep et le genévrier, la steppe occupe la majorité de ce milieu avec des groupements végétales steppiques tel que groupements à *Stipa*, groupement à Artmoise blanche, groupement à *Lygeum*, groupement à Psammophyle et groupement à Hallophytes.

Chapitre IV
Matériel et Méthodes

Les techniques de la géomatique notamment, la télédétection et des systèmes d'informations géographiques ont été utilisées depuis les années « 1990 », pour cartographier la dynamique de la végétation et de fournir un outil « d'aide à la décision » surtout en matière de gestion et d'aménagement du territoire. Dans cette partie nous proposons de présenter une approche méthodologique basée sur le choix de plusieurs sources de données (série temporelle d'images satellitaires, données de terrain..etc.). Dans le but de la détection des changements majeurs survenus au niveau de notre zone d'étude et l'établissement d'une carte actualisé de l'occupation du sol.

1. Données

1.1. Choix du capteur

Les images satellitaires constituent une source importante pour la cartographie de l'occupation du sol et la gestion des ressources naturelles. Elles sont descriptives et apportent une information spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (Pouchin, 2001).

Les données mutispectrales permettent la caractérisation des objets. Selon Bardinnet, (1994), le choix des données de télédétection dans les études de l'occupation du sol est crucial, il dépend de la résolution spatiale des images soit la taille du pixel au sol. Ce choix dépend également de la dimension spatiale de la zone d'étude (Bensaid et *al.*, 2003). Il faut noter aussi que le choix du capteur de télédétection dépend en particulier sur leur disponibilité (Par exemple : pour le cas du satellite Landsat un archives disponible gratuitement depuis les années 1970 ce qui permettra la réalisation des bilans spatiotemporels). D'après l'étude réalisée par Horler et Ahern (1986) sur le contenu de l'information forestière dans les données TM Landsat, les bandes TM3 (Rouge), TM4 (Proche Infra Rouge), et TM5 (Infra Rouge moyen) ont été les données les plus utiles pour la discrimination du couvert végétale.

Le recours vers l'utilisation des données de télédétection issu du satellite Landsat s'avère indispensable pour notre étude.

1.2. Choix des images satellitaires

Pour la réalisation de notre bilan spatiotemporel, nous avons fixé quelques critères pour la sélection de la série des images temporelles. Selon Samaali, (2011) le choix des images est en fonction de plusieurs critères à savoir : l'année, la saison et l'heure d'acquisition, la faible couverture nuageuse et une nébulosité minimale.

Toute la série temporelle a été choisie durant la période du printemps où l'activité chlorophyllienne est assez importante ce qui permettra d'avantage le suivi des changements dans le couvert végétal. L'objectif était de trouver des images anciennes et une image relativement récente afin de connaître et d'évaluer l'évolution de l'occupation du sol dans notre zone d'étude. Pour cela nous avons téléchargé trois images couvrant une période allant de 1984 au 2013 soit une période de 29 ans entre la situation initiale (image de l'année 1984) et la situation finale (image de l'année 2013). Toutes les images sont issues du même capteur TM du Landsat sauf celle de l'année 2013 dont le capteur est celui du OLI/ TIRS avec un codage en 2¹⁶ (voir tableau 22). Il faut signaler que ces images coïncident parfaitement avec la période printanière et ne présentent aucune couverture nuageuse ou d'ombre portées par les effets topographiques. Ces images couvrent la totalité de la zone d'étude en une seule scène (Path = 195, Row = 36) avec le même système de projection (UTM WGS 84 Zone 31 Nord).

Tableau 22 : Tableau des caractéristiques des images utilisées.

| Image | I-1984 | I-2001 | I-2013 |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Date d'acquisition | 18/04/1984 | 14/05/2001 | 18/04/2013 |
| Temps d'acquisition | 09 ^h 47'15'' | 10 ^h 08'45'' | 10 ^h 21'53'' |
| Capteur | TM | TM | OLI/ TIRS |
| Charge nuageuse et ombre | 0 | 0 | 0 |
| Azimut | 127°09 | 139°002 | 136°418 |
| Angle solaire | 51°756 | 49°401 | 59°938 |

1.2. Choix des variables candidates pour la cartographie

L'utilisation directe des données multispectrales des images est confrontée généralement à des contraintes de forte corrélation (inter-bandes) et des confusions au moment des classifications des images. Ceci ne permettra pas d'obtenir une information complémentaire sur le territoire étudié. Le recours vers les indices spectraux est devenu un passage obligé d'où on peut les considérer comme des variables synthétiques, numérique qui caractérisent l'intensité ou l'extension d'un phénomène trop complexe pour être décomposé en un nombre maîtrisable de paramètres (Caloz, 1994).

Dans notre cas, nous combinons les données ACP à celles obtenus par la transformation en indice de végétation pour la création de nouvelles images qui seront l'objet des classifications supervisées. Il faut noter que l'analyse en composantes principales (ACP) est une procédure de transformation qui permet de réduire la redondance des données en identifiant les combinaisons linéaires optimales des canaux originaux et en modifiant les dimensions des axes de telle sorte que la corrélation soit éliminée (Caloz, 1994).

L'indice de végétation *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) proposé par Rouse et al. (1974) à été sélectionné pour la réalisation du bilan spatiotemporel.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{PIR} - \text{R})}{(\text{PIR} + \text{R})}$$

Les bandes rouges (R) et proches infrarouge (PIR) présentent un intérêt majeur vu la divergence dans le comportement de la végétation dans ces deux bandes. La première coïncide avec une forte absorption du rayonnement, la deuxième, au contraire, offre une réflectance élevée.

L'indice de végétation NDVI a été sélectionné puisque :

1. le plus utilisé dans les études de la végétation (Dungan, 1998) ;
2. il a le pouvoir de séparer la végétation verte des autres surfaces (Sedar et Wilson, 2003) ;
3. ces valeurs élevées donnent une forte indication sur la biomasse et les volumes de bois, l'état sanitaire des peuplements et le degré de la fermeture des couverts forestiers (Sellers, 1985; Jasinski, 1990 ; Sader et Winne, 1992) ;
4. il tient compte des variations dans l'ombre et il est moins influencée par la topographie (Singh, 1989 ; Stefanov, 2001 ; Morawitz et al., 2006).

1.3. Méthodes de cartographie choisi

Plusieurs méthodes de détection de changement par télédétection sont disponibles (l'analyse visuelle, les méthodes algébriques, post-classification, méthode SIG..etc). Parmi les méthodes les plus utilisées, l'usage de la classification comme une catégorie de détection des changements et qui englobe l'ensemble des méthodes de comparaison post-classification, dirigée et non dirigée, les méthodes hybrides par exemple (la classification des ACP...etc.). Ces méthodes sont basées sur les résultats des images classées, dans lesquelles la qualité et la quantité des données des échantillons d'entraînement sont cruciales pour produire de bons résultats de classification (Lu et al., 2003).

Pour connaître l'évolution de l'occupation de notre zone d'étude nous avons choisi la méthode poste-classification mais en utilisant des variables issues de la transformation des données multispectrales à savoir la transformation ACP et l'indice NDVI. Ceci permettra de réduire la redondance des données de multispectrales et un meilleur suivi du couvert végétal. L'avantage majeur de ces méthodes est la capacité de fournir une matrice de changement et de réduire l'impact de différences atmosphériques et environnementales entre les images multi-temporelles. Toutefois, la sélection des échantillons d'entraînement de haute qualité pour la classification est souvent difficile. La classification très précise avec des images anciennes est difficile surtout si les données de qualité des échantillons d'entraînement ne sont pas disponibles. Ce choix va également contourner le problème de codage (2^8 pour le capteur TM Vs 2^{16} pour le capteur OLI/TIRS) des images candidate pour la cartographie des changements. Sachant que le capteur OLI/ TIRS du satellite Landsat donne des produits codés en 2^{16} bits soit une fourchette de réflectance allant de 0 à 65535.

1.4. Prétraitements

1.4.1. Choix de l'image référence

Selon Girard et Girard, (1999) une image référence, c'est sur laquelle qu'on doit se référer et de ramener toute la série temporelle aux mêmes conditions d'acquisition des données de télédétection. Ceci permettra d'éviter tout sorte de perturbation due à la géométrie (une parfaite superposition des pixels) et à la variation spectrale due aux conditions d'acquisition bidimensionnelle (Azimute et inclinaison). Statistiquement parlant les images références doivent présenter une large dynamique de réflectance sur l'ensemble des données multispectrales. Pour notre cas l'image Landsat de l'année de 2013 est retenue comme image référence.

1.4.2. Correction géométrique

Les images acquises par le système d'observation de la terre ne peuvent être directement exploitées dans le cas d'une comparaison spatio-temporelle d'occupation des sols. Malgré le géoréférencement des images prises à des différentes dates, elles présentent toujours des déformations et des distorsions dues au défilement du satellite qui provoque des erreurs de type lacet, tongage et roulées. Des prétraitements de correction géométrique par l'utilisation des méthodes proposées notamment les méthodes polynomiales sont recommandées.

Dans notre cas, l'image référence est la plus récente soit celle de 2013. Cette dernière a été contrôlée et géoréférencée (recalée) à partir des données topographiques au 1/25 000 géoréférencées et un réseau de points (60 points) de contrôle relevés sur terrain à l'aide d'un GPS.

Ces points sont visiblement détectables sur l'image et facilement repérables sur le terrain comme les intersections des routes et des pistes (Maurel, 2002).

Une fois la qualité de la correction géométrique de l'image référence (2013) est parfaitement acceptable (RMSE inférieur à 0,5), le reste de la série temporelles (images de 1984, et 2001) ont été également géoréférencées mais en appliquant la méthode *image to image* par l'utilisation de la méthode polynomiale de deuxième degré.

L'appréciation des corrections géométriques a été effectuée visuellement par la superposition des images et en se basant sur la valeur de l'erreur standard RMSE (*Root Mean Square erreur*). Selon Bancarel, (2002) et Jansen, (2001) pour une bonne correction géométrique des images la valeur RMSE ne doit pas dépasser la valeur 0,5 pixel.

La projection retenue durant la réalisation de cette étude est celle de WGS 84 zone 31 Nord.

1.4.3 Normalisation radiométrique

L'utilisation des données de télédétection pour le suivi des changements dans l'occupation des sols exige que la variation spectrale due aux variables bidimensionnelles (conditions atmosphériques et d'éclairement) soit très minimales. Le maximum de cette variabilité doit être provoqué uniquement par les changements de l'occupation du sol quelque soit leurs natures. La correction atmosphérique n'a pas été réalisée vu l'indisponibilité des données climatiques au moment de la prise des images spatiales. En revanche, une normalisation radiométrique a été réalisée sur les images (I-1984 et I-2001) pour ramener l'ensemble de la radiométrie au même référentiel (image référence de 2013).

Pour avoir des meilleurs résultats de normalisation radiométrique, la méthode de légalisation des histogrammes (*Histogram Matching*) des données multispectrales a été utilisée. Ceci permis de créer des tables de conversion (*Look Up table*) de la radiométrie pour l'ensemble des données multispectrales des images à corriger. Cette procédure reste une étape primordiale pour toutes les études de détection des changements (Hall et al., 1991 ; Jensen, 2004).

La difficulté principale de cette méthode de normalisation radiométrique réside dans la détermination des zones ou les cibles sont radiométriquement plus stable que possible (zone pseudo- invariants exemple : 1 - artificiel : Toiture de maison, infrastructure, route, 2 – Naturelle : plan d'eau) (Schott et al., 1988 ; Bruce et Hilbert, 2006).

2. Traitements proprement dits.

2.1. Etude statistique et composition RGB

L'étude statistique sur les données de télédétection est considérée comme une phase importante. Elle pourra donner une idée sur la dynamique et la fréquence des données multispectrale par ces valeurs : Min, Max, écart-type, Moyenne et coefficient de corrélation. Ces derniers seront utilisés pour la justification du choix de la transformation ACP en cas de redondance des données de télédétection. Elles pourront aussi servir au choix des bandes MS pour la composition en fausse couleur (RGB) au moment des travaux de photo-interprétations pour la sélection des zones d'internement de qualité pour la classification dirigée des images. La sélection de trois bandes pour une image en composite couleur (R-G-B) est une tâche fastidieuse, car de nombreuses combinaisons doivent être essayées lorsqu'on travaille avec des images de 6 bandes (pour le cas du capteur TM) (Qaid et Basavarajappa, 2008). A titre d'exemple pour les 6 bandes TM Landsat on a une combinaison égale à 20 et ceci par l'application de la formule suivante :

$$N_3 = N! / 3! (N-3)! ; \text{ Dont : } N = \text{nombre de bande } 6.$$

En revanche, la technique Optimum index factor (OIF) (voir formule) développé par Chavez et al., (1982) et Chavez et al., (1984), simplifie la sélection des trois bandes les plus informatives par l'évaluation quantitative des statistiques de la scène ce qui permet d'éviter un grand temps nécessaire au processus de l'analyse visuelle d'un grand nombre de combinaisons R-G-B potentielles.

$$\text{OIF (ijk)} = \frac{\delta_i + \delta_j + \delta_k}{|\text{cor } ij| + |\text{cor } ik| + |\text{cor } jk|}$$

Dans notre cas, nous nous limitons à la documentation au choix final retenu pour la composition en fausse couleur.

2.2. Création de masque

Le masque consiste à cacher une partie de l'image, qui n'a aucun intérêt et qui pourra influencer sur les résultats des traitements et à conserver intacte l'autre partie (Girard et Girard, 1999 ; Dumouchel, 2003). Nos images ont subi un masque géométrique pour limiter la zone d'étude. L'objectif de cette application est de construire un masque unique utilisé tout au long du travail afin de cacher la partie au-delà de la zone d'étude. On attribue une valeur « 0 » aux pixels à l'extérieur de la zone d'étude et la valeur « 1 » aux pixels situés à l'intérieur de la zone en question.

2.3. Indices de végétation (IV)

Dans les milieux semi-arides et arides, le suivi de la dynamique de la végétation diffuse constitue un indicateur régional des processus d'érosion hydrique et de désertification.

Si nous considérons l'occupation du sol, la dégradation des sols augmente lorsque le sol n'a qu'un faible couvert végétal. Celui-ci peut être quantifié à partir des images de télédétection, soit par modalisation inverse en exploitant des modèles de transfert radiatif, soit en utilisant des indices de végétation (Bannari et al., 1995a). Ces derniers sont relativement corrélés avec les taux de couverture végétale et la biomasse verte au sol (Rondeaux et al., 1996).

Dans cette étude, L'indice de végétation *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) proposé par (Rouse et al., 1974) a été créé pour l'ensemble des images en utilisant les données multispectrale TM 4 et 5.

Pour l'image (2013) le NDVI a été généré à partir des données OL 4 et L5.

2.4. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en ACP est une transformation mathématique basée sur l'analyse de la covariance de l'image ou de la matrice de corrélation de plusieurs bandes spectrales (Caloz et Collet, 2001). C'est une technique qui permet de réorganiser les données de manière qu'elles ne soient plus corrélées et en maximisant le rapport signal/bruit (Schowengerdt, 1997). Lorsqu'elle est appliquée à des données à N-dimensions, elle concentre la quasi-totalité d'information (90 %) dans les deux ou trois premières composantes (Richards, 1999). Ainsi, la première composante contient les informations relatives à la variance maximale, la deuxième contient les informations relatives à la variance suivante, etc. Le processus est interactif jusqu'à l'obtention de la Ne et dernière composante (Jensen, 1986). Évidemment, lors de l'exploitation des données multispectrales comme celles issues de capteurs Landsat, les trois premières composantes sont les plus utiles et informatives (Richards, 1999). Selon Rajaonarison et al. (2004), les trois premières CP ont permis

d'évaluer le degré d'influence des facteurs naturels (topographie, géologie, pédologie, occupation du sol, etc.) et anthropiques sur le phénomène d'érosion hydrique. Par ailleurs, d'autres travaux ont montré que les CP jouent un rôle primordial dans la dérivation de nouvelles informations relatives à la reconnaissance des zones dégradées (Floras et Sgouras, 1999 ; Soe et *al.*, 2008 ; Manal, 2007; Benchallal et *al.*, 2009 et Velmurugan et Carlos, 2009). Pour une finalité de cartographie d'occupation du sol et du couvert végétal, une combinaison entre les données ACP et NDVI sont recommandée. La classification des images ne sera pas appliquée sur les données brutes des données de télédétection mais sur des nouvelles images composées de trois bandes qui sont la CP1, CP2 et l'indice de végétation NDVI respectivement pour les bandes 1,2 et 3.

2.5. Classification dirigée

Nous avons opté pour la cartographie de l'occupation du sol et l'évaluation des changements à la méthode de classification dirigée. Ceci a été imposé par la disponibilité des données de terrain et la connaissance des classes thématiques rencontrées sur terrain. La plupart des logiciels de traitements des données de télédétection, notamment le ENVI, offrent plusieurs algorithmes de classification dirigée par exemple :

- Classification selon la distance minimale (Minimum Distance) ;
- Classification selon la distance de Mahalanobis (*Mahalanobis Distance*),
- le maximum de vraisemblance (*Maximum Likelihood*),
- Classification parallélépipédique (*Parallelepiped*),
- *Spectral Angle Mapper* (SAM)
- le codage binaire (*Binary Encoding*).

Ces algorithmes sont tous conçus pour comparer statistiquement les caractéristiques de chacune des classes avec les pixels inconnus dans l'espace géométrique. Dans notre cas, la méthode de classification par le maximum de vraisemblance en raison de sa disponibilité, sa robustesse, ses bases théoriques solides et sa précision élevées pour un large éventail d'applications de la télédétection (Bolstad et Lillestad, 1991 ; Zhou et Robson, 2001 ; Brown de Colstoun et *al.*, 2003 ; Dean et Smith, 2003 ; Pal et Mather, 2003).

Puisque nous avons choisi la méthode de comparaison post-classification, nous avons établi les changements selon les matrices « From – To ». Ces tableaux seront représentés en superficie de changement vers les classes de changement d'une image à une autre. Les résultats de la situation où il n'y a pas de changement sont représentés par la diagonale de la matrice de changement.

3. Logiciel utilisé

3.1. ENVI 7.1 (*Environment for Visualising Image*)

Dans notre étude, nous avons opté pour l'utilisation du logiciel ENVI 7.1 pour son efficacité dans la visualisation, le traitement et l'analyse des images satellitaires, sa facilité d'utilisation et ses différentes interactivités possibles qu'il offre. C'est un logiciel performant qui permet de corriger, de traiter et d'analyser les images satellitaires ayant des tailles et des formats différents.

Le logiciel « ENVI » propose une grande gamme d'outils d'analyse d'image multi-spectrales et hyperspectrales qui forme la source des données de télédétection la plus fiable pour la caractérisation des milieux naturels notamment le couvert forestier ainsi que l'utilisation des terres. Selon Boussouar, (2004) on peut résumer les avantages de ce logiciel dans les points suivants :

- L'exploration de différents types d'images : satellites, radar ou photographie arienne, cartes topographiques. Soit une large gamme de formats d'images: SPOT, IKONOS, LANDSAT, MODIS, ASTER, AIRSAR, ERS, SEAWIFS, ENVISAT, SPOT végétation, HDF-EOS, RADARSAT, topsar, Airsar, E-SAR, GEOTIFF, AVRIS, CASI, ALSat;
- L'ouverture des formats vecteurs les plus connus : ArcView, Shapefile, Table de MapInfo, Micro station DGN, AutoCad;
- Gestion de couches vectrices et interrogation des attributs;
- Prétraitements : géométrie, radiométrie, mosaïque ;
- Analyse statistique des données de télédétection ;
- Traitements des images : transformation (ACP, Tasseled Cap, indices spectraux, Fusion des données..tec), filtrage, classification supervisée et non supervisées, Analyse post-classification ... etc.;
- Grace au langage IDL « *interactive data langage* » inclus dans ENVI, l'utilisateur peut rapidement créer ses propres algorithmes de traitement ou l'accès à de nouveaux formats d'images.
-

L'analyse des données de télédétection permet d'utiliser les réponses spectrales des pixels à des différentes résolutions radiométriques pour obtenir des informations spécifique.

En fin on peut résumer la démarche méthodologique adoptée dans l'organigramme si dessous.

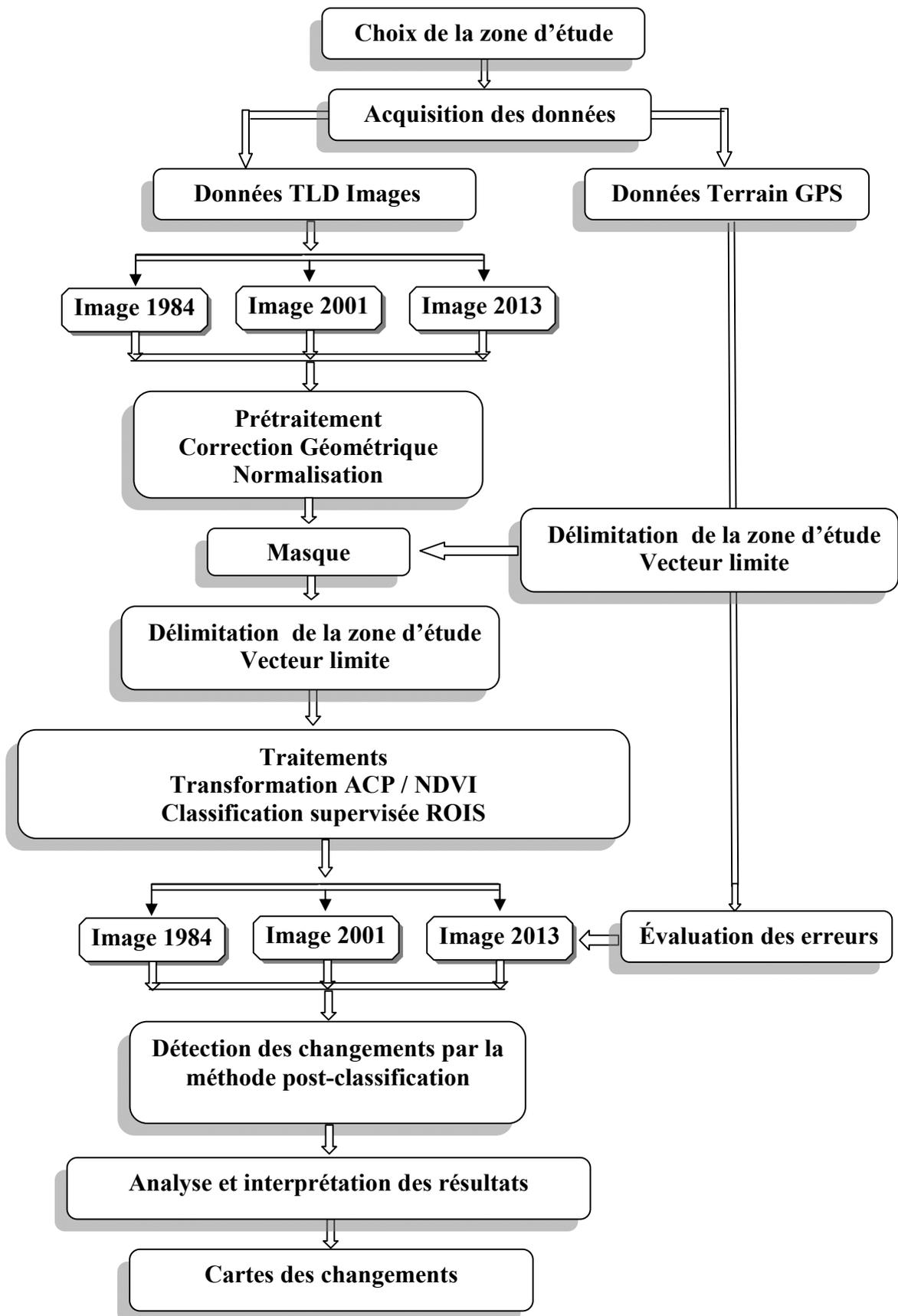


Figure 19 : Organigramme méthodologiques de différentes étapes de l'étude

Chapitre V
Résultats et Discussion

1. Résultats

1.1. Prétraitements

1.1.1. Correction géométrique

Comme ce traitement consiste à ramener deux ou plusieurs images dans un même référentiel spatial et comme il est destiné aussi bien à corriger les déformations systématiques dues à la prise de vue qu'à rendre les images superposables, nous avons lancé une correction géométrique à l'aide de la fonction sélection GCPS : image to image du logiciel ENVI 4.7, en utilisant la méthode polynomiale, qui consiste à sélectionner des points d'appui qui vont être répartis sur toute la scène de l'image à rectifier. Pour cette ortho-rectification, nous avons sélectionné 60 points amers sur l'image de l'année 2013 (figure 20). Afin d'estimer la précision de la correction géométrique, nous nous sommes appuyés sur l'analyse des erreurs résiduelles (RMS) entre les valeurs obtenues à partir des images 1984, 2001 et 2013 et les valeurs réelles de l'image de référence (image 2013).

Dans notre étude l'erreur moyenne résiduelle calculée est de l'ordre de 0,30 pour l'ensemble des images. Cette erreur est inférieure au pixel ce qui nous conforte sur la qualité de la rectification géométrique appliquée, l'erreur est suffisamment faible ce qui permet de d'assurer une bonne correction géométrique, les pixels avec les mêmes coordonnées correspondront bien au même site, d'une image à l'autre. En effet, Townshend *et al.*, (1992) estiment que l'erreur résiduelle dans les zones semi-arides à végétation éparse doit être inférieure à 0,5 pour que la correction géométrique soit acceptable.

1.1.2. Normalisation radiométrique

En l'absence de station d'acquisition des propriétés optiques de l'atmosphère, beaucoup de méthodes déterministes de correction radiométrique ne sont pas opérationnelles (Seguis et Puech, 1997). Nous avons eu recours à la normalisation radiométrique relative, préconisée par plusieurs auteurs (Andersant *et al.*, 1976 ; Bennari, 1996 ; Gong et Xu, 2003) qui n'exige pas de données atmosphériques et qui tend à minimiser les effets de changement des conditions atmosphériques et solaires, par rapport à une image de référence.

Nous avons effectué cette étape d'égalisation des histogrammes par la réalisation de l'algorithme « Match ». Le match a permis de produire des tables de conversion « *Look Up Table 'LUT'* » avec les quelles on a produit des nouvelles données MS normalisées par rapport à l'image référence (figure 20).

La vérification de la qualité de cette opération a été effectuée bande par bande pour toute la série temporelle. Un simple affichage des résultats de la normalisation sans aucun rehaussement a été décisif pour la rétention de la qualité de la normalisation radiométrique.

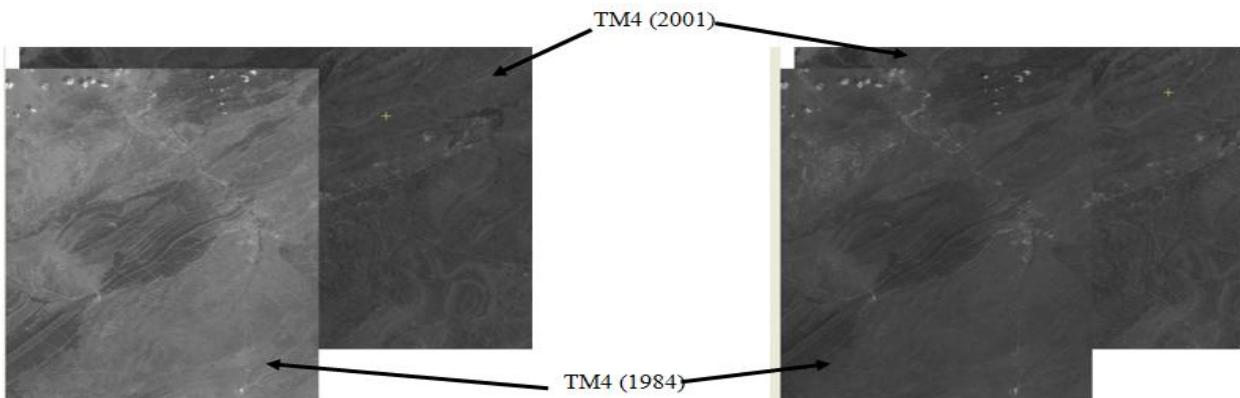


Figure 20 : Exemple de normalisation radiométrique par l'utilisation de l'histogramme « Matching ».

1.1.3. Création de masque

Le masque consiste à cacher une partie de l'image, qui n'a aucun intérêt et qui pourra influencer sur les résultats des traitements et à conserver intacte l'autre partie (Girard et Girard, 1999 ; Dumouchel, 2003). Nos images ont subi un masque géométrique pour limiter la zone d'étude. Notre masque a été appliqué sur les trois images (1984, 2001 et 2013) grâce à un fichier vectoriel sous format *.evf qui correspond à la délimitation de notre zone d'étude. L'objectif de cette application est de construire un masque unique utilisé tout au long du travail afin de cacher la partie au-delà de la zone d'étude. On attribue une valeur « 0 » aux pixels à l'extérieur de la zone d'étude et la valeur « 1 » aux pixels situés à l'intérieur de la zone en question. L'application de ce masque nous a permis de réduire la taille de la scène de 8010 x 7101 pixels à 2000 x 2166 pixels.

1. 2. Traitements des données de télédétection

1. 2.1. Compositions colorées

Pour une finalité de photo-interprétation de l'analyse spatiale (choix des zones d'entraînements, identification des zones de changements *Vs* zones stables), la composition colorée est identifiée par l'utilisation de trois bandes multi-spectrales en utilisant les couleurs bleue, verte et rouge (soit la composition en fausses couleurs RGB). Par exemple, une composition TM 4, 2, 1 permet d'attribuer la couleur rouge (R) au canal 4, la couleur verte (G) au canal 2 et la couleur bleue (B) au canal 1.

Le résultat est une image trichromie en fausses couleurs. L'analyse de la trichromie 4, 2,1 de la zone d'étude permet de discriminer la variabilité spatiale des composantes sol-végétation.

Les compositions colorées et l'étirement des contrastes (amélioration visuelle) constituent la première étape avant les traitements sur les images (Bonn et Rochon, 1992 ; Robin, 1995 ; Girard et Girard, 1999) ; elles permettent de définir différents types de surfaces, similaires sur les trois images. L'*Optimum index factor* (OIF) développé par Chavez et al., (1982) et Chavez et al., (1984), a permis de retenir la composition RGB 7, 4, 2 comme la composition la plus informative de l'ensemble des images utilisées. Cette composition nous a permis de mener efficacement les travaux de photo-interprétations pour le choix des thèmes et les zones d'entraînements pour la classification supervisée.

1.2.2. Etude statistique sur les images utilisées

Les fonctionnalités d'étude statistique proposées par le logiciel ENVI ont permis d'obtenir une bonne description statistique des données de télédétection sous forme d'histogrammes et de tableaux faciles à exploiter. Dans notre cas, nous avons fait systématiquement l'étude statistique sur l'ensemble des images utilisées. Dans les sections suivantes nous allons présenter les résultats obtenus pour chaque image utilisée. Il faut noter que cette étude statistique a été menée après la réalisation de normalisation radiométrique des images. Un test de corrélation a été réalisé pour chaque image utilisée dans le but de voir le comportement (redondances des données) des données multi-spectrales.

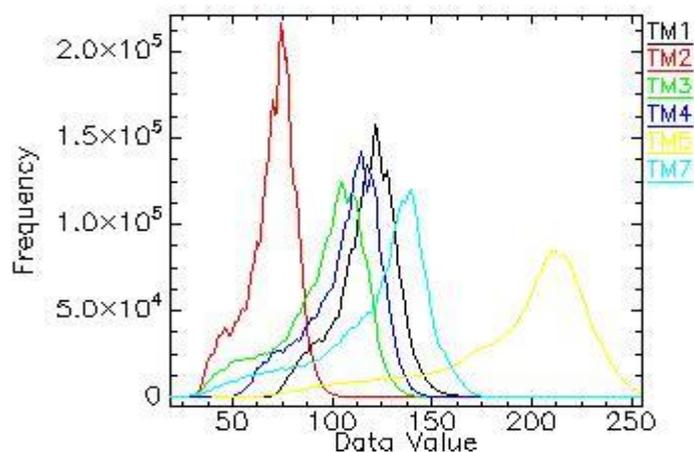
1.2.2.1. Analyse statistique de l'image TM 1984

L'analyse de l'histogramme des bandes de l'image 1984 (figure 21) est consignée dans le tableau 22. Les valeurs maximales de la réflectance varient de 186 à 255, tandis que les valeurs minimales oscillent entre 26 et 65. La valeur moyenne varie entre 69,11 et 192,13 avec un écart type respectif de 12,42 et 37,49.

Le test de corrélation (tableau 23) confirme la forte redondance entre les bandes multi-spectrales.

Tableau 23 : Résultats statistiques obtenus de l'image TM 1984 de la zone d'étude.

| Bande | Min | Max | Moyenne | Ecart type |
|----------------|-----|-----|---------|------------|
| Bande 1 | 65 | 255 | 117,23 | 15,48 |
| Bande 2 | 27 | 186 | 69,11 | 12,42 |
| Bande 3 | 26 | 232 | 95,00 | 21,26 |
| Bande 4 | 26 | 222 | 106,14 | 17,94 |
| Bande 5 | 40 | 255 | 192,12 | 37,49 |
| Bande 7 | 19 | 255 | 121,12 | 27,71 |

**Figure 21 : Histogramme de l'image satellitaire 1984 de la zone d'étude.****Tableau 24 : Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image TM 1984.**

| Corrélation | Bande 1 | Bande 2 | Bande 3 | Bande 4 | Bande 5 | Bande 7 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Bande 1 | 1 | | | | | |
| Bande 2 | 0,98 | 1 | | | | |
| Bande 3 | 0,94 | 0,98 | 1 | | | |
| Bande 4 | 0,89 | 0,94 | 0,95 | 1 | | |
| Bande 5 | 0,89 | 0,94 | 0,96 | 0,95 | 1 | |
| Bande 7 | 0,85 | 0,91 | 0,95 | 0,93 | 0,98 | 1 |

1.2.2.2. Analyse statistique de l'image TM 2001

Pour l'image 2001, l'histogramme des canaux (tableau 25 et figure 22) montre que les valeurs maximales de la réflectance varient entre 157 et 255 alors que celles des minimales sont nulles. La moyenne oscille entre $67,83 \pm 10,29$ et $116,74 \pm 25,48$.

Tableau 25 : Résultats statistiques de l'image TM 2001.

| Bande | Min | Max | Moyenne | Ecart type |
|----------------|-----|-----|---------|------------|
| Bande 1 | 0 | 157 | 67,82 | 10,29 |
| Bande 2 | 0 | 174 | 72,06 | 15,55 |
| Bande 3 | 0 | 237 | 98,17 | 26,20 |
| Bande 4 | 0 | 188 | 94,25 | 18,04 |
| Bande 5 | 0 | 255 | 116,73 | 25,48 |
| Bande 7 | 0 | 255 | 99,41 | 25,54 |

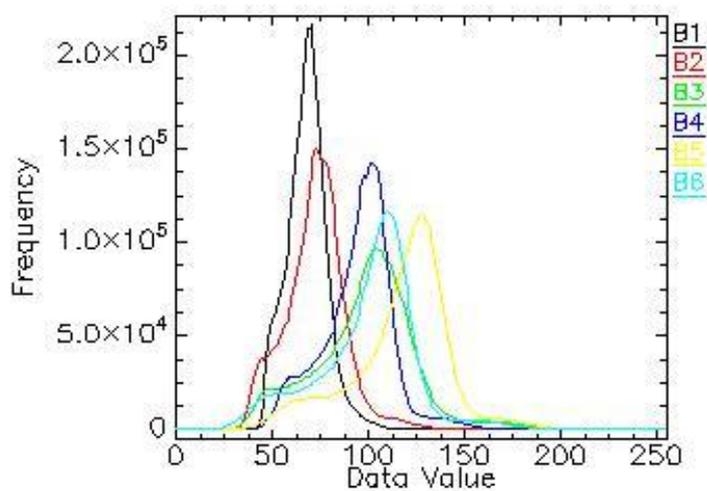


Figure 22 : Histogramme de l'image TM 2001 de la zone d'étude.

Le test de la corrélation entre les données multispétrales de l'image 2001 confirme la forte redondance entre les bandes multi-spectrales comme le montre le tableau 26.

Tableau 26 : Corrélation entre les données multispectrales de l'image TM 2001.

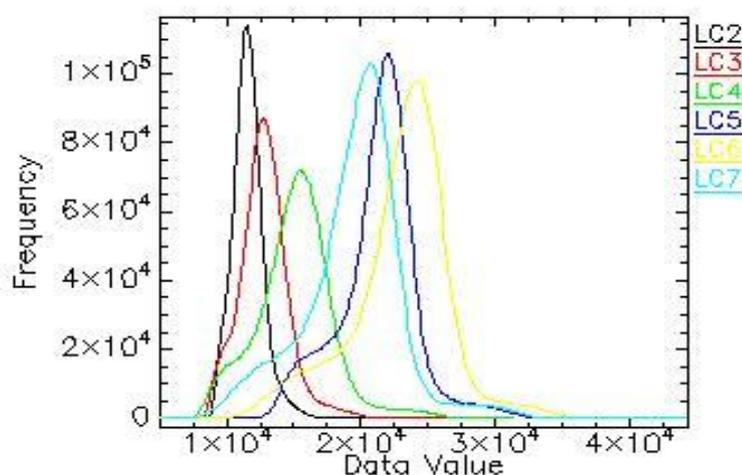
| Corrélation | Bande 1 | Bande 2 | Bande 3 | Bande 4 | Bande 5 | Bande 7 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Bande 1 | 1 | | | | | |
| Bande 2 | 0,98 | 1 | | | | |
| Bande 3 | 0,94 | 0,98 | 1 | | | |
| Bande 4 | 0,92 | 0,96 | 0,98 | 1 | | |
| Bande 5 | 0,89 | 0,94 | 0,97 | 0,96 | 1 | |
| Bande 7 | 0,86 | 0,92 | 0,96 | 0,94 | 0,98 | 1 |

1.2.2.3. Analyse statistique de l'image OLI 2013

D'après les résultats statistiques obtenus sur l'image de la zone d'étude du capteur L8 de 2013 (figure 23 et tableau 26), nous constatons que les valeurs maximales de la réflectance pour l'ensemble des bandes varient entre 23517 à 44383 et les valeurs minimales sont entre 5072 et 9378, alors que les moyennes oscillent entre $11602,33 \pm 1143,78$ et $22985,67 \pm 3725,70$.

Tableau 27 : Résultats statistiques obtenus de l'image OLI 2013.

| Bande | Min | Max | Moyenne | Ecart type |
|----------------|------|-------|-----------|------------|
| Bande 1 | 8551 | 25475 | 11602,331 | 1143,787 |
| Bande 2 | 7999 | 27656 | 12806,643 | 1812,419 |
| Bande 3 | 6980 | 31340 | 15111,520 | 2843,896 |
| Bande 4 | 5661 | 37365 | 21327,886 | 2942,210 |
| Bande 5 | 5072 | 43560 | 22985,669 | 3725,695 |
| Bande 7 | 5359 | 44383 | 19509,570 | 3636,397 |

**Figure 23 : Histogramme de l'image de la zone d'étude 2013**

L'analyse du tableau 28 de la corrélation entre les données multispectrales de l'image 2013 confirme la forte redondance entre les bandes multi-spectrales.

Tableau 28: Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image 2013.

| Corrélation | OLI 2 | OLI 3 | OLI 4 | OLI 5 | OLI 6 | OLI 7 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| OLI 2 | 1 | | | | | |
| OLI 3 | 0,986 | 1 | | | | |
| OLI 4 | 0,956 | 0,986 | 1 | | | |
| OLI 5 | 0,826 | 0,880 | 0,890 | 1 | | |
| OLI 6 | 0,891 | 0,932 | 0,964 | 0,897 | 1 | |
| OLI 7 | 0,882 | 0,926 | 0,966 | 0,864 | 0,987 | 1 |

1.2.3. Résultats des transformations des données de télédétection

1.2.3.1. Transformation ACP

L'étude des corrélations des données de télédétection confirme avec certitude la forte corrélation entre les données multi-spectrales pour l'ensemble de la série temporelle utilisée. A travers la transformation des bandes multi-spectrales en composante principale, nous constatons que la majorité de l'information est révélée par les trois premiers axes de l'ACP (plus de 99 % de l'information totale) pour l'ensemble des images (tableau 29).

Tableau 29 : Analyse en composantes principales des images satellitaires utilisées.

| Corrélation | TM 1984 | TM 2001 | L8 (2013) |
|---|--------------|--------------|--------------|
| ACP 1 | 95,75 | 96,11 | 94,15 |
| ACP 2 | 2,93 | 2,01 | 3,15 |
| ACP 3 | 0,67 | 1,45 | 2,24 |
| S/total 1 (ACP1 + ACP2 + ACP 3) | 99,34 | 99,57 | 99,54 |
| ACP 4 | 0,50 | 0,26 | 0,29 |
| ACP 5 | 0,13 | 0,14 | 0,14 |
| ACP 6 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| S/ total 2 (ACP 4 + ACP5 + ACP6) | 0,65 | 0,43 | 0,46 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Quelle que soit l'image, les résultats de l'analyse en composante principale montrent que les trois premiers axes de l'ACP expliquaient l'essentiel de la variance des bandes informatives. On voit clairement que pour les trois images l'axe 1 est le plus pertinent car il porte le maximum d'information (plus de 94%), si on garde les deux premiers axes ACP1 et ACP2, on conserve à peu près toute l'information ($94,15\% + 3,15\% = 97,30\%$ pour l'année 2013 et $97,68\%$ pour l'image 1984), et $98,12$ pour l'image de l'année 2001. Les compositions en fausse couleur ont permis de visualiser la zone d'étude en utilisant les données (ACP3, ACP2 et ACP1) respectivement dans les canaux R, G, B. (voir résultats de la composition en fausse couleur des trois premières ACP pour les images utilisées (figure 24)).

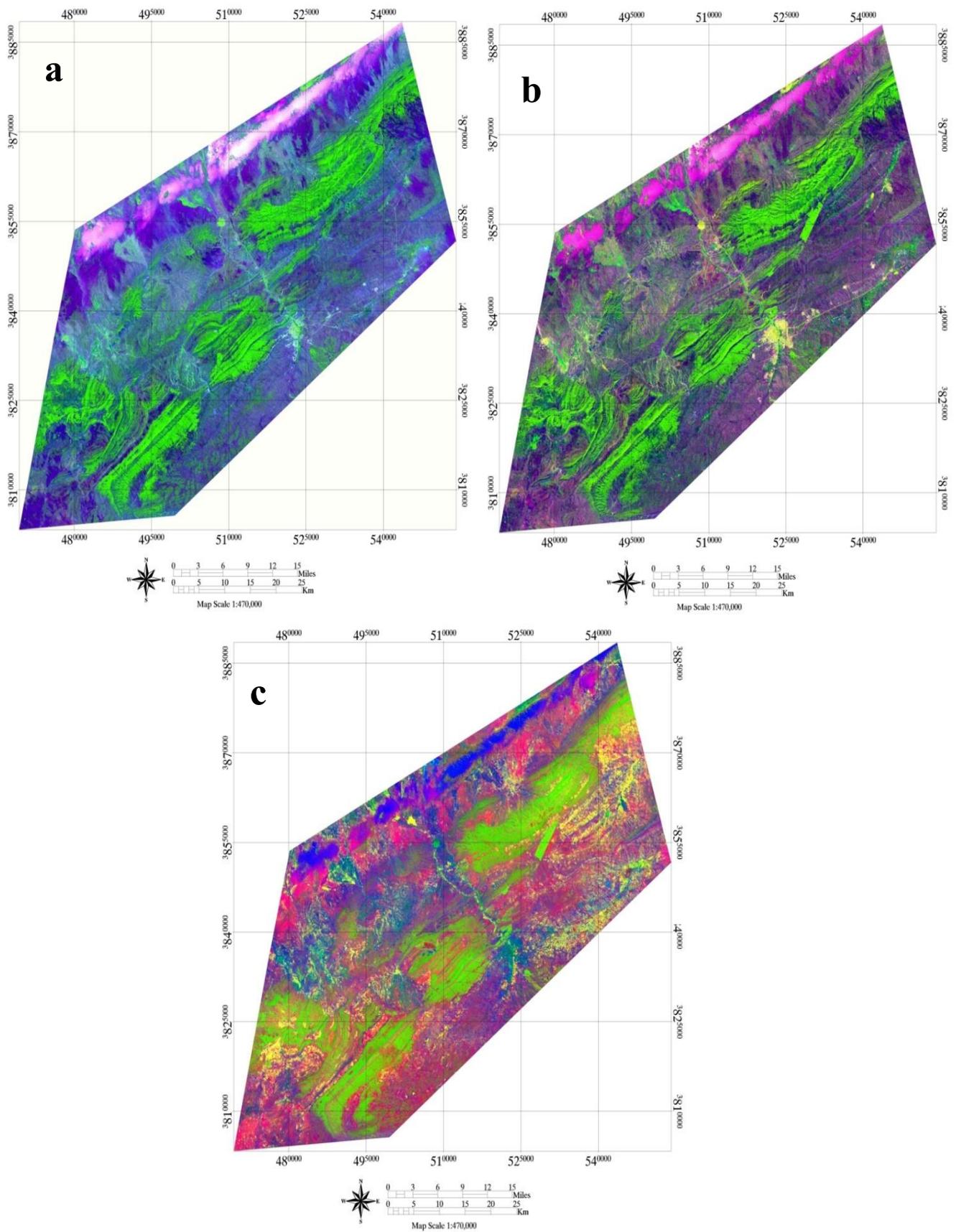


Figure 24 : Résultats de la composition en fausse couleur des trois premières ACP pour les images utilisées a, b et c respectivement pour les images de 1984, 2001 et 2013.

La transformation en composition principale a permis est de réunir, dans trois canaux, la très forte majorité des informations. Souvent, la dernière composante ne possède que très peu d'informations sur le territoire (Desjardins, 2000). Dans notre cas on remarque que cette dernière contient les valeurs d'information les plus faibles à savoir 0,02, 0,03 et 0,03 respectivement pour les images 1984, 2001 et 2013.

En résumé, l'utilisation de L'ACP réduit le bruit de l'image et crée une image sur laquelle chaque bande est peu corrélée aux autres et contient des informations uniques (Jensen, 1996; Caloz et Collet, 2001). Pour un projet de classification. Il parait plus pertinent de combiner les bandes ACP à une bande NDVI. Cette dernière, réduit les effets d'éclairement ou de perte sur la réflectance des couverts végétaux et permet de mieux séparer la végétation (forêts, cultures) des sols nus et des surfaces urbanisées (Bonn et Rochon, 1996).

1.2.3.2. Transformation NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*)

Plusieurs chercheurs ont utilisé cet indice pour la caractérisation et le suivi de la dégradation la végétation dans les milieux semi-aride similaire à notre zone d'étude (Vocani et al., 2005 ; Mouissa, 2014), Nous avons calculé l'NDVI des images par l'utilisation du transformateur NDVI du logiciel ENVI. Trois images (Trois fichiers) d'NDVI ont été produites pour les images dont les années d'acquisition sont : 1984, 2001 et 2013 (figure 26). Le résultat de l'NDVI rend compte de la densité du couvert végétal de la zone d'étude par des valeurs élevées de l'indice (tons gris clairs) et, à l'opposé, le sol nu par des valeurs quasi nulles (tons noirs),

1.2.3.3. Analyse des images NDVI

L'étude statistique sur les images NDVI nous a permis d'établir le tableau 30. A titre d'exemple, la valeur minimale de NDVI est de - 0,231 et la valeur maximale est de 0,668 enregistrées durant l'année 2001 tandis que la valeur moyenne est de 0,110 enregistrée durant l'année 2013 avec un écart type de 0,045. Pour une bonne exploitation de l'information spatiale des données NDVI, nous avons effectué une classification par tranche de densité (*Density Slice*) en se référant au graduant appliquée en zone semi-aride des valeurs NDVI décrite par Vocani et al, (2005). Cette échelle de valeur exprimée en couleur est bien adaptée pour la visualisation de l'NDVI, Elle s'étale du vert sombre jusqu'au rouge vif. La végétation saine et dense procure des valeurs élevées en NDVI dont la couleur est le vert foncé, Les faibles valeurs d'NDVI représentent une faible activité chlorophyllienne et/ ou une dégradation du couvert végétal, Celle-ci se manifeste par une couleur verte sombre ou rouge vif (tableau 31 et figure 25).

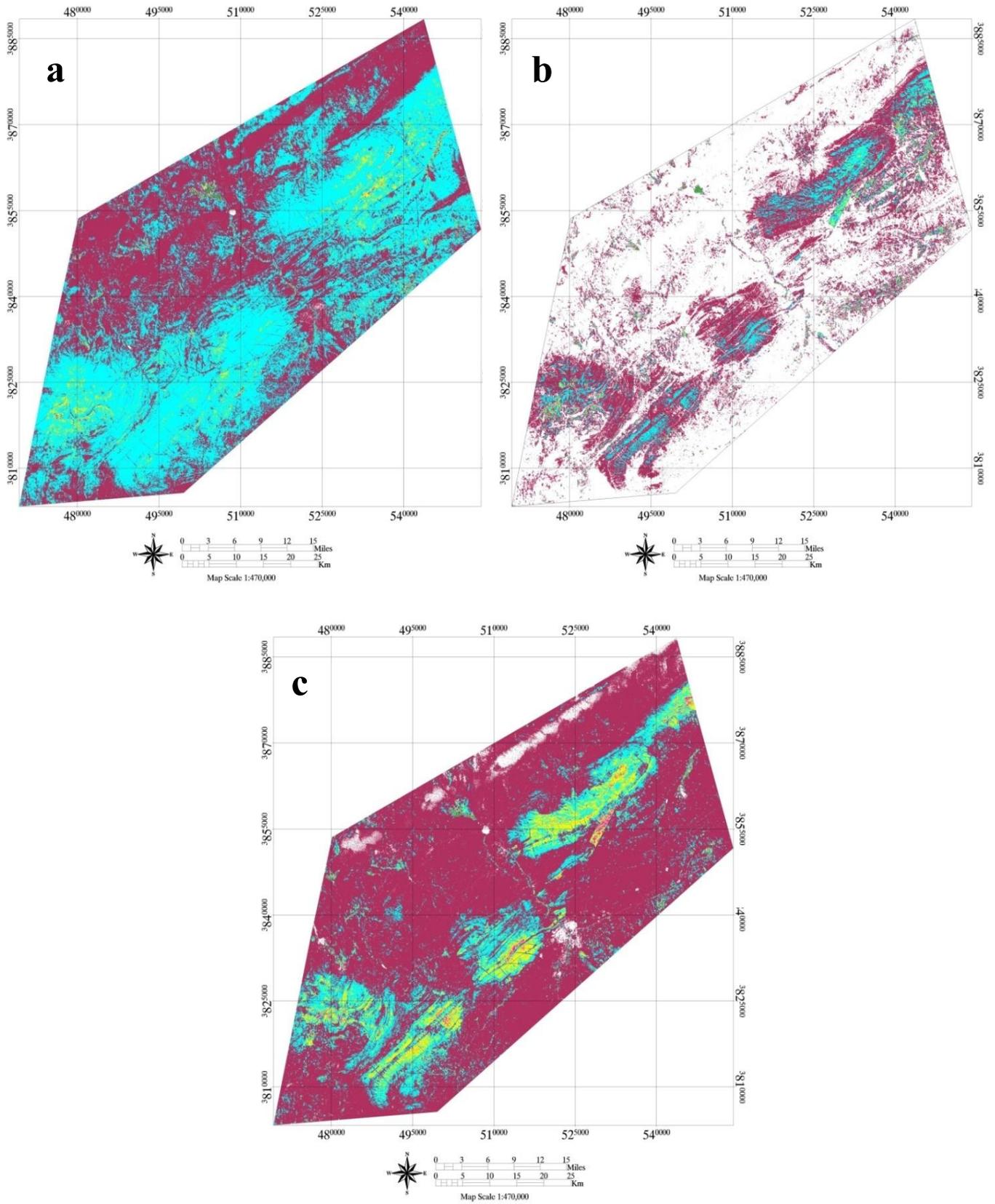
Tableau 30 : Statistique de l'NDVI des images de la zone d'étude.

| | Min | Max | Moyenne | Ecart type |
|-------------------------|--------|-------|---------|------------|
| NDVI _{TM 1984} | -0,325 | 0,643 | 0,06 | 0,056 |
| NDVI _{TM 2001} | -0,231 | 0,668 | 0,01 | 0,066 |
| NDVI _{TM 2013} | -0,351 | 0,615 | 0,11 | 0,045 |

Tableau 31: Classification de tranche de densité des valeurs de l'NDVI (*Density Slice*).

| Classe | Tranche | NDVI _{TM 1984} | NDVI _{TM 2001} | NDVI _{TM 2013} |
|--------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | -1 au 0 | 1,24891 | 65,55698 | 0,10513 |
| 2 | 0 - 0,1 | 77,33024 | 27,26398 | 45,21402 |
| 3 | 0,1- 0,2 | 17,39939 | 6,17759 | 51,58227 |
| 4 | 0,2 - 0,3 | 3,81886 | 0,73985 | 2,64229 |
| 5 | 0,3 - 0,4 | 0,17423 | 0,17406 | 0,29822 |
| 6 | 0,4 - 0,5 | 0,02447 | 0,06132 | 0,12016 |
| 7 | 0,5- 0,6 | 0,00367 | 0,02207 | 0,03786 |
| 8 | 0,6 - 0,7 | 0,00023 | 0,00415 | 0,00004 |
| 9 | 0,7 - 0,8 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 10 | 0,8 - 1 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |

L'application de la classification de la tranche de densité sur le produit de l'NDVI, nous a donné le produit suivant :



**Figure 25 : Indice de végétation des images utilisées.
a, b et c respectivement pour les images de 1984, 2001 et 2013.**

L'exploitation de l'indice de végétation nous a permis de tirer les remarques suivantes :

- de très fortes valeurs de NDVI pour des surfaces localisées dans des dépressions et des lits d'oueds qui sont liées à une activité chlorophyllienne élevée, cela indique un recouvrement végétal jeune ou une densité élevée correspondante aux jeunes plantations, aux grandes cultures et aux cultures maraichères ;
- des valeurs fortes au centre de notre zone d'étude ce qui suppose un recouvrement végétal dense correspondant à la forêt de Senelba chergui ;
- des valeurs de NDVI moyennes pour des sols à recouvrement végétal moyen et qui correspondent aux terrains des parcours steppiques à base des graminées ;
- des valeurs de NDVI faibles pour des zones dénudées à comportement désertique qui se trouvent généralement dégradées notamment, au niveau du cordon dunaire, la partie sud de notre zone d'étude et dans les régions où le surpâturage est très marqué surtout à la proximité de la forêt de Senelba Chergui ;
- la moyenne de NDVI de l'année 2013 montre un degré de végétation très élevé et nettement supérieur aux autres NDVI, il est presque une fois et demi soit 155% à 167%) supérieur à celui de l'année 1984, pour celui de l'année 2001 il est presque nul soit 11 fois inférieur à celui de l'année 2013 et six à sept fois inférieur à celui de l'année 1984.

Selon Girard et Girard (1999), lorsqu'une surface présente un indice de végétation élevé, cela indique généralement une surface dont la végétation est dense, active et de bonne santé et quand les valeurs sont plus faible (proche à -1), la végétation est systématiquement moins vigoureuse, Donc nous pouvons dire que le couvert végétal de l'année 2013 est plus vigoureux que l'année 1984.

Pour mettre ces résultats en valeur, nous les avons confrontés avec les données climatiques notamment les précipitations pour les dates d'études afin de trouver des éléments de réponse à la dynamique d'évolution spatio-temporelle de la végétation.

D'après le tableau des précipitations annuelles des années de l'étude voir annexe, nous remarquons que les précipitations du printemps de l'année 2013 sont les plus élevées par rapport aux deux autres années. Le cumule des précipitations du printemps de l'année 2013 est de 74,80mm qui est une fois et demi supérieur à celui de l'année 1984, où nous avons enregistré une quantité de 47mm qui est environ 859% supérieure à celle de l'année 2001, laquelle a enregistré une maigre quantité de 8,70mm, ce qui peut expliquer les valeurs élevées de le NDVI de l'année 2013 et les valeurs basses de l'année 2001.

L'hiver des régions steppiques est caractérisé par des températures très basses ce qui pourrait empêcher la germination des graines des annuelles, qui sont dominantes dans cette région, Même ceux qui ont germé en automne risquent de ne pas boucler leurs cycles de vie à cause du froid persistant et des gelées brusques. Le reste des graines germe vers la fin de l'automne, début du printemps où la température est ambiante. Ces dernières complètent leurs cycles végétatifs durant le printemps. Leur croissance et leur développement phénologique nécessitent l'humidité du sol qui est assurée principalement par les pluies. Pour cette raison, les précipitations du printemps constituent un facteur limitant et déterminant de la végétation dans les zones semi-aride à hiver froid. De nombreuses études ont mis en exergue ces relations (Rambal et Cornet, 1982 ; Nicholson et *al.*, 1990 ; Camberlin et *al.*, 2007 et Pierre et *al.*, 2011). Les précipitations annuelles demeurent ainsi la variable la plus discriminante, ce qui indique des bio-fonctionnements du sol très contrastés sur la zone d'étude. Le NDVI intervient également comme moyen d'aide à la classification d'une image lors du choix des zones d'échantillonnage. Il sera utilisé aussi dans la classification supervisée comme la troisième néo bande après les deux néo-bandes dérivées de l'ACP.

1.2.4. Photo-interprétation des images satellitaires et choix des zones d'entraînement

D'après Girard et Girard (1999), les zones d'entraînement appelées aussi zones d'apprentissage (*ROI*) nécessaires pour l'application des méthodes de classification assistée, doivent être choisies de telle sorte que leurs tailles doivent être suffisantes pour mieux caractériser statistiquement les unités qu'elles représentent. Il est très souvent nécessaire de prendre plusieurs polygones (plages) pour caractériser un noyau ou une zone d'apprentissage.

Ces zones d'apprentissage qui présentent des pixels de valeurs les plus homogènes possibles doivent avoir une distribution d'allure gaussienne, ce qui va influencer directement sur la qualité de la classification. Dans notre étude nous avons pris 150 zones d'apprentissage avec une taille de 30 pixels pour chacune. Ces choix d'échantillonnage concordent avec ceux de Mouissa (2013 et 2014), et influent positivement sur la qualité et permettent d'obtenir un résultat acceptable de la classification supervisée. Les scènes ont été donc étudiées sous forme d'images en compositions colorées combinant les trois canaux TM.

L'analyse de ces images s'est effectuée selon un triptyque de travail bureau-terrain-bureau :

- d'abord, une analyse globale des images couvrant l'ensemble du territoire étudié a abouti à une typologie des différentes unités rencontrées (groupements steppiques et sols nus); ensuite, la délimitation plus précise des unités de végétation dominées par une espèce végétale donnée, puis leur caractérisation sur le terrain, ont été effectuées ;

- enfin, une carte inventoriant ces différentes unités de végétation, phase indispensable pour notre problématique, a été élaborée en se basant entièrement sur l'analyse visuelle des images satellitaires ;

Cette analyse s'est effectuée selon les étapes successives suivantes :

- dans un premier temps, une "lecture globale" de l'image fournit le cadre de l'unité de paysage dans lequel le signal prend une signification biunivoque. Ce cadre permet également de passer à une recherche explicative de la répartition des différents types d'occupation du sol ;
- dans un deuxième temps, les zones isophènes (qui présentent le même aspect sur l'image) sont délimitées. Ce zonage, s'appuyant sur le repérage des discontinuités qu'elles soient spectrales ou texturales, a permis de tracer de proche en proche les frontières, Cette délimitation des zones homogènes s'est également basée sur des critères exogènes tels la morphologie du terrain, la situation géographique de la zone etc.
- Deux unités thématiquement différentes, peuvent présenter le même aspect sur l'image; Inversement deux unités, thématiquement identiques, peuvent se présenter différemment sur l'image (Mederbal, 1983). Toutefois la couleur a été une variable essentielle de décision de frontière: sur compositions colorées, le ton de couleur rend instantanément compte du type d'occupation de sol, Pour certaines unités qui présentent des mosaïques de paysage, le tracé des frontières s'est avéré parfois délicat ;
- Par la suite, après confrontation de l'interprétation-image avec les observations-terrain qui a débouché sur des clés d'interprétation, une généralisation de l'analyse-image a ainsi été établie. Cette généralisation a par conséquent abouti sur une typologie des principales unités permettant la réalisation de la carte de végétation ;
- Si la discrimination des sols nus (unité 4 et le cordon dunaire) s'est effectuée aisément, la cartographie des groupements végétaux a posé quelques problèmes car il a fallu distinguer les différentes unités de végétation. Cette difficulté a été en bonne partie surmontée par une stratégie d'échantillonnage bien raisonnée.
- La différenciation de chaque type s'est appuyée sur une description physionomique de la végétation où chaque unité recensée est caractérisée par une espèce dominante donnée. Cette unité a été dénommée "groupement steppique" (présence d'espèces végétales steppiques pérennes: graminées, chamaephytes etc,,). L'espèce végétale dominante est portée en tête de l'unité de végétation discriminée. Cette hétérogénéité, choisie de manière à traduire fidèlement la réalité-terrain, est représentée cartographiquement par l'utilisation d'une couleur précise ;

- Pour cela les couleurs, proches du système de “GAUSSEN”, traduisent les conditions écologiques du milieu ;
- La position relative des principales unités sur la carte de végétation ainsi que leur comparaison avec d'autres documents thématiques (hypsométrie, pente géologie et pluviométrie) permet d'appréhender les questions de déterminisme et écologique de l'écosystème steppique ;
- La position éco-géographique précise et claire des différentes unités de végétation autorise l'approche de leurs fonctionnements (Maniere, 1986).

Dans notre cas les classes thématiques fixées pour la cartographie de la végétation sont les suivantes :

1.2.4.1. Groupement à *Stipa tenacissima*

Ce groupement se localise dans des sites présentant des facteurs écologiques différents, d'une part, il est reparti sur les sommets, les versants et pentes abruptes de Senelba Chergui, il culmine entre 900 mètres à 1460 mètres d'altitude. Ces groupements, localisés sur les glaciers bien drainés de piedmonts, sont fortement marqués par un important cortège floristique de thérophytes très convoités par le cheptel. Une flore annuelle abondante et terrain accidentée et inaccessible expliquent le niveau de stabilité de ce groupement. D'autre part dans la partie sud et nord de la zone d'étude, qui se localisent dans la tranche altitudinale 900-1200 mètres, sont marqués par un cortège floristique très maigre convoités par le cheptel, Une flore annuelle faible et une bonne accessibilité expliquent le niveau de dégradation de ce groupement.

1.2.4.2. Groupement à *Artemisia herba alba*

Le groupement à *Artemisia herba alba* se localise dans la partie sud de la zone d'étude à une altitude de 1000 à 1200 mètres et le versant nord de Senelba chergui à une altitude de 900 à 1200 mètres. Ce groupement est situé dans les zones planes bénéficiant de l'eau de ruissellement, sur les glaciers aux piémonts des djebels.

1.2.4.3. Groupements psammophiles

Les groupements psammophiles sont localisés dans la partie nord à la proximité du cordon dunaire, qui est caractérisé par une tranche latitudinale 840-880 mètres et une pente inférieure à 6%. Ces groupements sont dominés par *Aristida pungens*, *Thymellaea microphylla*, *Tamarix ssp* et *Atriplex canescens*.

1.2.4.4. Groupement à halophytes

Le groupement à halophytes se localise dans la partie nord de notre zone, qui est caractérisée par une altitude qui varie entre 840 et 860 mètres, une humidité au champ et une salinité relativement élevées dus principalement à l'existence du Zahrez El Gherbi (sebkha). Ce groupement occupe une superficie d'environ 5259 hectares, et est dominé par des espèces halophytes à base d'*Atriplex halimus* et *salsola*

1.2.4.5. Groupement à *Lygeum spartum*

Dans la zone d'étude, le groupement à *Lygeum spartum* se localise dans la tranche altitudinale 880 à 900 mètres et dans les mêmes situations édaphiques que celles citées par Maniere (1987), Avec une superficie d'environ 1400 hectares, ce groupement colonise les dépressions, les Daias et les bordures des oueds. Les caractéristiques édaphiques, la géomorphologie, le type de ruissellement des eaux de surface, la salure, la charge anthropique déterminent la composition floristique des groupements à *Lygeum spartu*. Selon Pouget (1980), les Dayas et les oueds sont caractérisés par un certain nombre de phénomènes : Apport d'eau de ruissellement, apport de matériaux alluvio-colluviaux, sols à texture limono-sableuse marquée. Ces caractéristiques font que l'on assiste à la dominance d'espèces soit limonophiles (*Artemisia inculta*), halophiles (*Atriplex halimus*), rudérales (*Peganum harmala*, *Atractylis humilus*, *Noaea mucronata*), psammophiles (*Thymealea microphylla* et *Artemisia campestris*,. Ces groupements, très anthropisés, présentent un recouvrement généralement faible.

1.2.4.6. Massif forestier

La formation forestière (Forêts et reboisements) se développe sur la chaîne montagneuse de l'atlas Saharien au centre la zone d'étude avec un pourcentage d'occupation de 14,07% sur une superficie de 32319 ha.

1.2.4.7. Cordon dunaire

Suivant les travaux de Pouget (1980), dans le sud de Zahrez El Gharbi qui intègre notre zone d'étude, il existe un important cordon dunaire qui s'allonge dans une même direction, au long de la bordure nord de l'Atlas saharien et il couvre une superficie de 5900 hectares.

1.2.4.8. Culture

L'agriculture au niveau de notre zone d'étude, occupe les zones d'épandage (oueds et dayas), la grande partie de ces terres est orientée vers la céréaliculture, le reste est réservé à l'agriculture irriguée : Maraîchage et arboriculture.

Tableau 32 : Résultat des classifications des images (pixels).

| | 1984 | 2001 | 2013 |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Forêt | 1032224,21 | 923801,63 | 827591,66 |
| Alfa | 526492,41 | 455807,18 | 346603,70 |
| Armoise | 346181,47 | 320249,64 | 294109,58 |
| Lygeum | 230916,03 | 198081,18 | 177445,09 |
| Psamo | 124884,78 | 178529,67 | 122183,57 |
| Hallophytes | 160872,98 | 124111,72 | 61422,89 |
| Culture | 364762,11 | 495757,22 | 672179,25 |
| CorDun | 474085,38 | 381099,71 | 272609,69 |
| Sol Nu | 1462663,44 | 1619128,66 | 1870646,55 |
| Bâtis | 25454,67 | 51970,88 | 103729,43 |
| Total | 4748538,05 | 4748537,99 | 4748537,96 |

1.2.5. Classification supervisée et analyse des résultats

La classification supervisée effectuée, nous a fourni trois cartes d'occupation du sol, pour les années 1984, 2001 et 2013, ainsi des statistiques d'occupation pour chaque année. Ces cartes d'occupation du sol permettent d'identifier les composantes de l'espace étudié, de comparer l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol, et donc d'analyser la détection de changement, La classification et l'analyse des trois cartes d'occupation du sol de notre zone d'étude donnent les résultats suivants :

1.2.5.1. Occupation des sols pour l'année 1984

La lecture des statistiques du tableau 33 et la figure 26 qui illustrent les résultats des surfaces d'occupation du sol de l'image 1984 traduit les remarques suivantes :

Tableau 33 : Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 1984.

| Classes | Superficie ha | % |
|--------------------------|---------------|-------|
| Forêt | 83842,41 | 21,74 |
| Alfa | 42764,35 | 11,09 |
| Armoise | 28118,59 | 7,29 |
| Lygeum | 18756,15 | 4,86 |
| Psamo | 10143,77 | 2,63 |
| Hallophytes | 13066,91 | 3,39 |
| Culture | 29627,80 | 7,68 |
| CorDun | 38507,59 | 9,98 |
| Sol Nu | 118804,84 | 30,80 |
| Bâtis | 2067,56 | 0,54 |
| Superficie totale | 385700,00 | 100 |

La plus grande surface est occupée par entité en matière de superficie est occupée par le sol nu avec une étendu estimée à 118804,84 soit 30,80% de la totalité de la zone d'étude, répartie sur la totalité de notre zone d'étude à l'exception du centre du massif forestier.

La deuxième les parcours steppiques avec une surface totale de 112849,77ha, soit 29,25%. Réparti spatialement sur la totalité de notre zone d'étude et parfois sur les terrains limitrophes et inter-forêts, ils sont constitués principalement par cinq types de parcours, à savoir, parcours à *Stipa tenacissima* avec 37,89% par rapport à la totalité des parcours steppiques, parcours à *Artemisia herba alba* avec 24,92%, parcours à *Lygeum spartum* avec 16,62%, parcours à hallophytes avec 11,58% et les parcours psammophyles avec 8,99%,

Tableau 34 : Répartition spatiale des parcours steppique durant l'année 1984.

| Classes | Superficie ha | % |
|--------------------|---------------|-------|
| Alfa | 42764,35 | 37,89 |
| Armoise | 28118,59 | 24,92 |
| Lygeum | 18756,15 | 16,62 |
| Psamo | 10143,77 | 8,99 |
| Hallophytes | 13066,91 | 11,58 |
| Total | 112849,77 | 100 |

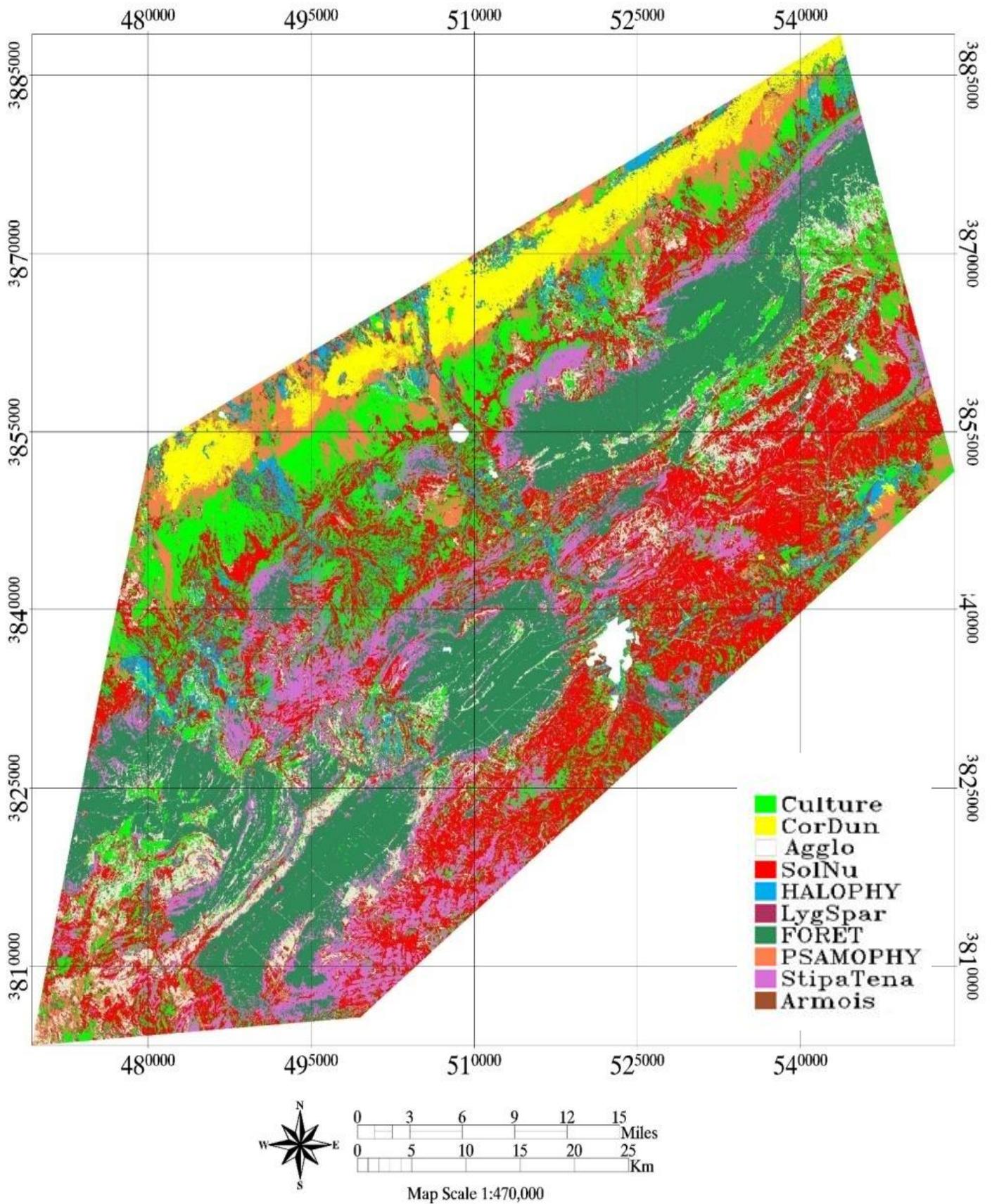


Figure 26: Classification image 1984 (ACP1, ACP2 NDVI).

La formation forestière (Forêts) occupe la troisième place en matière de surface, elle se développe sur la chaîne montagneuse de l'atlas Saharien au centre de la zone d'étude avec un pourcentage d'occupation de 21,74%, soit une superficie de 83842,41ha.

La culture occupe en totale une superficie de 29627,80 soit 7,68% et se localise principalement dans les dayas et les dépressions ainsi.

La partie Nord de la zone d'étude est caractérisée par une formation sableuse formant le cordon dunaire constitué principalement par des dunes et des voiles sableux avec une superficie de 38507,59ha soit un taux d'occupation de 9,98%.

Les agglomérations et infrastructure représentés principalement par la ville de Djelfa, Ain Maabed et Zaafrane et les routes avec une superficie restreinte évaluée à 2067,10ha soit 0,54%.

1.2.5.2. Occupation des sols pour l'année 2001

La situation des entités d'occupation du sol à une échelle globale de l'image 2001 est similaire à celle de l'année 1984, les différences essentielles de l'image 2001 résident dans la progression ou la régression des ces entités par rapport à l'image de 1984,

L'analyse des résultats de la classification de l'image 2001 présentés dans le tableau 35 et la figure 27, nous permet de dégager les remarques suivantes :

Tableau 35 : Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 2001.

| Classes | Superficie ha | % |
|--------------------------|---------------|-------|
| Forêt | 75035,79 | 19,45 |
| Alfa | 37022,94 | 9,60 |
| Armoise | 26012,28 | 9,74 |
| Lygeum | 16089,14 | 4,17 |
| Psamo | 14501,07 | 3,76 |
| Hallophytes | 10080,97 | 2,61 |
| Culture | 40267,88 | 10,44 |
| CorDun | 30954,82 | 8,03 |
| Sol Nu | 131513,73 | 34,10 |
| Bâtis | 4221,34 | 1,09 |
| Superficie totale | 385700,00 | 100 |

Cette fois ci le sol nu occupe la plus grande superficie de notre zone d'étude, sa superficie est estimée à 131513,73ha soit 34,10% par rapport à la surface totale étudiée. Suivi par les parcours steppiques avec un taux de 26,89% soit une superficie de 103706,41 ha. Ceux-ci sont dominés par les parcours à *Stipa tenacissima* avec 35,70%, succédé successivement par les parcours à armoise avec 25,08%, les parcours à *Lygeum* 15,51%, les parcours à Psamophyles avec 13,98% et les parcours à halophytes avec 9,72 (tableau 36).

Tableau 36 : Répartition des surfaces des parcours steppique durant l'année 2001.

| Classes | Superficie ha | % |
|--------------------|----------------------|----------|
| Alfa | 37022,94 | 35,70 |
| Armoise | 26012,28 | 25,08 |
| Lygeum | 16089,14 | 15,51 |
| Psamo | 14501,07 | 13,98 |
| Hallophytes | 10080,97 | 9,72 |
| Total | 103706,41 | 100 |

Les forêts occupent toujours la partie centrale de la zone d'étude sur la chaine montagneuse des monts d'Ouleds Nail avec une superficie de 75035,79ha soit 19,45% de la superficie totale de la zone d'étude, Succédée successivement par les cultures avec une superficie de 4267,88ha (soit 10,44%), le cordon dunaire avec une superficie de 30954,82ha (soit 8,03%) et en fin les bâtis et infrastructure occupe un taux de 1,09% soit une superficie de 4221,34ha.

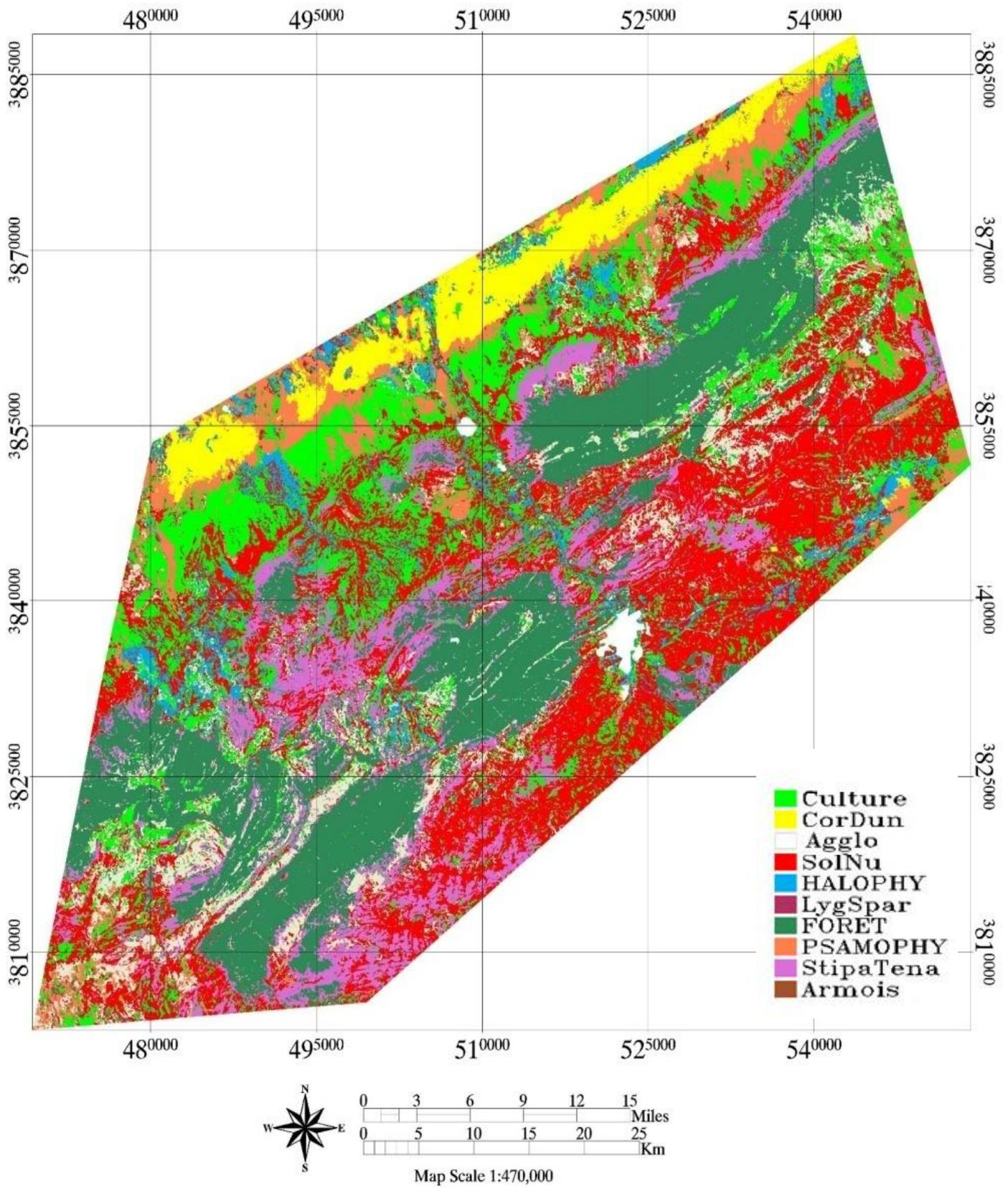


Figure 27 : Classification image 2001 (ACP1, ACP2 NDVI).

1. 2.5.3. Occupation des sols pour l'année 2013

L'analyse des résultats de la classification de l'image 2013 présentés dans le (tableau 37 et la figure 28), nous permet de dégager les constatations suivantes :

Tableau 37 : Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 2013.

| Classes | Superficie ha | % |
|--------------------------|------------------|------------|
| Forêt | 67221,13 | 17,43 |
| Alfa | 28152,89 | 7,30 |
| Armoise | 23889,05 | 6,19 |
| Lygeum | 14412,98 | 3,74 |
| Psamo | 9924,36 | 2,57 |
| Hallophytes | 4989,07 | 1,29 |
| Culture | 54597,76 | 14,16 |
| CorDun | 151943,27 | 39,39 |
| Sol Nu | 6722113 | 17,43 |
| Bâtis | 8425,42 | 2,18 |
| Superficie totale | 385700,00 | 100 |

Les sols nus occupent toujours la superficie la plus importante avec 151943,27ha soit 39,36%. Les parcours steppique viennent en deuxième position avec une étendue de 81368,35ha soit 21,10% toujours dominé par les parcours à *Stipa tenassicima* avec 34,60% puis les parcours à *Artemisia herba alba* 29,36%, les parcours à *Lygeum spartum* 17,71%, les psammophyles 12,20% et en fin les hallophytes avec 6,13% (tableau38).

Tableau 38 : Répartition des surfaces des parcours steppique durant l'année 2013.

| Classes | Superficie ha | % |
|--------------|-----------------|------------|
| Alfa | 28152,89 | 34,60 |
| Armoise | 23889,05 | 29,36 |
| Lygeum | 14412,98 | 17,71 |
| Psamo | 9924,36 | 12,20 |
| Hallophytes | 4989,07 | 6,13 |
| Total | 81368,35 | 100 |

Le massif forestier occupe une superficie de 67221,13ha soit 14,43% de la superficie totale, la culture avec une surface de 54597,7% soit l'équivalent de 14%16% et le cordon dunaire occupe avec une superficie de 222142,72ha soit 5,74%. Par contre les bâtis et infrastructure n'occupent que 2,1% soit une superficie de 8425,52ha

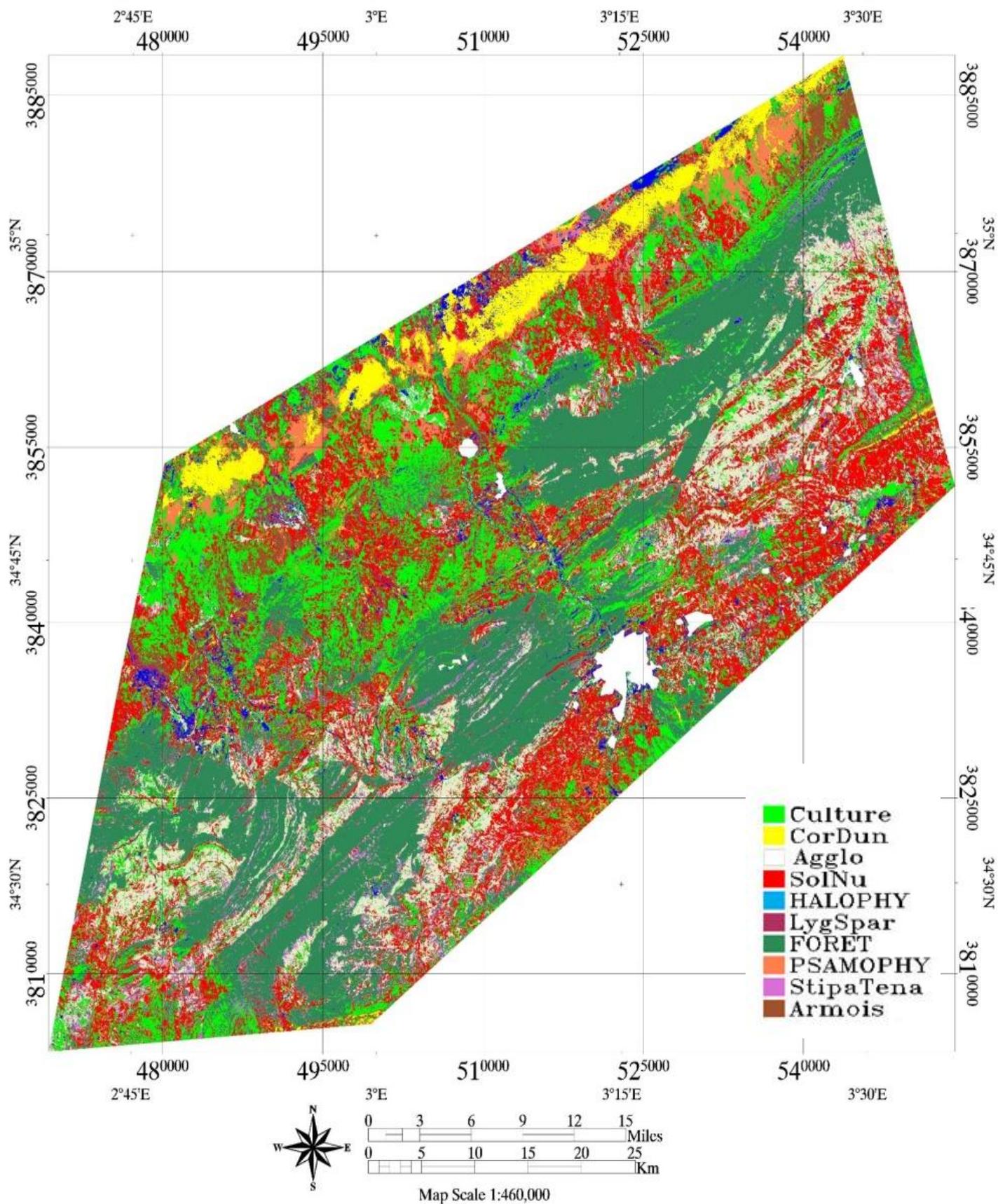


Figure 28 : Classification image 2013 (ACP1, ACP2 NDVI).

1. 2.6. Evaluation de la classification

L'évaluation de la précision de la classification est très importante pour comprendre les résultats obtenus et les utiliser pour la prise de décision (Lu et *al.*, 2004). Les éléments d'évaluation de la précision les plus courants sont la précision globale, la précision du producteur, la précision de l'utilisateur et le coefficient *Kappa* (κ). La littérature scientifique a fourni les significations et les méthodes de calcul pour ces éléments (Congalton et *al.* 1983, Hudson et Ramm 1987, Congalton 1991, Janssen et van der Wel 1994, Congalton et Green 1999, Congalton et Plourde 2002, Foody 2002).

Dans notre cas, chaque classification supervisée réalisée, la précision globale et le coefficient *Kappa* ont été calculés pour fournir une idée sur la qualité de la classification. L'utilisation de 200 points de référence pour la validation a permis l'obtention d'une précision globale de 71,50%, 78,50% et 83,08% respectivement pour les classifications des images TM de 1984, 2001 et 2013.

L'indice *Kappa* est de 0,6833, 0,7611 et 0,8121 respectivement pour les classifications des images TM de 1984, 2001 et 2013. Habituellement, on utilise le « barème » suivant pour interpréter la valeur κ obtenue :

| Valeur Kappa (κ) | Appréciation |
|---------------------------|---------------------|
| < 0 | Grand désaccord |
| 0,00 – 0,20 | Accord très faible |
| 0,21 – 0,40 | Accord faible |
| 0,41 – 0,60 | Accord moyen |
| 0,61 – 0,80 | Accord satisfaisant |
| 0,81 – 1,00 | Accord excellent |

Il s'agit de la grille de lecture proposée par Landis et Koch (1977), il est clair de cette dernière que nos premières classifications (1984, 2001) présentant des accords accord satisfaisant. Cependant un accord excellent (*kappa* égale à 0,8121) est enregistré au niveau de la classification de l'image Landsat de 2013.

2. Discussion et comparaison des changements d'occupations des sols

Les indices de végétation dérivés des données radiométriques de la télédétection, sont largement utilisés dans les programmes de surveillance de la dynamique de la végétation et la cartographie des changements survenus dans les différents écosystèmes.

Les résultats obtenus à partir des classifications de détection de changement durant la période un étudiés. Dans cette partie, nous allons essayer d'évaluer l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol de la zone d'étude tout en essayant de retrouver des explications sur les causes directes et indirectes de ce changement. L'analyse des résultats obtenus permet de constater que les évolutions survenues sont de type régressif et progressif. Une baisse de la radiométrie de l'image nous indique un changement régressif : signe de dégradation de la couverture végétale. Dans le cas du changement progressif, la radiométrie de l'image augmente entre les dates, cela veut dire que l'état de la couverture végétale s'améliore.

Sur les figures 26, 27 et 28, la végétation dense occupe les fortes valeurs de l'indice de végétation NDVI et prend le vert foncé. La dégradation de cette dernière jusqu'à son absence se manifeste par une dégradation des nuances de l'indice de végétation du vert au blanc.

La comparaison entre ces classes a été réalisée par l'application d'une simple division pour faire sortir uniquement les zones qui ont subi des changements entre les dates d'acquisition des images. Les résultats de la détection des changements de l'occupation des sols dans notre zone d'étude durant la période d'étude (1984-2001-2013) sont portés dans le tableau ci dessous et dévoilent un changement important sur toutes les entités étudiés.

La formation forestière, qui comprend les forêts naturelles et les reboisements, est caractérisée par une dégradation importante, elle a diminué entre 1984 et 2001 d'une superficie de 8806,62ha, soit d'un taux de 10,50% par rapport a l'année 1984, elle a continue sa régression entre 2001 et 2013 avec une baisse de 7814,65ha soit 10,41%. En totale elle a perdu 16621,28h de sa superficie totale au bout de 29ans soit une perte de l'ordre de 373,15ha par an, Cette dégradation continuelle du patrimoine forestier en Algérie a été signalée depuis l'époque coloniale où furent détruits quelques 116000 ha de forêts (DGF, 2000).

Tableau 39 : Evolution des changements des surfaces des unités d'occupation du sol durant la période d'étude (1984 -2013).

| Année | 1984 au 2001 | | 2001 au 2013 | |
|--------------------|--------------|--------|--------------|--------|
| | Superficie | | Superficie | |
| Classes | Ha | % | Ha | % |
| Forêt | -8806,62 | -10,50 | -7814,65 | -10,41 |
| Alfa | -5741,41 | -13,43 | -8870,05 | -23,96 |
| Armoise | -2106,31 | -7,49 | -2123,23 | -8,16 |
| Lygeum | -2667,01 | -14,22 | -1676,17 | -10,42 |
| Psamo | 4357,31 | 42,96 | -4576,71 | -31,56 |
| Hallophytes | -2985,93 | -22,85 | -5091,90 | -50,51 |
| Culture | 10640,08 | 35,91 | 14329,88 | 35,59 |
| CorDun | 12708,89 | 10,70 | 20429,54 | 15,53 |
| Sol Nu | -8806,62 | -10,50 | -7814,65 | -10,41 |
| Bâtis | 2153,78 | 104,17 | 4204,09 | 99,59 |

L'état actuel de la dégradation des peuplements forestiers montre que la végétation ligneuse a été surexploitée. Ceci s'explique d'une part, par les besoins en combustible pour la cuisson et le chauffage, amenant les populations à déraciner les espèces ligneuses (*Juniperus phoenica*, *Tamarix*, *Jujubier*, etc...) et les coupes illicites des arbres du pin d'Alep, surtout entre 1984 et 2001, car cette période a connu un exode rural très important accompagné d'un changement des modes de vie des nomades qui sont devenus semi-sédentaires, Boughani (1995) signale que cette pratique demeure toujours en vigueur chez les nomades, mais tend de plus en plus à diminuer. D'autre part s'explique par :

- les labours illicites pratiqués en lisière et même en plein forêt surtout les bas fond et les cuvettes de la forêt par la population riveraine pour gagner des terrains d'une année à l'autre entraînant la destruction quasi-total des espèces pérennes transformant ainsi la physionomie du massif forestier et expose les sols à l'érosion hydrique et éolienne ;
- les incendies de forêts ont eu un effet néfaste sur le couvert forestier ;
- Les changements climatiques (augmentation de températures, diminution des précipitations et augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes) qui se traduisent à la fois par une désertification à long terme et par des événements extrêmes ponctuels à court terme, avec des impacts de dépérissement à la fois généraux et localisés.

- absence de régénération et donc vieillissement général des populations de pin d'Alep ;
- stress hydrique (défoliation) ce qui a engendré la prolifération de divers insectes xylophages particulièrement le scolyte et des défoliateurs, parmi eux la processionnaire du pin et la tordeuse des pousses du pin provoquant ainsi des dépérissements et des attaques parasitaires ;
- diminution de la biodiversité du cortège floristique et diffusion de l'alfa;
- faible croissance des reboisements de pin d'Alep effectués dans les années 1960-1970 et faible régénération spontanée de ces reboisements ;
- faible taux de réussite des nouveaux reboisements.

La surcharge pastorale est la principale pression anthropique dans le massif de Senalba, qui est connu pour son activité pastorale liée surtout aux ovins et dans une moindre mesure aux caprins et bovins (plus d'un million d'unités de bétail autour du site). Les surfaces de parcours s'observent principalement dans les steppes à alfa, qui ont diminué entre 1985 et 2000 probablement à cause de l'augmentation de la taille du cheptel, Par rapport au couvert forestier, le broutage des apex des jeunes pousses, de la flore accompagnatrice et de l'écorce contribuent à limiter la régénération.

Plusieurs études en étaient réalisées dans notre zone d'étude (Boudy 1952 ; Mederbal 1980 ; Quezel et Barbero 1980 ; Kadik, 2001 ; Kadik, 2005) et montrent que les facteurs responsables de la dégradation de la forêt Senelba de Djelfa sont de l'ordre antropozoïque et climatique, En 2017 une étude à été faite par FAO sur le massif forestier de Senelba mettant en relief les facteurs qui influencent le plus la vulnérabilité du massif et qui sont :

- le surpâturage;
- les facteurs biophysiques;
- le vieillissement;
- le stress hydrique.

La situation de référence de l'année 2000 a été projetée sur les années 2050 et 2070, sur la base du modèle climatique RCP 4,5 du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2013 a et b). Le résultat montre que dans le futur proche le massif de Senalba Chergui (plus à l'est) va être sensiblement affecté surtout par le surpâturage et le stress hydrique à moins qu'une gestion durable adaptative ne soit introduite dans les politiques forestières locales. La projection à l'horizon 2070 montre une vulnérabilité élevée dans la majeure partie du site pilote.

Les parcours à alfa, ont connu une régression continue durant la période d'étude, elle est évaluée entre 1984 et 2001 à une superficie de 5471,41ha soit 13,43% par rapport à l'année 1984 et pour le période 2001/2013 la régression des superficies des parcours à Alfa est évaluée à 8870,05ha soit 23,96% par rapport à l'année 2013.

Cette dégradation est probablement est accentuée sous l'effet conjugué de plusieurs facteurs climatique et anthropozoïque, notamment le surpâturage, les labours illicites et la sécheresse.

La forte régression observée durant cette période peut s'expliquer par la surexploitation des ressources végétales par un effectif ovin en expansion, une pression démographique en forte progression et une période de sécheresse exceptionnelle entre 1970 et 1995, caractérisée par une diminution des précipitations (évaluée par divers auteurs entre 17 et 22%) et un allongement de la période de sécheresse (de 1 à 2 mois) (Nedjraoui, 2004). Cette diminution de la tranche pluviométrique annuelle dans les Hautes Plaines steppiques a un impact certain sur la fragilité et la régression de la nappe alfatière. A cela s'ajoutent, le changement des modes de vie des éleveurs qui sont devenus semi-sédentaires à activité agro-pastorale, l'augmentation de la charge pastorale des parcours steppiques et les labours illicites intensifs accélérés par l'introduction de la mécanisation dans le milieu steppique notamment le tracteur et le charrue à disque (figure 29).



Figure 29 : Effet de la charrue à disque sur les parcours à alfa dans la région de Djelfa.

Plusieurs auteurs notamment, Djebaili, 1984 ; LE Houérou, (1995) Aidoud (1988), allaient dans le même sens et tiraient la sonnette d'alarme en soulignant le dépérissement croissant des steppes alfatières et ce malgré le retour des pluies et s'interrogeaient sur l'irréversibilité du phénomène.

En 1983 Benabdeli notait : « Sous l'effet conjugué du surpâturage et des sécheresses, la steppe *Stipa tenacissima* se trouve dans un état de dégradation avancé facilitant un processus de désertification».

La phase de dégradation que connaît la formation à *Stipa tenacissima* depuis les années 1975 sous la pression surtout anthropique induite par les actions de défrichement et de mise en valeur au profit d'une céréaliculture pluviale, devient très préoccupante. Cette formation éprouve des difficultés à se régénérer et les touffes d'Alfa se nécrosent et disparaissent à un rythme inquiétant.

Ainsi la steppe à *Stipa tenacissima* régresse rapidement entraînant une diminution rapide de la couverture végétale accélérant le processus d'installation des dunes. Cette perte de la capacité de régénération naturelle des steppes à alfa est la conséquence de pratiques humaines irrationnelles (défrichement abusif, surpâturage, sur-collecte des feuilles de l'alfa). Cette situation est encore aggravée par un bioclimat contraignant (période annuelle sèche allant jusqu'à 7 mois dans la steppe; une pluviométrie faible et irrégulière dans le temps et dans l'espace, d'où des conditions souvent défavorables à la régénération et à l'installation de l'ensemble des espèces de cette formation végétale.

L'alfa, espèce endémique de la Méditerranée Occidentale, bien adaptée à la sécheresse constituait un des éléments dominants de la végétation des steppes algériennes puisqu'elle occupait une superficie de 5 millions d'hectares au siècle dernier (Charrier, 1873). En 1950, Boudy notait une surface de 4 millions d'hectares, ce chiffre a toujours été pris comme référence jusqu'au dernier inventaire des nappes alfatières réalisé par le Centre National des Techniques Spatiales (CNTS, 1989) et souligné par le HCDS, (2001) qui font état d'une superficie de seulement 2,025 millions d'hectares. Plus de 50% des nappes alfatières ont disparu depuis un siècle. Les pertes sont encore plus importantes puisque même les formations en voie de disparition sont comptabilisées avec ce chiffre.

Les parcours à Armoise ont connu une régression moyenne, elle est évaluée entre 1984 et 2001 à 2106,31ha soit 7,49% de sa superficie initiale et entre 2001 à 2013 d'une superficie de 2123,23ha soit un taux de 8,16%. Les investigations sur le terrain et l'interprétation des résultats obtenus montre que c'est l'armoise blanche est exposée une dynamique régressive et qui se trouve en perte de terrain face aux espèces qui caractérisent la dégradation de terrain des parcours, tel que : *Atractylis serratuloides*, *Noaea mucronata* et *Peganum harmala*.

Pour mieux expliquer ces changements, surtout dans les faciès à *Artemisia herba-alba*, nous devons revenir aux exigences écologiques et caractéristiques de ces parcours.

Sur le plan édaphique, les exigences de cette plante semblent plus nettes en particulier pour la texture (Aidoud, 1989), Selon les travaux de Djebaili, (1978), Pouget (1980) et Aidoud, (1984) la texture la plus répandue de l'armoise est limono – sableuse, toute fois l'armoise à été décrite dans des conditions édaphiques très variées, Sur des sols profonds et argileux dans le sud algérois ou sur un sol relativement salé en présence d'halophytes dans le Chott Echergui (Ozenda, 1954). Donc on peut dire que les artémisiaies à armoise blanche préfèrent plutôt les formations meubles, à texture moyenne à fine, aux pores colmatés en surface, où l'eau est retenue plus ou moins longtemps, ce qui a pour conséquence d'augmenter les temps d'engorgement.

Sur le plan climatique l'armoise blanche présente une plasticité relativement grande (Aidoud, 1988). Elle est citée dans la tranche de 20 à 600 mm de pluviosité annuelle moyenne (Le Houerou, 1969). Elle peut ainsi appartenir à l'intervalle bioclimatique au sens d'Emberger allant de l'étage semi-aride supérieur à l'étage saharien inférieur (Aidoud, 1989). L'armoise blanche montre une adaptation très poussée vis-à-vis du milieu et en particulier de la sécheresse.

Elle présente une plasticité relativement grande, vis-à-vis du climat (Aidoud, 1988). La réduction de la taille des feuilles et par voie de conséquences, la diminution de la surface transpirante constitue l'une des adaptations morphologiques les plus efficaces chez les espèces végétales des régions arides et désertiques. En effet, cette adaptation a été décrite chez l'armoise par Evenari et *al.*, (1971). Quant au système racinaire de cette Astéracées, il présente une forme d'adaptation avec les conditions climatiques où le degré de ramification et la profondeur de pénétration sont variables suivant la pluviosité de la région considérée. L'aridité croissante rend ce système de plus en plus superficiel (Oppeneimer, 1961). Le système racinaire de l'armoise s'étale au maximum possible pour pouvoir capter le maximum d'eau à très faible profondeur.

Selon Evenari (1981), l'armoise blanche est considérée comme une espèce (arido-active), c'est-à-dire, malgré les conditions hydriques très défavorables, la plante peut maintenir une activité photosynthétique pour quelques heures quotidiennement pendant toute la période sèche estivale.

Sur le plan appétibilité, l'armoise est une espèce bien appréciée par les ovins durant l'été et l'automne, constituant ainsi un apport fourrager appréciable durant la saison sèche. Les steppes à armoise blanche sont souvent considérées comme les meilleurs parcours utilisés pendant toute l'année et en particulier en mauvaises saisons et surtout l'été et l'hiver où elle constitue des réserves fourragères sur pieds importantes et permanent, Houmani et *al.*, (2004) signalent que les steppes d'Armoise blanche (*Artemisia herba alba*) ont été et sont toujours considérées parmi les meilleurs parcours pastoraux steppiques des hautes plaines d'Algérie.

Malgré l'adaptation des parcours à armoise notamment l'espèce *Artemisia herba alba* vis-à-vis les facteurs climatiques et édaphiques, les faciès végétaux à armoise blanche sont marqués par une dégradation intensive, ce qui confirme que, les causes de la dégradation des parcours à *Artemisia herba alba* sont principalement dues à l'action anthropozoïque engendré d'une part, par la surexploitation de cette ressources végétale causé par un effectif d'ovins dont le nombre n'a cessé d'augmenter d'une année à une autre où il a passé, d'après les statistiques du ministère de l'agriculture de 14 millions de têtes en 1980 à 22 millions en 2010 et à plus de 25 millions têtes en 2015. Et d'autre part, par les besoins en combustible pour la cuisson et le chauffage, amenant les populations à déraciner les espèces ligneuses (*Armoise blanche*, *Noaea mucronata*, *Salsola vermiculata* et *Tetrenda*, *Hammada scorpia*, etc...).

Aussi, l'extension de céréaliculture qui fut caractérisée par la généralisation de l'utilisation des tracteurs à disques vers les années 1980. Les années 2000 furent aussi caractérisées par le lancement des programmes de soutien agricole au profit des agropasteurs qui ont défriché les parcours à armoise puisqu'ils ont colonisé les sols profonds et argileux, plus ou moins les plus fertiles. Globalement, et malgré sa résistance exceptionnelle à la sécheresse et au pâturage, plusieurs auteurs confirment que le couvert de l'armoise blanche est en forte régression dû principalement à l'action anthropozoïque et surtout l'arrachage et le défrichement de cette espèce (Kappen et al., 1972 ; Pourrat et Hubac, 1974 ; Evenari et al., 1972 ; Aidoud, 1984 ; Aidoud, 1988 ; Aidoud et Touffet, 1996 ; Slimani et al., 2010).

Les parcours à *Lygeum spartum* ont connu une régression importante, leurs superficies se sont reculées entre 1984/2001 à 2667,01ha soit 14,22% par rapport à l'année 1984 et durant la période 2001/2013 une régression moins accentuée a été consentie de l'ordre de 1676,17h soit 8,16% par rapport à l'année 2001. D'après les résultats obtenus, nous constatons que les parcours à lygeum connaissent une dégradation continue durant toute la période d'étude, malgré que cette espèce est réputée par son adaptation aux conditions climatiques et édaphiques des régions steppiques qui est confirmée par plusieurs études, notamment celle de Maire, (1953) signale que *Lygeum spartum* se trouve dans des steppes argileuses ou limoneuses, particulièrement dans les dépressions des Hauts Plateaux, les pentes argileuses, plus rarement rocailleuses, des montagnes sèches, très rarement dans les pâturages plus ou moins sablonneux ou le taux de limon varie de 4 à 12%, celui des sables de 74 à 90% et celui des argiles de 4 à 9%. Ainsi les racines du *Lygeum spartum* présentent au même titre que *Aristida pungens*, un manchon de poils très dense qui agglutinent le sable à l'aide de sécrétions mucilagineuses, ce caractère est une adaptation à la sécheresse.

Le manchon joue un rôle efficace dans la protection des tissus racinaires internes contre la dessiccation. Comme autre adaptation à la sécheresse, Lemée, (1954) signale la grande

hygroscopicité des racines du *Lygeum spartum* qui même mortes peuvent encore absorber l'humidité atmosphérique à raison de 100% de leurs poids initial. Ces racines sont hérissées de radicelles longues et grêles présentant les mêmes caractères adaptatifs que le stipa. Ces racines dites « de rosée » (Pouget, 1980), font bénéficier la plante « des moindres millimètres de pluies ou de rosée ». Elles rappellent également les « racines de pluies » qui peuvent se développer très rapidement après une pluie pour accroître temporairement la surface absorbante de la plante et nourrir quelques temps après. Dans ces conditions, la biomasse souterraine dépasse celle de la partie aérienne le plus souvent, toute la touffe se trouve parfois recouverte, ne laissant dépasser que les feuilles vertes. La biomasse racinaire du sparte est beaucoup plus élevée dans la partie sous-jacente à la touffe 74% des racines se trouvent concentrées dans la tranche des premiers 25 centimètres (Aidoud, 1983).

D'après les citations des auteurs près cités nous pouvons dire que le sparte présente une grande plasticité écologique. En plus de son pouvoir germinatif exceptionnel par rapport à celui de l'Alfa (Aidoud, 1989) qui lui confèrent un rôle de colonisateur de beaucoup d'espaces en zone semi-aride et aride. Son système racinaire très développé permet la fixation du sol et la stabilité des dunes. C'est donc un précieux végétal pour la lutte contre la désertification. Il a la particularité de présenter une grande variabilité structurale des tissus foliaires.

Cette grande plasticité écologique nous amène à supposer que ce ne sont pas les conditions édapho-climatiques qui sont responsables de la dégradation des parcours à sparte, mais plutôt l'action anthropozoïque matérialisée par l'extension de la céréaliculture dont la généralisation de l'utilisation des tracteurs à disques pour le labour des sols à texture grossières fragiles par un simple grattage de la couche superficielle, a entraîné la destruction quasi-totale des espèces pérennes notamment *Lygeum spartum*, transformant ainsi la physionomie des parcours en exposant les sols à l'érosion hydrique et éolienne. D'autre part, par le défrichement des parcours qui a pour origine l'extension de la culture, fortement amplifiée par l'introduction de la mécanisation et les nouvelles techniques culturales (irrigation goutte à goutte ferti-irrigation...) suite aux programmes de développement de l'agriculture adopté en Algérie vers les années 2000 tel que (FNDA, PNDA). A cela, s'ajoute l'augmentation de l'effectif du cheptel ovin et bovin et la réduction de l'offre fourragère, ce qui a induit un surpâturage sur les parcours à sparte, sachant que ces parcours jouent un rôle important pour l'alimentation du bétail, vu sa disponibilité durant toute l'année puisque il est toujours vert durant l'automne, l'hiver, printemps et même durant l'été, et sa valeur énergétique qui varie selon Nedjraoui, (1981) entre 0,31UF et 0,59UF/KgMs. Il est fourni aussi aux brebis comme aliment d'encombrement (Benfrid, 1998).

Les parcours à psammophyles, ont connu une progression importante d'une superficie de 4357,31ha soit un taux de 42,96% par rapport à l'année 1984, surtout au niveau du cordon dunaire sous l'effet des travaux d'aménagement pastorale réalisés dans le cadre de la lutte contre la désertification, menés par l'Institut Nationale de la recherche Forestière (INRF) et le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS) qui consistent d'une part en la fixation mécanique et biologique des dunes et les plantations pastorales à base d'*Atriplex canescens* au niveau du cordon dunaire et d'autre part par les mises en défens contrôlées des parcours dans les endroits touchés par le phénomène de la désertification engendré durant les année quatre-vingt.

Ainsi, la remontée biologique des régions sud-est enregistrée au tour du retenu collinaire réalisée durant les années 90, Korkanc (2014), Zhang et *al.*, (2015) et Amghar et al, (2016) confirment que les parcours mises en défens présentent une richesse spécifique, une richesse en thérophytes et en pérennes et une diversité de Shannon, nettement supérieures aux parcours libres (figure 30)

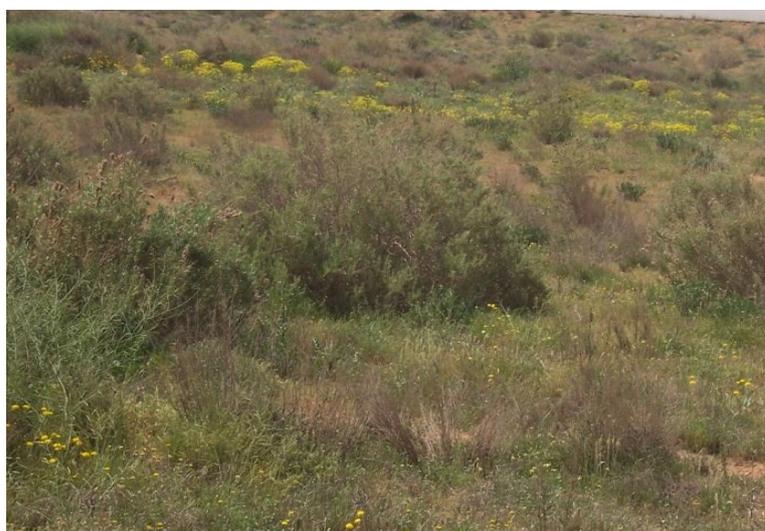


Figure 30 : Remonté biologique après les travaux de fixation dans la région de Djelfa.

Par contre une progression considérable de la superficie des psammophyles entre 2001 et 2013 a été enregistrée elle est estimée à 4576,71h soit 31,56% par rapport à l'année 2001. Cette dégradation est due à plusieurs facteurs, d'une part l'action combinée des conditions climatiques et anthropozoïques surtout le non respect de la charge pastorale et la durée du pâturage car les psammophyles se développent dans un milieu sablonneux, caractérisé par un taux très faible en humidité et en matière organique ce qui ne permet pas à cette végétation de se régénérer, et d'autre part du fait que l'*Atriplex canescens* est une espèce introduite et caractérisée par une régénération très difficile due à l'effet inhibiteur des téguments sur la germination. Selon Le Houerou (1979) et Aronson et *al.*, (1995), cette espèce est caractérisée par des tiges beaucoup plus embranchées qui nécessitent un entretien spécifique, le recépage qui consiste à couper des rameaux à 20-40cm au ras du sol, après la

deuxième exploitation. Il faut noter que la première exploitation ne doit être effectuée qu'après la troisième année de gardiennage et la deuxième après une à deux années de la première. Le périmètre doit être mis en défens totale car les jeunes pousses d'*Atriplex* sont très fragile et très appétible par le cheptel (figure31).



Figure 31: Dégradation d'une plantation à base d'*Atriplex canescens* dans la région de Djelfa.

Les parcours à halophytes, ont subi une régression continue durant toute la période d'étude, cette régression est évalué à 2985,93ha soit 22,85% pour la période 1984/2001 et entre 2001 et 2013 on a enregistré une régression accentuée de l'ordre de 5091,90ha soit 50,51% par rapport à l'année 2013, En totale les parcours à halophytes ont perdu 8077,83ha soit 61,81% de leur superficie initiale durant une période de 29ans. Cette régression est due probablement d'une part, aux conditions climatiques notamment les faibles précipitations et les fortes températures qui favorisent l'évapotranspiration. La combinaison de ces deux facteurs limite le développement de la végétation et par conséquent la dégradation de ces parcours et d'autre part par l'action anthropozoïque notamment, le pâturage excessif de ces ressources qui étaient auparavant exploités uniquement durant l'hiver par contre actuellement elles sont exploitées durant toute l'année et nous avons constaté qu'autour de cette région il y'a l'installation presque permanente de foyers de riverains. A ces facteurs près cités s'ajoute le dessèchement de la zone humide Zahrez el Gherbi dû au changement climatique d'une part Et d'autre part aux travaux hydrauliques réalisés dans la région d'étude tels que le barrage d'Oued el Hadija et les retenus collinaires qui ont diminué les quantités d'eau issues du bassin versant des oueds Zahrez et Mesrane et qui alimentent cette zone, ainsi oued Mellah qui conserve une certaine organisation à travers le cordant dunaire en raison de l'importance des ses crues. Cette régression est aussi constatée par Bousaid et Souihel, (2013) dans une étude phytosociologique et phytocologique dans la région de Zahrez el Gherbi.

La culture dans notre zone d'étude a connu une évolution croissante, cette progression évaluée à 10640,08 ha soit 35,91% entre 1984 et 2001 et 14329,88ha soit 35,59% par rapport à l'année 2013. Cette progression est due à l'extension excessive de la céréaliculture favorisée par l'introduction de la mécanisation notamment, le tracteur et le charrue à disque et aux programmes de développement de la steppe, celui de la mise en valeur des terres de la steppe (épierrement, forages, bassins d'accumulation) et des concessions à des particuliers qui a été lancé par la Générale des Concessions Agricoles (GCA) vers les années 90 et le Programme National de Développement Agricole et Rural (PNDAR) lancé vers la fin d'année 1990 et début 2000 qui visaient, au niveau de la steppe, le développement des cultures céréalières, horticulture à sec et l'arboriculture en irrigué. Ces deux derniers programmes (mise en valeur de la GCA et PNDAR) ont permis, grâce au soutien de l'état, d'accroître la culture en milieu steppique notamment, les superficies irriguées et les productions.

Le cordon dunaire a connu une réduction très considérable de sa surface durant les périodes 1984 et 2001 de 7552,76ha soit 19,61% par rapport à l'année 1984. Cette régression confirme la progression des parcours à psamophytes que nous avons constaté dans notre étude et montre l'intérêt des différentes actions menées dans la région d'étude, notamment la fixation des dunes entreprise par l'INRF au milieu des années quatre-vingt et les mises en défens et les plantations pastorales réalisées par l'HCDS au début des années quatre-vingt dix.

Notant que la plupart des travaux de lutte contre l'ensablement ont été effectués au niveau du cordon dunaire et les zones touchées par l'ensablement comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 40 : Plantation pastorale (grands travaux) dans la zone d'étude 1994-1998.

| Communes | Superficie (ha) | % |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| Zaafrane | 4012 | 32,77 |
| El guedid | 2485 | 20,30 |
| Ain el ebel-Moudjbara | 22 | 0,179 |
| Charef | 675 | 5,51 |
| Totale | 7194 | 58,76 |

(HCDS, 1998)

Selon les données du HCDS (tableau 40), parmi les 17 communes aménagées, notre zone d'étude qui s'étend sur le territoire des communes de Zaafrane, El Guedid, Moudjbara et Charef a bénéficié de la superficie la plus importante de plantation pastorale avec 7194ha soit 58,76% de la superficie totale touchée par le programme de plantation pastorale.

Par contre elle n'a pas été touchée par l'opération de la mise en défens. Toutefois, pour la période 2001/2013 nous assistons à une progression de 8812,10ha soit 28,47% par rapport à l'année 2001 du aux facteurs de dégradation que ce soit climatique au anthropozoïque ainsi à la diminution des travaux d'aménagement dans ce milieu fragile. Notant que selon le HCDS, durant la période 2002-2015, les plantations pastorales réalisées dans notre zone d'étude sont iniquement de l'ordre de 50ha soit 4,42%.

Le sol nu et les défrichements ont connu une progression entre 1984 et 2001 d'une superficie de 12708,89 ha soit 10,70% par rapport à l'année 1984 et la même constatations est constaté avec une hausse de 12708,89ha en faveur de la période de 2001/2013.

Cette progression est due probablement à la dégradation des terres de parcours ainsi que le massif forestier durant cette période et d'autre part elle est due à l'augmentation rapide de la population et la pauvreté des populations rurales. Les disparités entre les zones rurales et urbaines se traduisent par des difficultés d'investir dans des projets viables en milieu agricole. Ainsi, plutôt pour survivre, les populations surexploient les ressources naturelles, à travers le défrichement des parcelles pour produire le minimum de céréales et tentent de posséder quelques têtes de caprins et d'ovins pour subvenir à un minimum de leurs besoins ; Ainsi la mise en culture en sec en utilisant les tracteurs de plus en plus puissants favorise le défrichement des terres même sur les fortes pentes.

Le Bâtis et les infrastructures ont connus une importante progression durant toute la période d'étude, une augmentation de 2153,78ha pour la période 1984/2001 soit 104,17% par rapport à l'année 1984, cependant pour la période 2001/2013 une progression de 4204,09ha soit 99,59% par rapport à l'année 2001. Cette progression est dû principalement d'une part à l'évolution démographique de la population qu'a connu l'Algérie en générale et la wilaya de Djelfa en particulier, où la population a passé de 494,494 habitants en 1987 à 1223223 habitants en en 2008 et à plus d'un million et demi en 2015 avec un taux de croissance d'environnant 8,63%. D'autre part par l'exode rurale enregistré au début des années 1990 dû à la conjoncture de la situation sécuritaire et les projets de développement lancés début 2000 par l'état au profil des wilayas de l'intérieur (soutien rurale, les logements sociaux, LPP, LPA, ...etc.).

2.1. Dynamique de changement

2.1.1 Changement des unités

La comparaison des classifications est une approche de détection des changements très utilisée vu qu'elle est simple et fournit l'information détaillée du changement. Autrement dit, elle permet de répondre à la question « D'où viennent les changements? ». De plus, elle facilite la préparation et l'analyse des cartes de changement (Yuan et *al.*, 2005). C'est la raison pour laquelle on voulait mettre en œuvre cette méthode.

Le principe de cette méthode est basé sur la classification de deux scènes acquises à des dates différentes (Lu, 2005). Elle assigne d'abord des classes thématiques et détecte ensuite les changements. L'évaluation du changement est faite sur une base de comparaison de pixel-à-pixel des images résultantes de la classification à l'aide d'un tableau statistique faisant appel à une matrice de changement (To-From). Les colonnes de la matrice représentent la superficie de chaque classe de l'année la plus récente, alors que les lignes représentant celle de l'année antérieure. L'analyse des matrices nous donne l'évolution spatio-temporelle.

Dans notre cas, nous avons générer ces matrices de changement, on croisant les couches d'occupation des sols, d'une part de l'année 1984 et 2001 et d'autre part ceux de l'année 2001 et 2013 pour la détection des mutations survenus dans notre zone d'étude et leurs superficies (tableau 41, 42, 43 et 44).

Les résultats de la matrice de changement générés montrent que :

L'unité des forêts a conservé 65615,25ha et 58604,33ha soit 78 % et elle a perdu 18227,16ha et 16431,46ha soit plus de 21% de sa superficie initiale pour la première et la deuxième période, les principales unités dérivées sont dans le sol nu avec environ 10,50% de sa superficie initiale, le parcours à *stipa tenassicima* avec une 5,20%, la culture avec 4%, *Artemisia herba alba* avec 1,47% pour la première période et 0,61% pour la seconde période et le reste des unités avec un taux de 0,35% pour la période 1984/2001 et 1,43% pour 2001/2013 superficie de 289,60ha soit 0,35%. Par contre elle a gagné durant la première période une superficie totale de 9420,53ha et 8616,80 pour la deuxième période, elle a été récupérée partiellement par la transformation de l'unité du sol nu avec une superficie de 5507,68ha et 2180,99ha, des parcours avec une superficie totale de 3681,29ha et 5430,70ha même constat pour la première et la deuxième période et la culture uniquement 40ha pour 1984/2001 et 518,10ha pour 2001/2013.

Pour la classe des forêts et reboisements, nous avons constaté que la régression est due probablement à l'effet des facteurs naturels (sécheresse, maladies, vieillissement des sujets) et des facteurs anthropozoïques (Coupe illicite de bois, labours des lisières des forêts, incendie) ce qui transforme cette classe en terres de parcours et des sols nus, cela peut confirmer le processus de dégradation des forêts aboutissant à la formation des parcours d'alfa (Oldache, 1988). La superficie récupérée de cette classe résulte essentiellement des travaux de reboisement réalisés à cette époque par les services des forêts sur des assiettes de parcours et de sols nus.

L'unité des parcours à *Stipa tenassicima* a conservé une superficie de 26301,02ha, elle a gagné 10721,92ha pour la période 1984/2001, tandis que durant la deuxième période elle a préservé 18490,69 et gagné 9662,20ha. Par contre elle a perdu 16463,32ha pour la première période et 18490,69ha pour la deuxième période. Ce changement a conduit à la transformation de cette unité respectivement pour la première et la deuxième période en unité des sols avec 8808,61ha et 7085,30ha, en culture avec 4362,84ha et 5341,61ha, en unité de forêt avec 1754,65ha et 4049,29ha et en Armoise avec 516,83ha et 1254,47ha. Le reste des unités d'occupation des sols ne représente qu'environ 2,5% de sa superficie initiale quelque soit la période. Notons que l'unité de l'agglomération a bénéficié de 156,17ha et 275,26ha de la surface totale de la première et la deuxième période respectivement.

L'unité des parcours à *Artemisia herba alba* a préservé pour la première et la deuxième période 16987,38ha et 18490,69ha soit 60,41% et 63,54%. Alors qu'elle a bénéficié d'une superficie de 9024,90ha et 7361,70ha, en contre partie, elle a perdu une superficie de 11131,21ha et 9484,42ha. Ce changement d'occupation a abouti à la transformation de cette unité pour la période une et deux en unité de sol nu avec 5034,40ha et 5614,85ha soit environ 20%, en culture avec 1862,57ha et 1435,98, en unité de *Lygeum spartum*, forêt et *Stipa tenassicima* respectivement avec 1198,11ha, 88,21 et 1185,48 et 664,34ha et 1172,81ha et 684,40ha. Le reste des unités d'occupation ne représente que 456,95 et 305,15ha pour la première et la deuxième période respectivement. Tandis que l'unité de l'agglomération a bénéficié d'une superficie de 220,89ha pendant la première période et elle a triplé dans la deuxième période pour atteindre 691,50ha.

L'unité des parcours à *Lygeum spartum* a subi pour les deux périodes d'étude un fort changement dynamique surtout pour la première période, elle n'a gardé que 36,10 % ha et 45,49% pour la première et la deuxième période de sa superficie initiale, En revanche, elle a gagné une superficie de 9024,90ha et 7361,70ha; Par contre elle a perdu 11131,21ha et 9484,42ha, ce changement a conduit de (1984/2001) et (2001/2013) à la transformation de cette unité d'occupation

des sols en unités des sols nus avec 3700,77ha et 2580,25ha, en culture avec 3224,65ha et 2674,42ha, en armoise avec 2163,76ha et 1307,15ha succédé des unités Halophytes, cordon, forêt et Stipa avec respectivement 679,93ha et 67,04ha, 1127,82ha et 490,34ha, 75,48ha et 203,06ha et 268,69ha et 670,15ha. L'agglomération a connu une extension importante au détriment de l'unité de Lygeum. Elle est estimée à 415,68ha pour la première période et 547,57 pour la deuxième période.

L'unité des parcours à Psammophiles a connu un grand taux d'instabilité pour les deux périodes. On a constaté que durant la première période elle a conservé uniquement 2072,93ha soit 20,44% de sa superficie initiale face à un gain considérable de 122,52% soit 12428,41ha. Par contre elle a perdu 8070,83ha. Cette superficie est transformée en unité du cordon dunaire avec 2987,17ha, 1573,20ha en Armoise, en sol nu avec 1309,77ha et en Lygeum avec 961,38ha et en culture avec 649,54ha, en unités de Hallophytes, forêt, et agglomération, stipa qu'avec 357,80ha, 120,05ha, 64,76ha et 47,15ha respectivement. Si on analyse les résultats des changements, on constate que sur les 8070,83ha de la superficie réellement perdue est de 4361,70ha (la somme de l'unité du sol nu et le cordon dunaire) et le reste soit 3709ha a subi une Dynamique progressive.

Par contre pour la deuxième période la superficie préservée est de 3567,71ha soit une hausse d'environ 3% par rapport à la première période et elle a gagné uniquement 7093,37ha soit un recul de 2862,53ha. En revanche elle a perdu 10933,36ha soit avec une hausse de 6070,95ha. Cette superficie est transformée en unité sol nu avec 3909,90 ha, Lygeum avec 2397,90ha en cordon dunaire avec 1771,51ha, en armoise avec 1237,35ha et en hallophytes et en culture avec 786,86ha et 434,18ha respectivement en unités de stipa, forêt et agglomération qu'avec 396,67ha en total.

L'unité des parcours à halophytes a subi une très grande dynamique de transformation durant les deux périodes d'étude. On a constaté que durant la première période elle a conservé uniquement 5929,23ha soit 45,38% de sa surface initiale face à un gain de 4151,55ha soit 31,77% soit. Par contre elle a perdu 7137,48ha qui a été transformé en sol nu avec 3396,67ha, en lygeum avec 1072,58ha, en culture avec 709,90ha, cordon dunaire avec 575,56ha et en forêt, stipa et avec 505,63ha, 41,47ha et 393,69ha et en fin par l'unité d'agglomération et des psammophyles avec 39,15 et 24,83ha respectivement. Par contre pour la deuxième période la superficie préservée est de 3125,82ha soit un recul 2803,61ha par rapport à la première période et elle a gagné uniquement 1863,25ha soit un recul de 2288,30ha. En revanche elle a perdu 7137,48ha. Cette superficie est transformée en unité sol nu avec 2643,86ha, en culture avec 1890,65ha, Lygeum avec 710,89 et en armoise, forêt et en cordon dunaire avec 487,18ha, 405,56ha et 400,06ha respectivement, en unités de stipa avec 195,91ha, psammophyles avec 145,80ha et l'agglomération qu'avec 75,28ha.

L'unité de la culture durant la période 1984/2001 d'une part a préservé 64,28% et a perdu 35,72% soit 10582,39ha de sa surface initiale, cette dernière a été transformée en sol nu avec 22,03%, en Lygeum avec 3,44% et en halophytes et cordon dunaire avec 3,15 et 3,01% respectivement, On note que 724,25ha soit 2,44% de la superficie de la culture est devenue agglomération et que le reste des unités n'occupe que 1,54%. D'autre part elle a bénéficié d'une superficie globale de 21222,47ha soit 73,63% de sa superficie initiale, au détriment des unités composantes de notre zone d'étude, notamment le sol nu avec 6547,62ha, le Stipa 4362,84ha, la forêt avec 3348,54ha, Lygeum avec 3224,65h et l'armoise blanche avec 1862,57ha. Le reste des unités notamment les Hallopytes, les Psammophiles et le cordon dunaire avec 709,90ha, 649,54ha et 516,76ha respectivement. Par contre pour la période 2001/2013, cette unité a subi une dynamique relativement moyenne par rapport à la première période, elle a préservé 29852,39ha soit 74,13% de sa superficie initiale, contrairement à la première période elle a bénéficié de nouvelles superficies de l'ordre de 10415,48ha au détriment, de l'unité du sol nu avec 8759,24ha, le Stipa 5341,61, la forêt avec 3080,05ha, Lygeum avec 2674,42h, les Hallopytes avec 1890,65ha et l'Armoise, Cordon dunaire et Psammophiles avec 1435,98ha, 1129,03ha et 434,18ha respectivement. Quelque soit l'époque on constate que l'agglomération ne contribue qu'avec une surface négligeable ne dépassant pas 0,22ha.

L'unité du Cordon dunaire représente un taux d'instabilité remarquable entre les deux périodes d'étude, on a constaté que durant la première période elle a conservé 22813,86ha et 12865,08ha pour la deuxième période. Tandis qu'elle a perdu 22813,86ha et 18089,48ha respectivement pour la première et la deuxième période. Cette superficie est transformée en Psammophiles avec 7846,61ha et 3803,14ha, sol nu avec 3221,42 et 10095,97ha et en Lygeum avec 2375,51ha et 1261,64ha et en Halophytes, stipa culture armoise, forêt et Agglomération avec 549,08ha et 158,87, 527,96ha et 391,02ha, 516,76ha et 1129,03, 402,33ha et 667,65ha, 235,77 et 486,94 et 22,28 et 68,44ha la première et la deuxième période confondues.

L'unité des sols nus a maintenu pour la première et la deuxième période confondue 76,19% et 81,35% de sa superficie initiale. Par contre, elle a gagné 40994,23ha et 44958,93 et elle a perdu une superficie de 28285,34ha et 24529,39 pour la première et la deuxième période, plus de 69% de cette surface est remplacée par la culture avec 6547,62ha et 8729,24ha, forêt avec 5507,68 et 2180,99ha, psammophyle 3791,28 et 1024,42, stipa 3785,25ha et 2514,32ha et le reste transformé en unité d'Armoise, cordon dunaire, Lygeum et hallophytes avec 2493,88ha et 1070,06ha, 2427,71ha et 5777,81ha, Lygeum avec 2167,69 et 1538,50ha halophytes avec 1237,05 et 490,45, Notons que l'agglomération a bénéficié d'une superficie de 327,18ha pour la première période et 1173,6ha pour la deuxième période.

Quelque soit la période d'étude, la classe des bâtis et infrastructures a conservé plus de quatre vingt dix pourcent. Par contre cette classe a connu une extension considérable au détriment des différentes unités. Durant la première période 1984/2001 elle a remplacé la culture avec 724,25ha, le Lygeum avec 415,68ha, le sol nu avec 327,18ha et les unités de l'armoise blanche, forêt et Stipa avec 220,89ha, 185,32 et 156,17ha. Le reste des unités ne représente que 126,19ha, Cependant, durant la deuxième période cette extension est plus considérable, elle est estimée à 4219,41ha. Les unités issues de ce changement sont principalement l'unité des sols nus avec 1173,60ha, culture 815,63ha, armoise avec 691,50ha, le Lygeum avec 547,57h, la forêt et l'Alfa avec 275,26ha de même, le reste des unités représentées par une surface globale de 170,51ha.

Tableau 41 : Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude de 1984 à 2001 exprimée en hectare.

| | | 1 9 8 4 | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
| | | For | Stip | Arm | Luyg | Psam | Haloph | Cult | CorD | SoLNU | Aggl | Total classe |
| 2 0 0 1 | For | 65615,25 | 1754,65 | 1185,48 | 75,48 | 120,05 | 505,63 | 39,80 | 231,77 | 5507,68 | 0,00 | 75035,79 |
| | Stip | 4362,93 | 26301,02 | 1172,81 | 268,69 | 47,15 | 419,47 | 137,49 | 527,96 | 3785,25 | 0,16 | 37022,94 |
| | Arm | 1230,12 | 516,83 | 16987,38 | 2163,76 | 1573,20 | 393,69 | 250,99 | 402,33 | 2493,88 | 0,09 | 26012,28 |
| | Luyg | 54,99 | 468,28 | 1198,11 | 6770,31 | 961,38 | 1072,58 | 1019,63 | 2375,51 | 2167,69 | 0,67 | 16089,14 |
| | Psam | 21,07 | 125,13 | 230,91 | 329,07 | 2072,93 | 24,83 | 58,59 | 7846,61 | 3791,28 | 0,65 | 14501,07 |
| | Haloph | 19,28 | 225,72 | 150,58 | 679,93 | 357,80 | 5929,43 | 932,03 | 549,08 | 1237,05 | 0,07 | 10080,97 |
| | Cult | 3348,54 | 4362,84 | 1862,57 | 3224,65 | 649,54 | 709,90 | 19045,41 | 516,76 | 6547,62 | 0,04 | 40267,88 |
| | CorD | 8,93 | 45,08 | 75,46 | 1127,82 | 2987,17 | 575,56 | 893,15 | 22813,86 | 2427,71 | 0,07 | 30954,82 |
| | SoLNU | 8995,97 | 8808,61 | 5034,40 | 3700,77 | 1309,77 | 3396,67 | 6526,46 | 3221,42 | 90519,49 | 0,17 | 131513,72 |
| | Aggl | 185,32 | 156,17 | 220,89 | 415,68 | 64,76 | 39,15 | 724,25 | 22,28 | 327,18 | 2065,64 | 4221,33 |
| | Total classe | 83842,41 | 42764,35 | 28118,59 | 18756,15 | 10143,77 | 13066,91 | 29627,80 | 38507,58 | 118804,83 | 2067,56 | 385699,94 |
| | Class Changes | 18227,16 | 16463,32 | 11131,21 | 11985,84 | 8070,83 | 7137,48 | 10582,39 | 15693,72 | 28285,34 | 1,92 | 381478,61 |
| Différence image | -8806,62 | -5741,41 | -2106,31 | -2667,01 | 4357,31 | -2985,93 | 10640,08 | -7552,77 | 12708,90 | 2153,78 | -10960,40 | |

Tableau 42 : Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude de 1984 à 2001 exprimée en pourcent.

| | | 1 9 8 4 | | | | | | | | | | 2001 |
|------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | | For | Stip | Arm | Luyg | Psam | Haloph | Cult | CorD | SoLNU | Aggl | Total classe |
| 2 0 0 1 | For | 78,26 | 4,10 | 4,22 | 0,40 | 1,18 | 3,87 | 0,13 | 0,60 | 4,64 | 0,00 | 97,41 |
| | Stip | 5,20 | 61,50 | 4,17 | 1,43 | 0,46 | 3,21 | 0,46 | 1,37 | 3,19 | 0,01 | 81,01 |
| | Arm | 1,47 | 1,21 | 60,41 | 11,54 | 15,51 | 3,01 | 0,85 | 1,04 | 2,10 | 0,00 | 97,14 |
| | Luyg | 0,07 | 1,10 | 4,26 | 36,10 | 9,48 | 8,21 | 3,44 | 6,17 | 1,82 | 0,03 | 70,67 |
| | Psam | 0,03 | 0,29 | 0,82 | 1,75 | 20,44 | 0,19 | 0,20 | 20,38 | 3,19 | 0,03 | 47,32 |
| | Haloph | 0,02 | 0,53 | 0,54 | 3,63 | 3,53 | 45,38 | 3,15 | 1,43 | 1,04 | 0,00 | 59,23 |
| | Cult | 3,99 | 10,20 | 6,62 | 17,19 | 6,40 | 5,43 | 64,28 | 1,34 | 5,51 | 0,00 | 120,99 |
| | CorD | 0,01 | 0,11 | 0,27 | 6,01 | 29,45 | 4,40 | 3,01 | 59,25 | 2,04 | 0,00 | 104,56 |
| | SoLNU | 10,73 | 20,60 | 17,90 | 19,73 | 12,91 | 25,99 | 22,03 | 8,37 | 76,19 | 0,01 | 214,46 |
| | Aggl | 0,22 | 0,37 | 0,79 | 2,22 | 0,64 | 0,30 | 2,44 | 0,06 | 0,28 | 99,91 | 107,22 |
| | Total classe | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 1000,01 |
| | Class Changes | 21,74 | 95,90 | 95,78 | 99,60 | 98,82 | 96,13 | 99,87 | 99,40 | 95,36 | 100,00 | 892,79 |
| Différence image | -2,59 | -18,99 | -2,86 | -29,33 | -52,68 | -40,77 | 20,99 | 4,55 | 114,46 | 7,22 | -9,81 | |

Tableau 43 : Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude entre 2001 et 2013 en herctare.

| | | 2 0 0 1 | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|--------------|
| | | For | Stip | Arm | Luyg | Psam | Haloph | Cult | CorD | SoLNU | Aggl | Total classe |
| 2 0 1 3 | For | 58604,33 | 4049,29 | 664,34 | 203,06 | 108,51 | 405,56 | 518,10 | 486,94 | 2180,99 | 0,00 | 67221,13 |
| | Stip | 3905,30 | 18490,69 | 684,40 | 670,15 | 261,37 | 195,91 | 1039,64 | 391,02 | 2514,32 | 0,08 | 28152,89 |
| | Arm | 454,21 | 1254,47 | 16527,86 | 1307,15 | 1237,35 | 487,18 | 883,13 | 667,65 | 1070,06 | 0,50 | 23889,55 |
| | Luyg | 485,69 | 191,20 | 88,21 | 7319,61 | 2397,90 | 710,89 | 419,26 | 1261,69 | 1538,50 | 0,03 | 14412,98 |
| | Psam | 23,96 | 217,44 | 128,34 | 229,54 | 3567,71 | 145,80 | 757,02 | 3830,14 | 1024,42 | 0,54 | 9924,90 |
| | Haloph | 2,75 | 53,27 | 93,21 | 67,04 | 786,86 | 3125,82 | 210,72 | 158,87 | 490,45 | 0,09 | 4989,07 |
| | Cult | 3080,05 | 5341,61 | 1435,98 | 2674,42 | 434,18 | 1890,65 | 29852,39 | 1129,03 | 8759,24 | 0,22 | 54597,76 |
| | CorD | 69,20 | 64,41 | 83,61 | 490,34 | 1770,51 | 400,03 | 621,61 | 12865,08 | 5777,81 | 0,11 | 22142,72 |
| | SoLNU | 7914,03 | 7085,30 | 5614,85 | 2580,25 | 3909,90 | 2643,86 | 5114,37 | 10095,97 | 106984,33 | 0,41 | 151943,27 |
| | Aggl | 496,25 | 275,26 | 691,50 | 547,57 | 26,79 | 75,28 | 851,63 | 68,44 | 1173,60 | 4219,41 | 8425,73 |
| | Total classe | 75035,79 | 37022,94 | 26012,28 | 16089,14 | 14501,07 | 10080,98 | 40267,88 | 30954,82 | 131513,72 | 4221,38 | 385700,00 |
| | Class Changes | 16431,46 | 18532,25 | 9484,42 | 8769,54 | 10933,36 | 6955,16 | 10415,48 | 18089,75 | 24529,39 | 1,97 | 124142,78 |
| Différence image | -7814,65 | -8870,05 | -2122,73 | -1676,17 | -4576,17 | -5091,90 | 14329,88 | -8812,10 | 20429,54 | 4204,35 | 0,00 | |

Tableau 44 : Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude entre 1984 et 2001 exprimée en pourcent.

| | | 2 0 0 1 | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | For | Stip | Arm | Luyg | Psam | Haloph | Cult | CorD | SoLNu | Aggl | Total classe |
| 2 0 1 3 | For | 78,10 | 10,94 | 2,55 | 1,26 | 0,75 | 4,02 | 1,29 | 1,57 | 1,66 | 0,00 | 102,14 |
| | Stip | 5,20 | 49,94 | 2,63 | 4,17 | 1,80 | 1,94 | 2,58 | 1,26 | 1,91 | 0,00 | 71,45 |
| | Arm | 0,61 | 3,39 | 63,54 | 8,12 | 8,53 | 4,83 | 2,19 | 2,16 | 0,81 | 0,01 | 94,20 |
| | Luyg | 0,65 | 0,52 | 0,34 | 45,49 | 16,54 | 7,05 | 1,04 | 4,08 | 1,17 | 0,00 | 76,87 |
| | Psam | 0,03 | 0,59 | 0,49 | 1,43 | 24,60 | 1,45 | 1,88 | 12,37 | 0,78 | 0,01 | 43,63 |
| | Haloph | 0,00 | 0,14 | 0,36 | 0,42 | 5,43 | 31,01 | 0,52 | 0,51 | 0,37 | 0,00 | 38,77 |
| | Cult | 4,10 | 14,43 | 5,52 | 16,62 | 2,99 | 18,75 | 74,13 | 3,65 | 6,66 | 0,01 | 146,87 |
| | CorD | 0,09 | 0,17 | 0,32 | 3,05 | 12,21 | 3,97 | 1,54 | 41,56 | 4,39 | 0,00 | 67,31 |
| | SoLNu | 10,55 | 19,14 | 21,59 | 16,04 | 26,96 | 26,23 | 12,70 | 32,62 | 81,35 | 0,01 | 247,17 |
| | Aggl | 0,66 | 0,74 | 2,66 | 3,40 | 0,18 | 0,75 | 2,11 | 0,22 | 0,89 | 99,95 | 111,58 |
| | Total classe | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 1000,00 |
| | Class Changes | 21,90 | 50,06 | 36,46 | 54,51 | 75,40 | 68,99 | 25,87 | 58,44 | 18,65 | 0,05 | 888,42 |
| Différence image | 2,14 | -28,55 | -5,80 | -23,13 | -56,37 | -61,23 | 46,87 | -32,69 | 147,17 | 11,58 | 0,00 | |

2.1.2. Analyse des changements

Pour mieux comprendre les mutations d'occupation des sols et la dynamique de la végétation entre deux situations temporelles. Il est indispensable de générer une matrice de changement, on croisant les indices de végétation (NDVI) correspondant aux dates fixées par l'étude, Notons que ces matrices de changement jouent un rôle pertinent dans la détection des changements d'occupation des sols, d'une part et de calculer les superficies de chaque nature de changement (stable, progression vs régression) entre l'année d'observation (année de référence) et l'année de la situation initial. Ceci permettre efficacement de faire ressortir les transformations, les mutations et la compréhension de la dynamique globale survenue au sein des unités d'occupation de sols pour la série temporelle fixée par l'étude. Cette approche repose sur la comparaison des valeurs de la réflectance pixel par pixel de l'indice NDVI dérivé des données multispectrale Rouge et PIR. Cette méthode comparative nécessite l'élimination des distorsions liées aux conditions de prise de vue des images (effet de la géométrie et l'influence des conditions atmosphériques).

2.1.2.1. Matrice de changements

Le résultat du rapport ($NDVI_{1984} / NDVI_{2001}$) et du rapport ($NDVI_{2001} / NDVI_{2013}$) sont deux images de changements survenus dans la zone étudiée. Les valeurs de l'histogramme de la première image sont comprises entre -0,80 et 0,70 et ceux de la deuxième image comprise entre -0,90 et 0,86 et ont été regroupées dans six classes suivant les types de changement (tableau 45)

Tableau 45 : Classes de seuils de changements.

| | 1984/2001 | 2001/2013 |
|------------------------------|-------------------|------------------|
| Progression Intensive | $\geq 0,6$ | $\geq 0,46$ |
| Progression Moyenne | [0,3 ; 0,60] | [0,23 ; 0,46] |
| Progression Faible | [0 ; 0,3] | [0 ; 0,23] |
| Stable | 0 | 0 |
| Régression Faible | [0 ; - 0,30] | [0 ; - 0,32] |
| Régression Moyenne | [- 0,30 ; - 0,60] | [-0,32 ; - 0,64] |
| Régression Intensive | $\leq - 0,60$ | $\leq - 0,64$ |

L'analyse des résultats de la matrice du changement a permis de faire un lien entre l'état de la végétation et le type de changement détecté. La régression de la radiométrie est liée à une dégradation de l'état de la végétation entre la situation initiale et la situation finale. La radiométrie inchangée correspond aux zones relativement stables, l'augmentation de la

radiométrie est un signe de variation progressive de la végétation. Par contre la réduction radiométrie correspond aux zones qui ont subi une dégradation.

Le tableau ci dessous et les figures résument les résultats obtenus lors de notre étude.

Tableau 46 : L'évolution des changements au niveau de la région d'étude.

| | 1984/2001 | | 2001/2013 | |
|------------------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | Surface en Hectare | % | Surface en Hectare | % |
| Progression intensive | 61838,08 | 16,03 | 45358,32 | 11,76 |
| Progression moyenne | 26423,27 | 6,85 | 24029,11 | 6,23 |
| Progression faible | 13692,35 | 3,55 | 15852,27 | 4,11 |
| Stable | 181090,78 | 46,95 | 159409,81 | 41,33 |
| Régression faible | 19307,56 | 5,01 | 34018,74 | 8,82 |
| Régression moyenne | 20249,25 | 5,25 | 18552,17 | 4,81 |
| Régression intensive | 63098,71 | 16,36 | 88479,58 | 22,94 |
| Total | 385 700,00 | 100 | 385 700,00 | 100 |

Pour la première période s'étalant de 1984 à 2001 les résultats de la matrice de changement montrent que sur une superficie totale de 385700ha de notre zone d'étude, le taux de l'état stable est d'environ 47%, cependant, le taux total de la régression a enregistré 34,23% dont, le taux de la régression faible est de 4,81%, la régression moyenne ne dépasse pas 5,25% et la régression intensive affichant un taux alarmant qui est de 16,36% par rapport à la surface totale. En revanche le taux de progression enregistré durant la même période est de 26,43% dont 3,55% progression faible, 6,85% moyenne et 16% progression intensive.

Contrairement à la première période, la deuxième période de 2001 à 2013 dont les résultats obtenus montrent que le taux de l'état stable est d'environ 41,33%, cependant, le taux total de la régression a enregistré 36,57% ou on trouve, le taux de la régression faible est de 8,82% la régression moyenne ne dépasse pas 4,81% alors que la régression intensive avec un taux alarmant qui est de 22,94% par rapport à la surface totale. En revanche le taux de progression enregistré durant la même période est de 22,1% dont, 4,11% progression faible, la progression moyenne avec 6,23% et 11,76% progression intensive.

2.1.2.2. Interprétation des résultats de la matrice des changements

D'après les résultats fournis par la matrice des changements nous avons constaté que durant la période étudiée, toutes les unités d'occupations des sols ont subi une dynamique de changement sous l'impulsion d'un ou plusieurs facteurs.

Pour l'unité des forêts, nous avons constaté une progression plus au moins considérable pour les deux périodes d'étude. Cette progression est due essentiellement d'une part aux travaux de boisement et reboisement réalisés durant les années 1970 et 1980 dans le cadre du barrage vert sur des assiettes de parcours et de sols nus, et d'autre part du à la régénération naturelle du couvert forestier et la reconstitution des peuplements dans le cadre de la lutte contre la désertification. Malgré les projets et les efforts consacrés à la préservation de ce patrimoine les superficies perdu quelque soit l'époque sont doublées sous l'effet conjugué des facteurs naturels notamment la sécheresse, maladies, vieillissement des sujets et des facteurs anthropozoïques (Coupe illicite de bois, labours des lisières des forêts, incendie et pâturage excessif) ce qui a transformé cette classe en terres de parcours et des sols nus, cela peut confirmer le processus de la dégradation des forêts aboutissant à la formation des pelouse puis les parcours à d'Afla pour arrivé au stade final le sol nu.

La régression enregistrée durant la période d'étude de l'ensemble des parcours steppiques représenté par les unités : de *Stipa tenassicima*, *Atemisia herba alba*, Psammophyles et *Lygeum spartum*, du probablement aux facteurs anthropozoïques notamment, au surpâturage qui est lui-même du à l'augmentation de l'effectif du cheptel ovin et le changement du mode de vie des éleveurs (du mode nomadisme au mode semi-sédentaire). L'arrachage des touffes pour l'utilisation domestique et le labour illicite intensifier par deux facteurs, l'introduction du tracteur et le labour avec la charrue qui détruisait irrémédiablement le reste des meilleurs pâturages (alfa, armoise blanche...). Les facteurs climatiques, principalement les précipitations qui sont caractérisées dans notre zone d'étude par une irrégularité dans le temps et dans l'espace et un recule du cumul de la moyenne annuelle de la deuxième période d'étude de 23mm/an part rapport à la première période. En plus sa moyenne a passer de 400mm/an pour (1913-1938) d'après les données de Seltzer, (1946) à 326,01mm/an pour (1975-2013). L'irrégularité interannuelle de la pluviosité et la tendance de la température moyenne à une hausse surtout pour les huit dernières années. Plusieurs hauteur tels que Benrebiha (1984) ; Le Houerou(1985) ; Aidoud (1994) ; Aidoud et al., (2006) et Moulay et al., (2011) signalent que la forte régression

des parcours steppique observée depuis ces trente dernières années s'explique par la surexploitation des ressources végétales par un effectif ovin, une pression démographique en forte progression (de l'ordre de 2,5 %/an) et une période de sécheresse exceptionnelle de 1970 à 1985. Cependant la progression enregistrée dans notre zone a touché la totalité des unités composant les parcours steppique à des taux variable d'une unité à l'autre et d'une période à l'autre.

Cette dynamique paraît très encourageant, du fait qu'il s'agit surtout d'une progression au niveau du cordon dunaire sous l'effet des travaux d'aménagement pastorale réalisés dans le cadre de la lutte contre la désertification mené par les Institutions Etatiques, consistant à la fixation mécanique et biologique des dunes, et d'autre part les plantations pastorales à base d'*Atriplex canescens* et *Tamarix* au niveau du cordon dunaire et les mis en défense contrôlées des parcours steppiques à d'Alfa, à Lygem et à Armoise. En contre partie les parcours à halophytes en connu une diminution intensive de leur superficie elles ont perdu environ 62% de leurs surface entre 1984 et 2013, cette diminution est surtout marqué entre 2001/2013 avec un taux de 54,62%. Cette régression est du probablement aux facteurs climatiques, et l'exploitation inadéquate et irrationnelle de ces parcours.

En plus au dessèchement de la zone humide Zahrez el Gharbi (Sebkha) suite à la réalisation des ouvrages hydrauliques en aval de la dépression de Zahrez, notamment les retenus colonnaires entre Ain Maabed et Zaafrane et le barrage de Oued el Hadjia, En revanche l'unité du sol nu est la plus stable de tous les unités, malgré sa elle a subi une progression qui est la résultante de la dégradation du couvert végétale sous les facteurs précité au niveau des parcours steppique et surtout la sécheresse, le défrichement et les labours par les charrue à disque constituent en un simple grattage de la couche superficielle entraînant la destruction quasi-total des espèces pérennes transformant ainsi la physionomie des parcours et expose les sols à l'érosion hydrique et éolienne, par conséquent une totale désertification. Par contre sa régression est une remonté biologique en terme écologique car on assiste à une transformation d'un sol nu à un sol couvert d'une végétation pérenne ou annuelle. Cette progression est le résultat de la mise en défense des parcours steppiques, la plantation pastorale, la régénération du couvert forestier et aux programmes de boisement et reboisements réalisées dans le cadre du barrage vert et de la lutte contre la désertification, puisque les forêts du hauts plateaux sont considérée toujours comme un barrière écologique entre un désert en mouvance et un Tell en perte de fertilité, S'ajoute à sa les programmes de développement de la culture dans la steppe Algérienne.

L'unité de la culture est marquée par une très grande extension durant les deux périodes, Cette extension est du probablement aux différents programmes lancés par l'Etat, notamment la libéralisation qui a été consacrée à la liquidation des réalisations de la révolution agraire et l'introduction de la mécanisation qui a favorisé les labours illicites en masse. En plus à la fin des années 1990 un programme de mise en valeur (épierrement, forages, bassins d'accumulation) et de concession à des particuliers a été lancé par la Générale des Concessions Agricoles (GCA). S'ajoute à ça le Programme National de Développement Agricole et Rural (PNDAR) lancé en 2000 qui visait au niveau de la steppe le développement des cultures (céréales, horticulture et de l'arboriculture en irrigué). Ces deux derniers programmes (mise en valeur de la GCA et PNDAR) ont permis grâce à une importante aide de l'Etat qui finançait parfois l'intégralité de la mise en valeur des terres (forages, construction des bassins d'accumulation, irrigation, plantations...) d'accroître les superficies irriguées et les productions qui ont conduit à la conversion des terres de parcours les sols nus en terre cultivable.

La classe des dunes présente une grande dynamique de transition d'une part une transformation en sol nu grâce à la nature du milieu dunaire qui est constitué principalement de placages de sable peu épais et de grains de sable capables de se déplacer rapidement sous l'effet du vent (déflation) en laissant assiette d'un sol nu ou des petites formations sableuses des voiles sableux. D'autre part une transformation en végétation pérenne composée essentiellement par l'*Atriplex canescens*, *Retama retam*, *Tamarix galica* et *Tamarix articulata* et *cactus Sp* grâce aux différents projets menés par l'Etat dans le cadre de la lutte contre la désertification et l'amélioration des parcours steppiques et durant la deuxième période (2001/2013) et malgré toutes les agressions qu'a subi notre zone d'étude elle a connu une remontée biologique des pérennes et des éphémères.

L'unité d'agglomération occupe un faible taux par rapport à la superficie totale de notre zone d'étude, mais elle a présenté une extension spectaculaire pour les deux périodes d'étude surtout durant la deuxième période (2001/2013), elle est due à l'exode rural et les flux migratoires qui ont touché la plus part des villes Algériennes et surtout les chefs lieux des wilayats durant les années quatre vingt dix à la recherche de l'emploi, notamment la ville de Djelfa qui est considérée comme une zone de transit.

Conclusion

Dans cette étude, l'accent a été mis sur le traitement des données de la télédétection multi-temporelle pour le suivi et l'évaluation de la dégradation des parcours steppiques en milieu semi-aride (Djelfa) en Algérie. La comparaison des NDVI dérivés des images traitées a permis d'obtenir la carte des changements. L'analyse des résultats a montré l'impact de la dégradation dans la zone étudiée. En général, cette zone a connu une régression radiométrique résultat d'un changement dans l'état de la végétation lié à des facteurs multiples. Cela n'a pas empêché quand même l'amélioration de quelques parcours surtout au niveau des sites touchés par l'aménagement pastorale (cordon dunaire, à la périphérie du la sebkha et des retenus collinaire).

Finalemment, les résultats obtenus sont acceptables malgré les limites de la méthodologie adoptée, Il s'agit de l'approche relative de la normalisation atmosphérique des images qui pouvait être affinée si on disposait de données sur l'atmosphère au moment de l'acquisition des images.

Produit final deux cartes des changements plus une carte d'occupation des sols 2013.

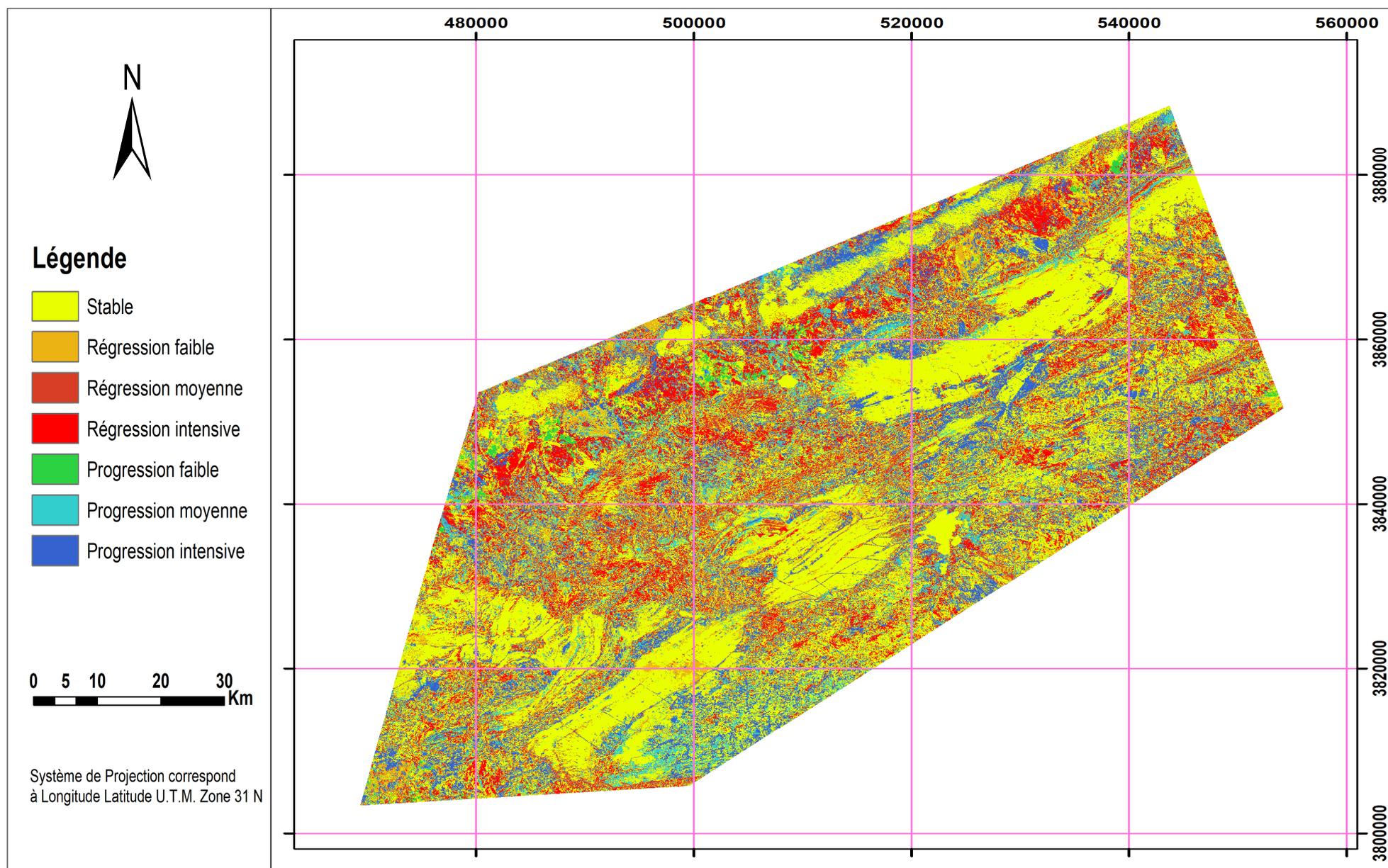


Figure 32 : Carte des changements entre 1984/2001.

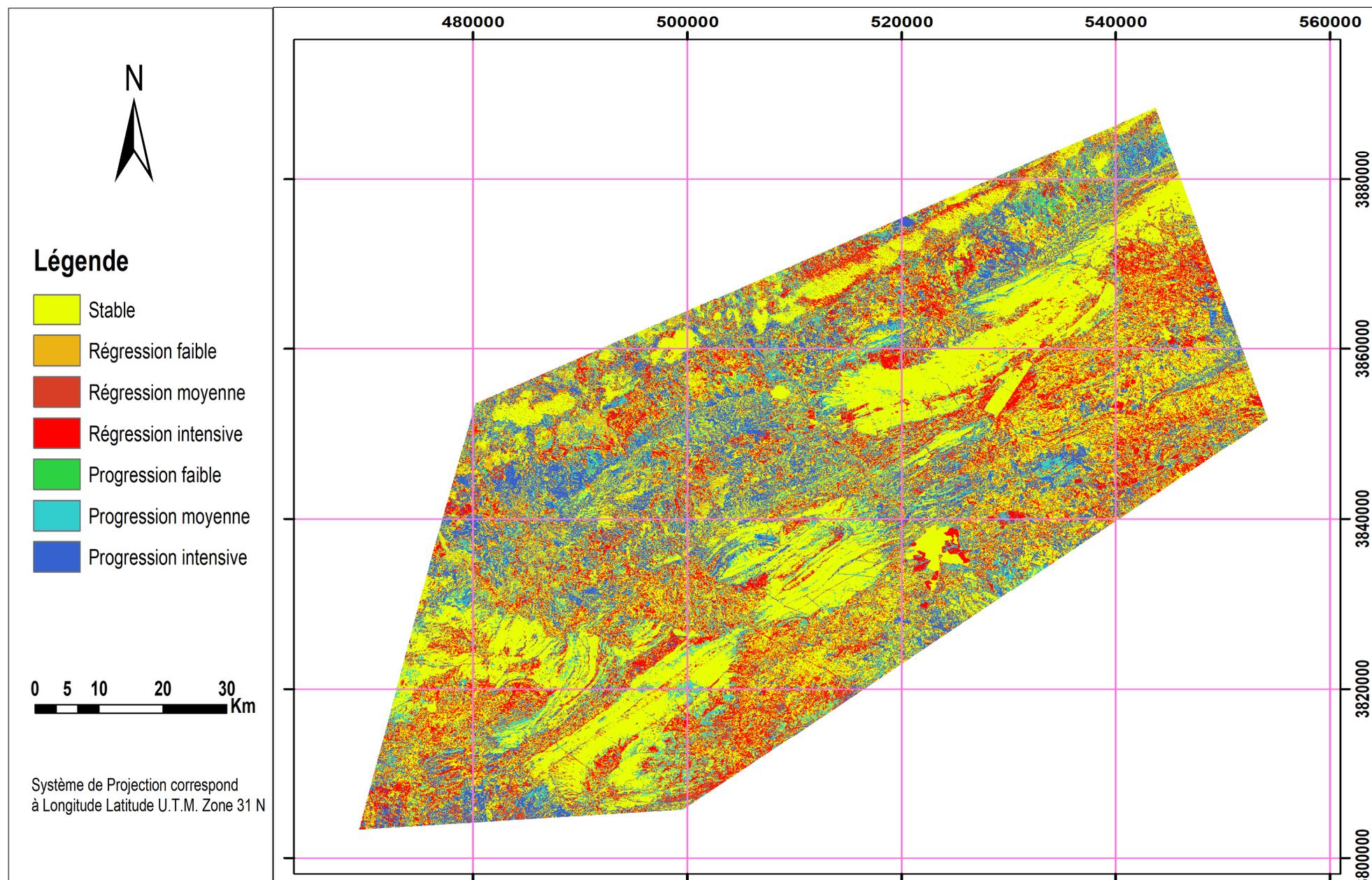


Figure 33 : Carte des changements entre 2001/2013.

Chapitre VI

Proposition d'action d'aménagement

1. Actions entrepris dans notre zone d'étude

De nombreux travaux d'aménagement ont été entrepris dans notre région d'étude par des organismes nationaux (DGF, HCDS, INRF et Universités). Néanmoins, l'impact reste faible en raison d'un manque de coordination entre les différents organismes impliqués, la négligence de l'aspect socio-économique, et d'autres aspects de l'adoption des nouvelles techniques.

Les différentes actions menées sont :

- Boisement et reboisement ;
- Les essais de mise en défens ;
- Les essais de régénération par fauchage, arrachage ;
- Les travaux de fixation des dunes
- L'introduction des espèces fourragères telles que l'Atriplex canescens, l'Atriplex numilaria et Medicago arboria.

Les résultats obtenus par ces différents essais sont quelque peu prometteurs mais discutables. Ils révèlent que le mode de restauration varie selon l'état de dégradation et les conditions édaphiques des terres de parcours.

2. Proposition d'un modèle d'aménagement

Au terme de cette analyse spatiotemporelle à l'aide géomatique, et en tenant compte d'autres données exogènes, quelques orientations d'aménagement peuvent être suggérées au niveau de notre zone d'étude. Elles s'appuient sur l'idée d'un modèle d'aménagement intégré, agro-sylvo-pastoral, qui se veut à la fois économiquement et écologiquement rentables.

2.1. Problèmes posés et grandes lignes d'action pour l'aménagement de la zone

2.1.1. Le problème posé de l'amélioration des parcours steppiques

Lorsqu'on apprécie l'accessibilité à un territoire et à ses possibilités d'occupation, on est inévitablement confronté à des éléments du milieu naturel qui font obstacle et qu'il faut traiter en que tel, c'est-à-dire en tant que contraintes à gérer. Avant d'aborder l'étude des améliorations possibles, il convient d'examiner l'état des parcours avant le développement des pratiques actuelles : Les sols étaient couverts à plus de 80%. Un équilibre était réalisé entre les différents constituants (arbres, arbustes, herbacées) de la phytocénose.

Les actuels parcours sont, comme on l'a précisé plus haut, très loin de cet état d'équilibre.

L'homme est le principal artisan de cette situation. Si l'élevage nomade paraît en effet bien adapté, il mérite cependant deux très graves critiques : Il ne ménage ni la régénération du parcours, ni les réserves fourragères.

L'exploitation étant poussée au maximum tant que le troupeau trouve à brouter. Peu à peu, le capital est ainsi consommé. A cette action directe, s'ajoute l'altération des milieux par les labours occasionnels. Ceux-ci sont non seulement d'un rendement très peu appréciable (au plus deux fois la semence), mais encore et surtout, interdisent le développement des éphémères livrant ainsi le sol à une érosion éolienne intense.

Régénérer de tels parcours, restaurer et maintenir les conditions indispensables à leur bon équilibre est une entreprise très difficile, presque surhumaine. Jusqu'ici, aucune des tentatives lancées de par le monde sous une pluviométrie inférieure à 200mm par an, n'a produit de résultats appréciables. Aux difficultés techniques, presque insurmontables, se sont ajoutées l'incompréhension, voire l'indiscipline des populations. Tenter et réussir une remontée biologique des pâturages sera une oeuvre de longue haleine nécessitant de gros crédits, de la persévérance et de la coopération des autorités et des populations locales.

Les méthodes à utiliser ne pourront être partielles, seul un plan d'ensemble réalisant progressivement les objectifs aura quelque chance de réussite. Ce plan devra respecter certaines conditions dont fondamentalement : Toutes les mesures préconisées devront être réalisées simultanément. Agir de manière sporadique, circonstancielle et non intégrés, équivaldrait à un gaspillage inutile de budgets importants et autres énergies colossales.

Les propositions avancées ici ne sont évidemment pas les seules mais, eu égard aux conditions de milieux de notre zone d'étude, elles nous semblent les plus indiquées.

2.1.2 Grandes lignes d'action

L'intervention de l'homme sur la nature, parce que disproportionnée, fonctionne comme activité néfaste aux équilibres naturels. Il devient de plus en plus claire que ce qui se perd n'est pas évident à reconstruire. Il faut arriver à recentrer nos activités et se créer des modes de gestions par lesquels, ce qui reste des sols, pourra assurer une production régulière faisant face à nos besoins sans agression sur la nature.

Les parcours actuels, très appauvris en plantes herbacées vivaces, reviendront à un état plus naturel par multiplication de ces dernières.

On activera le dynamisme en introduisant d'autres espèces vivaces, susceptibles de remplacer les annuelles. Ces plantes couvriront plus longtemps le sol et, par la matière organique commenceront à améliorer ses propriétés physiques.

- L'introduction d'espèces utilisera surtout des souches locales (saharo-tropicales et méditerranéennes), très bien adaptées aux variations climatiques de la zone.
- Le sol étant fortement dégradé et soumis à l'action de l'eau et du vent, des travaux mécaniques seront nécessaires pour lui rendre son rôle d'éponge et protéger les barrages contre l'envasement afin de lui garantir une durée de vie importante;
- Faute de végétation naturelle le sol ne pouvant plus servir de réservoir d'eau, les reboisements seront effectués au niveau des zones favorables pour diminuer voire freiner l'érosion hydrique et par conséquent faire jouer à la couverture végétale son rôle de protection, de pompe à eau et de condensateur d'humidité. Peu à peu le climat local se modifiera, d'abord insensiblement bien sûr, mais le cycle sol- végétation-climat, actuellement rompu sera réamorcé;
- Le vent sera également utilisé positivement pour assurer la dissémination des plantes introduites et déposer sur les zones, où la roche mère affleure, une première couche de substrat meuble.

2.2. Les contraintes à lever pour la réussite de l'aménagement de la zone

Toutefois, la mise en oeuvre de ces principes ne sera efficace que si certaines contraintes sont levées :

- Contrôle rigoureux de la charge pastorale
- Interdiction des labours ;
- Respect des périodes de germination, de reproduction et de dissémination des diverses catégories de végétaux ;
- Il faut prendre conscience que les pâturages doivent être établis, comme les cultures, sur de bonnes terres ;

Toute amélioration ne pourra être durable que si la surexploitation actuelle des systèmes écologiques est arrêtée. Pour que ce coût d'arrêt puisse être en même temps le point de départ de la remontée biologique, il doit comprendre une importante phase de protection absolue.

Cette mise en défens sera échelonnée dans l'espace et dans le temps. Néanmoins, elle se traduira par une perte de productivité. Celle-ci sera compensée grâce à une meilleure conception des troupeaux et par l'attribution de fourrages d'appoint. Une partie de ces derniers pourra d'ailleurs être fournie au niveau de la zone d'étude. ;

- A l'intérieur des mises en défens, des parcelles doivent être aménagées en vue de la régénération, de la multiplication et de la dissémination placées sous le vent et sous traitement agropastoral particulier ;
- Hors des parties réservées au pâturage ou aux mises en défens, une série de parcelles sera réservée aux plantations d'arbustes fourragers et aux reboisements.

2.3. Travaux d'aménagement préliminaires

Avant d'aborder l'amélioration des parcours steppiques par la voie biologique, il est impératif d'exécuter certains travaux mécaniques tels que la confection des digues et le travail du sol.

2.3.1 Travaux d'aménagement pour la diversion et l'épandage des eaux

L'épandage des eaux est une technique qui consiste à faire dévier la crue du lit normal d'un Oued et à lui permettre de submerger une (ou plusieurs) superficie (s) de terrain adjacent. Les eaux ainsi retenues par épandage offrent une réserve appréciable à gérer comme débits de cours d'eau intermittents pour entretenir et valoriser la production végétale.

- Le système le plus simple se présente sous forme d'une série de barrages de terre peu élevée qui retiennent une partie de l'écoulement provoqué par un orage. Les plantations seront installées directement dans les alluvions en amont des barrages;
- On peut utiliser également un système plus complexe qui consiste en un ouvrage de diversion pour acheminer l'eau hors de son chenal naturel jusqu'à la zone inondable, par une série de digues cascades en zigzag en travers de la pente, complété, pour éliminer les risques en cas de gros ruissellement, par un système de restitution de l'écoulement au lit normal de l'oued. Les sillons isohypses peuvent être utilisés pour assurer un épandage égal et prévenir la formation de rigoles.

De nombreux sites peuvent convenir à ce type d'aménagement, notamment au niveau des formations hydrologiques horizontales. En effet, à ce niveau, les sols d'apport alluvial sont profonds et perméables; ils absorbent rapidement l'eau et la libéreront sur une durée plus longue.

Ce type de système hydraulique d'épandage peut fonctionner indéfiniment sans perdre une part importante de sa capacité de stockage. Au fur et à mesure de l'accumulation des atterrissements, on pourra surélever les digues, de manière à faire retrouver à ces ouvrages leur capacité de retenue ou même l'augmenter.

2.3.2. Pitting/crochetage

Cette méthode a été développée pour régénérer les parcours en zone aride sur des terrains plus ou moins plats (0 à 3 %). Qu'il soit à disque ou à dent, le pitter crée des sillons ou des trous discontinus et altérés qui permettent de retenir l'écoulement de surface et éventuellement les graines emportées par le vent.

2.3.3. Fertilisation

L'application d'engrais organiques et minéraux, surtout engrais azotés influencé directement sur la valeur fourragère et la productivité, cet apport d'éléments essentiels au développement et à la croissance des végétaux.

2.3.4. Sillons de niveau

Les sillons de niveau s'avèrent très efficaces pour les terrains plus ou moins pourvus en végétation pérenne. La disposition du réseau des sillons doit être, à la fois plus ou moins parallèle aux courbes de niveau et perpendiculaire au sens de la pente afin de freiner le ruissellement et l'érosion en nappe. Par ailleurs, la technique de labour, actuellement appliquée, est très érosive ; elle consiste à recouvrir les semences jetées sur un sol non préparé par le passage d'une charrue à disque qui pulvérise l'horizon profond plus structuré.

Par conséquent, en raison de la nature dénudée du sol et de la puissante incidence des pluies, les opérations culturales doivent être exécutées par bandes selon les courbes de niveau.

2.4. Actions agro-sylvo-pastorales

Ces actions doivent être entreprises dans les parcours selon leurs natures et leur degré de dégradation.

2.4.1. Réduction de la pression pastorale ou mise en défens

Cette pratique est une très ancienne technique utilisée par les pasteurs du Maghreb. Le but de cette technique est de permettre une meilleure régénération des parcours naturels par un repos (sans pâturage) dont la durée est variable (Benrebiha, 1984).

Les actions à envisager vont avoir pour but la conservation de l'équilibre existant en certains endroits et la pérennité du couvert végétal. Pour réduire la pression écologique pastorale, (figure 34 et 35) il faut d'abord fixer le nombre de têtes à introduire dans les parcelles de parcours et régulariser la rotation pour parcourir le terrain.

Il faudrait aussi assurer la mise en repos par la mise en défense et régénérer artificiellement si c'est possible les milieux trop appauvris. L'établissement d'un règlement d'exploitation est souhaitable. La mise en repos de certaines parcelles s'impose pour pouvoir y trouver le complément pendant la période de disette.



Figure 34 : Parcours dégradé sous l'effet de la surexploitation



Figure 35 : Parcours à *Stipa tenacissima* dégradé

2.4.1.1. La mise en défens temporaire

La mise en défens temporaire, première mesure d'intervention, conduira à la restauration pastorale. Les parcours dégradés nécessitent une mise en défens de 6 à 16 mois. Cette durée de protection varie selon le site et la biologie des espèces, et le non pâturage se situera surtout entre mars et juillet (Bourbouze et Donadieu, 1987). L'effet des mises en défens est unanimement reconnu par les techniciens et bien souvent les éleveurs eux-mêmes. Ce type de mise en défens

pratiquait dans certaines structures pastorales traditionnelles depuis l'antiquité sous le nom de "Gdal". Ceci montre que le milieu peut réagir de façon très favorable et relativement rapide à la mise en défens, même en zone présaharienne.

2.4.1.2. La mise en défens de longue durée

C'est une soustraction d'une partie du parcours pendant une à trois années successives avec réalisation de travaux d'aménagement et poursuit un but de restauration du tapis végétal. Elle s'impose lorsqu'on est en situation de forte dégradation (Bourbouze et Donadieu, 1987).

Dans les parcours de notre zone d'étude les potentialités résident surtout dans le développement que peuvent prendre les espèces éphémères, à la fois en taille et en nombre. Dans l'état actuel de dégradation extrême où en sont actuellement ces parcours, il serait vain d'espérer une multiplication rapide des thérophytes et un accroissement important de leur couverture.

On a remarqué, en particulier dans les cites mises en défens, que l'alfa a prospéré et fleurir en plus l'apparition d'un cortège floristique très important dans ces parcours voir plus de 70 espèces (figure 36).



Figure 36 : Parcours à Alfa après mise en défens

Cette technique consiste d'abord à une mise en défens totale de 2 à 3 années consécutives selon le degré de dégradation et le parcours lui-même, permettrait d'obtenir un premier pallier d'amélioration. Ensuite, celle-ci pourrait être suivie, en automne d'une ouverture au pacage rationnel de 30 jours. La fermeture au troupeau devrait alors se maintenir jusqu'au 15 avril pour permettre la croissance normale des annuelles, une ouverture printanière sera permise allant du 15 avril au 15 mai. L'épiaison des graminées et leur semis serait à nouveaux protégés entre 15 mai et le 30 juin. L'ouverture serait permise du 30 juin au 10 août, la protection serait reprise jusqu'au 15 octobre pour favoriser la montée biologique des géophytes. Le même cycle serait

ensuite repris les années suivantes.

Il est bien évident que ce schéma général admettra quelques modifications. Une analyse floristico-écologique plus fine de notre terrain d'étude pourra être menée pour découper notre espace pastoral en parcelles et arrêter un programme de rotation plus précis avec comme objectif principal, disposer en toute saison d'une productivité convenable.

2.4.1.3. Ensemencement des parcours

Elle est souvent choisie pour pallier les difficultés que pourraient éventuellement rencontrer la plantation pastorale. Les zones aptes à la culture fourragère doivent être réensemencées surtout les terrains de Daias, les bas fond tel que Sed Oueld Si Ahmed sont aptes à cette culture annuelle mais il faut choisir les espèces qui s'adaptent à ce milieu, tenir en compte les écarts de températures et la rareté de la pluviométrie.

Il convient donc de disposer d'espèces adaptées aux conditions climatiques et édaphiques de la région. Les espèces qui pourront répondre à ces critères ont déjà fait l'objet d'étude dans ces milieux et ont donné des résultats forts intéressants. Le *Medicago* par exemple qui est une sorte de Luzerne annuelle, ainsi que d'autres plantes d'intérêt fourrager ont prouvé leur résistance à la sécheresse.

Afin de respecter un des principes fondamentaux d'amélioration définis plus haut, l'amélioration par ensemencement utilisera non des espèces isolées, dont l'emploi engendre souvent des déséquilibres, mais des mélanges d'espèces autant que possible autochtone équilibré vis-à-vis du rôle biologique (pédologie, concurrence intra-spécifique) et vis-à-vis de la productivité pastorale.

2.4.1.4. Techniques de rotation

La technique de rotation est un mode d'exploitation des parcours impliquant le déplacement rotatif des troupeaux sur des parcelles délimitées et selon un rythme plus ou moins régulier liée à la végétation et aux conditions climatiques (Bourbouze et Donadieu, 1987).

2.5. Action de reboisement

Cette action est souhaitable dans les sites favorables à la sylviculture. Le recours à des espèces forestières telle que *Pinus halpensis* et *cipri*, et d'arbustes fourragers ayant donné de bons résultats, sont recommandés.

2.6. Actions de fixation des dunes

Peu d'actions peuvent être entreprises pour contrer le déplacement généralisé du sable. Toutefois, les zones de prélèvement des sables par le vent devraient être mises à nouveau, en défens et fixées par les espèces végétales fixatrices des sables.

La protection mécanique des sables contre l'érosion éolienne, a pour objectif de limiter le phénomène de la saltation et de la reptation. «*La lutte contre ces deux phénomènes de déplacement des particules fines, consiste à maintenir les grains de sable sur place en diminuant la vitesse du vent près de la surface du sol (rappelons que 90 % du sable se déplace à une hauteur inférieure 50 cm* » (Chouial., 1999).

2.6.1 Principes généraux de fixation de dunes

Avant l'élaboration, de tout plan d'aménagement ou dispositif de lutte contre la remise en mouvement généralisée des sables, il faut prendre en considération les paramètres suivants :

- Il faut tout d'abord identifier les zones sources de sable dunaire; car cette donnée est indispensable pour l'élaboration de tous schémas et dispositif de lutte contre l'ensablement ;
- La prise en charge des vastes surfaces, déstabilisées à des degrés divers, niais unies par la dynamique dunaire ;
- La détermination de la direction des vents dominants efficaces ;
- La détermination de la direction de progression des dunes et l'estimation de la capacité potentielle du vent dans le transport du sable ;
- La mise en défens totale et de longue durée des surfaces traitées et des surfaces voisines, en prévoyant les modes de traitement des problèmes socio-économiques que soulève ce genre de mesure ;
- Dans les zones semi-arides et arides, où le sable reste sec et meuble pendant une longue durée de l'année, il faut assurer une fixation temporaire de ce sable afin de permettre à la végétation autochtone et introduite de bien s'installer.

2.6.2 La fixation mécanique

Appelée également fixation primaire, c'est la première étape de la fixation des dunes mobiles. Elle est temporaire et dure en général de 1 à 3 ans. Le principe fondamental consiste à installer des obstacles (palissades), capables à la fois de stabiliser les sables et de réduire ou d'assouplir la vitesse des vents, en laissant un pourcentage du sable s'infiltrer à travers le maillage des palissades, laa perméabilité doit être de 40 à 60 % (Guot, 1980).

2.6.2.1 Schéma d'intervention

L'analyse des données écologiques, climatiques, géomorphologiques et socioéconomiques recueillies dans la zone d'étude, nous a permis de concevoir le schéma de protection de la zone d'étude (choix des techniques d'intervention, choix des espèces, orientation des dispositifs etc.).

Le programme d'intervention doit tenir compte de certaines spécificités régionales, en particulier :

- L'importance de l'aspect socio-économique ou écologique du cordon dunaire;
- L'importance écologique, historique ou touristique du site.
- L'écologie et le climat de la zone en vue de maîtriser et planifier au mieux les travaux;
- L'estimation de l'intensité de l'ensablement et la détermination de la direction du transport de sable ;
- L'estimation des coûts d'intervention ;

2.6.2.3 Fixation mécanique des dunes à l'aide des produits végétaux

En général, les végétaux présentent pratiquement les mêmes caractéristiques, dont la principale est la facilité d'édifier des palissades, à l'aide de tiges ou de branches. Leur perméabilité et efficacité, sont souvent satisfaisantes. L'édification de la palissade se réalise par le tressage, l'assemblage ou arrangement des tiges (ou des branches) de façon qu'elles puissent former des brise-vent (ayant une perméabilité optimale et homogène sur toute la surface de la palissade).

2.6.3 Fixation biologique

Le boisement des dunes, représente la deuxième étape dans l'opération de fixation des formations sableuses. Cette étape intervient juste après la fixation mécanique des dunes. Elle peut assurer un recouvrement végétal permanent des dunes.

La fixation biologique est l'opération qui vise à mettre en place un recouvrement végétal permanent, afin de fixer les dunes de manière définitive. Le couvert végétal se fait souvent par le boisement artificiel des dunes.

2.6.3.1 Principe

La fixation biologique des dunes consiste à planter des végétaux arbustifs et arborescents qui constituent la couverture vivante, protectrice et stabilisatrice des sables mobiles, par l'action mécanique en réduisant la vitesse du vent, puis la fixation des sables par le système racinaire, et la formation de litière avec l'enrichissement des horizons superficiels en matière organique.

2.6.3.2 Boisement des dunes continentales

L'objectif principal du boisement des dunes, sont de sélectionner des espèces, qui s'adaptent mieux aux conditions climatiques de la région. Les techniques de plantation pratiquées doivent permettre aux plants de profiter rapidement de l'humidité du sol.

Dès le début, il faudra poser la question suivante: Quoi planter ? La réponse à cette question dépendra de beaucoup de paramètres. Le principe du choix des espèces à planter dans une zone donnée sera guidé nécessairement par les objectifs fixés dans le projet et par la capacité d'adaptation des espèces choisies aux conditions bioclimatiques de la zone.

Evidemment les espèces autochtones, les plus adaptées aux conditions locales seront toujours choisies préférentiellement aux espèces allochtones.

2.4.3.3 Choix des espèces

Les espèces qui peuvent être retenues dans la fixation biologique des dunes doivent répondre aux critères suivants

- Doivent résister aux aléas climatiques sévères, caractérisant le cordan dunaire ;
- Capacité d'adaptation à la sécheresse pendant une longue période ;
- Capacité de résister au déchaussement et à l'ensablement des racines ;
- Capacité de croissance rapide, pour remplacer l'effet protecteur des palissades ;
- un système racinaire large et pivotant et avec des chevelures ;
- une excellente capacité fixatrice pour protéger le sable contre le vent, par leur forme (branches denses étalées) et par leurs racines.

Les espèces arbustives qui peuvent être retenues et ont déjà montré leur adaptation dans le milieu sont :

Aristida pungens ; *Tamarix* ssp ; *Atriplex canescens* ; *Cactus* ssp, *Eleagnus angustifolia* ; *Lygeum spartum* ; *Prosopis juliflora* ; *Retama retam*

22.7. Scénario éventuel pour une stratégie de fixation des dunes

Vu les caractéristiques écologiques du cordon dunaire notamment, la direction du vent notre zone d'étude qui est du Nord-ouest vers le Sud est, le dispositif de fixation des dunes que ce soit mécanique ou biologique que l'on propose est illustré par le schéma.

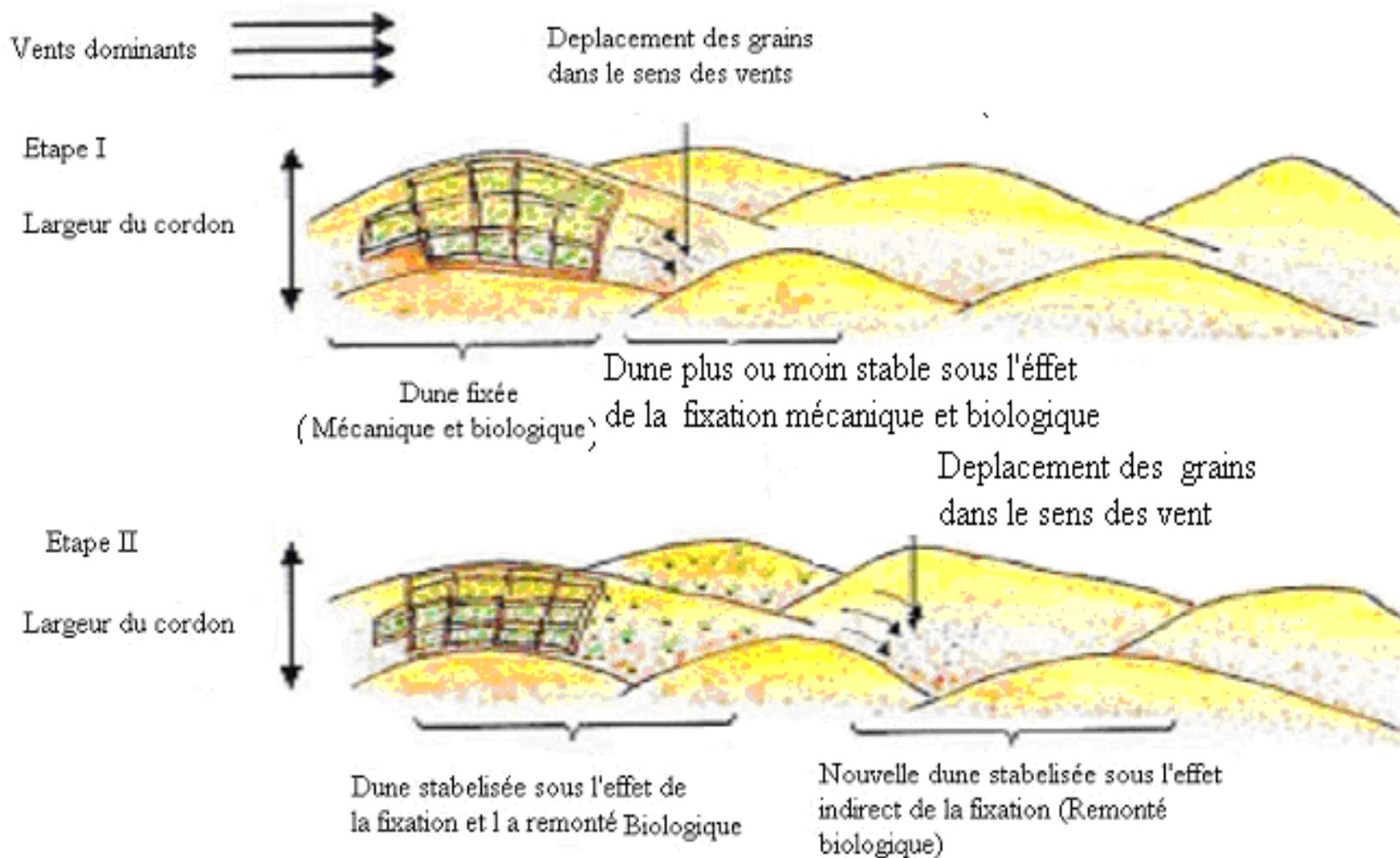


Figure 37 : Scénario pour une stratégie de fixation des dunes en fonction des caractéristiques écologiques de la zone.

Conclusion Générale

L'importance écologique et socio-économique des écosystèmes steppiques et présahariens d'une part, la dégradation de ces milieux et la nécessité d'un développement durable d'autre part, sont autant d'éléments qui justifient notre étude.

Nous avons ciblé, dans ce travail l'utilisation d'une série temporelle d'images de Landsat (T 1984, 2001 et 2013), pour le suivi et l'analyse de la dynamique Spatio-temporelle de l'occupation du sol d'une partie intégrante du bassin versant de Zahrez el Gharbi- Djelfa qui présente une diversité biophysique et socio-économique importante, avec une superficie de 3857Km², et sa situation de transition entre le Nord et le Sud de l'Atlas saharien.

Nous avons donc choisi d'introduire nos investigations par la présentation de la steppe Algérienne et de l'outil de travail télédétection. Ensuite nous avons entrepris la présentation de notre zone d'études, où nous avons mené les investigations nécessaires à une analyse Spatio-temporelle. Nous avons enfin ordonné les informations ainsi recueillies en vue de faire un état de lieu de nos parcours steppique.

La télédétection spatiale (série d'image Landsat TM 84, 2001 et 2013) nous a permis la discrimination et l'identification des différentes unités d'occupation du sol. Ces deux opérations sont accompagnées par l'analyse sur terrain.

Les résultats obtenus montrent que notre zone d'étude offre une diversité écologique très importante en liaison directe avec les facteurs édaphiques climatiques et anthropiques. La combinaison de ces différents facteurs détermine un éco-complexe où s'imbriquent diverses unités naturelles caractérisées par une physionomie et une dynamique en cours bien particulière. L'utilisation de l'outil géométrique télédétection et les investigations sur terrain ont permis l'identification de neuf unités naturelles leurs superficies variées entre 118804,84ha et 13066,91ha pour la première période plus l'unité de l'agglomération qui ne représente que 0,54% à 2,18%.

L'exploration d'une typologie précise des unités homogènes en places, le décodage de l'information écologique véhiculée par ces entités et d'estimer les caractères de la morpho-dynamique qui les affectent ainsi que leurs exploitations. La physionomie actuelle des milieux tient d'avantage de la dégradation liée soit aux facteurs anthropiques (Surpâturage, défrichement, arrachage...) soit aux facteurs climatiques et édaphiques.

De point de vue écologique et d'après nos résultats, la région d'étude, elle est sérieusement exposée au phénomène de la dégradation, toutes les unités composants notre zone ont connu une dégradation entre les deux périodes d'étude, elle est évaluée entre 7,49% et 22,85% pour 1984/2001 et 8,16% et 50,51% pour 2001/2013. En revanche est malgré la régression du tapis végétale on enregistré une remonté biologique encourageante

Dans l'ensemble de la zone d'étude, il apparaît un fort déséquilibre écologique. En effet les milieux stables, avec un taux de 46,95% et % 41,33% pour la période 1984/2001 et 2001/2013 respectivement, le reste est partagé entre la régression avec 26,62% et 36,57% et la progression entre 26,43% et 22,10% respectivement pour la première et la deuxième période.

Notre étude a permis d'apporter des enseignements précieux sur l'utilisation de la géomatique dans le domaine de l'analyse et de l'aménagement du milieu. Ainsi elle apparaisse comme une interface entre les chercheurs et les acteurs. Ce sont des outils de représentation d'une réalité, de compréhension des phénomènes et des conditions dans lesquelles ils se réalisent. Ce sont aussi des outils de dialogue entre partenaires et de communication entre disciplines par un constant aller-retour entre observation-interprétation-hypothèse-validation. La cartographie thématique est fortement simplifiée par l'outil géomatique : Les bases de données peuvent être modifiées à volonté et permettre ainsi aux utilisateurs potentiels de faire une considérable percée dans la modélisation grâce à la possibilité de visualiser indépendamment les effets et estimer l'importance de chacune des variables.

A l'issue de cette étude il y a lieu de souligner le gain en temps qu'offre la géomatique an facilitant l'analyse de l'espace et en accélérant sa finalisation. Il devient possible de discriminer et d'identifier des zones homogènes suivant l'aptitude envisagée d'une manière objective sur l'ensemble du territoire avec la mise en contribution divers thématiciens et spécialistes (écologues, pédologues, agronomes...). La menace de désertification est bien réelle. Les graves conséquences de ce phénomène sur les humains sont aujourd'hui largement perçues et appellent à placer la lutte contre la désertification comme préoccupation majeure en amont de tout effort d'aménagement des systèmes écologique fragilisés. Dans ce cadre, il est recommandé :

- D'expérimenter, de modéliser et d'expliquer la progression de la dégradation ;
- D'intensifier les recherches et les études dans ce domaine et d'impliquer plusieurs laboratoires de recherches spécialisés, tant au niveau national qu'international ;
- D'utiliser des outils technologiques performants tel que la géomatique, considérée comme une source d'information inépuisable et efficace ;
- De créer des équipes pluridisciplinaires, afin que plusieurs thématiciens et spécialistes puissent travailler en collaboration, en vue de développer des méthodes et des solutions communes pour la recherche, la collecte, l'accès, le partage et l'utilisation des données géospaciales en réponse aux besoins des différentes thématiques.

Enfin, comme perspectives, il convient d'œuvrer à la généralisation de cette méthodologie sur l'ensemble de la région steppique algérienne et d'impliquer dans la démarche plusieurs disciplines pour mieux cerner les problèmes de la steppe.

Références Bibliographiques

- Abdelguerfi A. et Laouar M., (1999) Les Espèces Pastorales et Fourragères, leurs utilisations au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). FAO-RNE. pp. 1-135.
- Achour H., (1983) Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima* L.) du Sud oranais Wilaya de Saïda. Thèse Doct. 3eme Cycle, Univ., H. Boumediene, Alger, 216 p.
- Aidoud A., (1983) Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais. Phytomasse, productivité primaire et applications pastorales. Thèse 3ème cycle, USTHB, Alger. 255 p.
- Aidoud A., (1984) Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des hauts plateaux Sud-Oranais, étude phyto-écologique et syntaxonomique. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumediène, Alger. 256p. + annexe.
- Aidoud, A., (1988) Les écosystèmes à Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*. Asso.), I : Caractères généraux. Bulletin d'écologie terrestre (Biocénoses), 3: pp. 1 -15.
- Aidoud A., (1989) Contribution à l'étude des écosystèmes pâturés des hautes plaines Algéro-oranaises. Fonctionnement, évaluation et évolution des ressources végétales. Thèse doct. USTHB, Alger. 240p.
- Aidoud F., (1989) Les groupements végétaux du bassin versant du Chott Ech-Cherguin (Hauts, plateaux du Sud Oranais). Bulletin d'écologie terrestre, BIOCENOSES Tome 4, N°12. pp. 1-27.
- Aidoud A. et Nedjraoui D., (1982) The steppes of alfa (*Stipa tenacissima* L) and their utilisation by sheeps. In Plant animal interactions in mediterrean-type ecosystems. MEDECOS VI,Grèce. pp. 62-67.
- Aidoud A. et Touffet J., (1996) La régression de l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes Algériennes. Revue Sécheresse n°3, vol.7 pp.187-193.
- Aidoud A., (1996) La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Revue Sécheresse, N° 7, (1996) pp187-193.
- Aidoud-Lounis, F., (1997) Le complexe alfa-armoïse-sparte (*Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba-alba* Asso, *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie : structure et dynamique des communautés végétales. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, Marseille. 263 p.
- Aidoud A., Le Floc'h E. et Le Houerou H.N., (2006) Les steppes arides du nord de l'Afrique. Revue Sécheresse 2006 ; Vol. 17 N°1-2 : pp. 19-30.
- Amghar Fateh, Estelle Langlois, Estelle Forey, Pierre Margerie., (2016) La mise en défens et la plantation fourragère : deux modes de restauration pour améliorer la végétation, la fertilité et l'état de la surface du sol dans les parcours arides algériens. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2016 20(3). pp.386-396.
- Anderson, J.R ; Hardy, H.H., Roach., J.T., Witmer, R.E., (1979) Land use and land cover classification system for use with remotesensor data. US geological Survey, professional Paper 964, Washington, DC. 28p.

- Ardö J., (1982) Volume quantitative of coniferous forest compartments using spectral radiance recorded by landsat Thematic Mapper International Journal of Remote sensing 13. pp 1179-1786.
- Arrignon J., (1987) Agro-écologie des zones arides et sub-humides. Ed : G .P . Maison neuve, Paris. pp. 13-27.
- Aubert G., (1960) Les sols sodiques en Afrique du Nord. Anale de l'Institut National Agronomique (INA, El Harrach), ORSTOM. pp. 35-48.
- Baatz M., Schâpe A., (2000) Multiresolution segmentation- a n optimization approach for high quality multy-scale image segmentation, Strobl, T., Blaschke T., Griesebner G., (Eds), In : Angewande Geograpische Informations verarbeitung. XII. Beitrage zun AGIt-Symp. Salsburg, Heidelberg : Wichmann-verlang. pp. 12-23.
- Bagnouls F. et Gaussen H., (1953) Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 88. pp. 193 - 239.
- Bagnouls F. et Gaussen H., (1957) Climats biologiques et leur classification. Ann. Géogr., 355, LXVI. pp 193-220.
- Bariou R., (1978) Manuel d'utilisation de télédétection. 2ème: Les applications de la photo interprétation dans le domaine des sciences de la terre. pp. 129-133.
- Bazil . P, Maurel. P, Gouanen. N., (2001) Télédétection satellitaire et gestion du territoire. Document de cours. Univ. Toulouse. 50p.
- Bedrani S., Benadjila M. et Benadjila S., (1991) Aperçu sur la législation et les modes d'utilisation par les animaux des terres publiques en Algérie. Actes du quatrième congrès international des terres de parcours. Vol n°2 ISBN 2-87614-102-7, Montpellier, France. pp. 895-899.
- Bedrani S., (1994) « Une recherche d'action en zone steppique (objectifs-méthode et premiers résultats) », Les cahiers du CRAED (Centre de recherche en Economie Appliquée pour le Développement) n°31/32, 3ème et 4ème trimestres.
- Bedrani S., (1995) Une stratégie pour le développement des parcours en zones arides et semi-arides. Rapp. Techn. Algérie, doc. Banque Mondiale. 61p + ann.
- Bellouam N., Beraud-Favede F. et Claudin J., (1975) Etudes écologiques de la ZDIP d'El-Biod, région de Méchéria (Algérie). 1 vol. multigr., 4 cartes, DEMRH, Alger.
- Benabadeli K., (1983) Mise au point d'une méthodologie d'appréciation de la pression anthropozoogène sur la végétation dans la région de Télagh (Algérie). Thèse doctorat de 3ème cycle, Aix-Marseille III. 183 p.
- Benabadji N. et Bouazza M., (2000) Contribution a une étude de la steppe à Artemesia herba alba dans l'Oranie, Algérie occidentale. Revue Sécheresse n° 2. Vol 11., (2000) pp. 17-123.

- Benanari A., (1996) La télédétection et les indices de végétation pour la détection de la végétation éparsée et moyennement dense : cas de l'environnement urbain. Université de Sherbrooke. Québec, Canada, Unpublished doctoral dissertation.
- Benfrid, M. et Ferrah, A., (1988) Les productions animales en Algérie : faible élasticité des productions classiques et émergence de l'aviculture industrielle. Rev. Centre Rech. Econom. Appl. Dév. , Alger, 14. pp. 71 -102.
- Benrebaha A., (1984) Contribution à l'étude de l'aménagement pastoral dans les zones steppiques cas de la coopérative pastorale d'Ain Ouessara (W de Djelfa). Thèse de magistère INA Alger. 160p.
- Bensid et Debouzie., (1996) Ségrégation spatiale dans l'implantation de l'Alfa et de l'Armoise dans les hautes plaines d'Algérie. Revue Ecologia Mediterranea XXII.6. pp.9-17.
- Bensaid A., (2006) SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Thèse de doctorat, Université d'Oran Es-Senia. 299 p.
- Beraud F., Claudin J. et Pouget M., (1975) Etude écologique de la Z.D.I.P. des Arbouets. Etude D.E.M.R.H., Alger, (non diffusée).
- Bolstad et Lillestad. , (1991) apid Maximum likelihood classification. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57. pp 67-74.
- Bonn F. et Rochon G., (1993) Précis de télédétection. Volume 1. Principes et méthodes. AUPELF-UREF. Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, 485 p.
- Bonn F, Rochon G et Pesant A., (1994) Précis de télédétection. Volume 1 : Principes et méthodes. Presses de l'université du Québec. Ed. AUPELF. 486p.
- Bonn et Rochon., (1996) Précis de télédétection. Volume 1. Principes et méthodes Presses de l'université du Québec. Ed. AUPELF. 485 p.
- Bonn F, Rochon G et Pesant A., (1996) Précis de télédétection. Volume 1 : Principes et méthodes. Presses de l'université du Québec. Ed. AUPELF. 486 p.
- Botschantzev. V., Mirochnitchenko. Yu., Pelt. N., Rodin., L et Vinogradov ? B , (1970) Etudes géobotaniques des pâturages du secteur ouest de département de Médea de la République
- Boudy, P., (1950). Economie forestière Nord Africaine. Tome II, monographie et traitement des essences forestières. Fasc. I. Edit. Larousse, Paris. 210p.
- Boudy., (1955) Economie forestière nord-africaine. Tome 4 : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Ed Larose. Paris. Région de l'Atlas saharien. pp 349-360.
- Boughani A., (1995) Contribution à l'étude de la flore et des formations végétales au sud des monts du Zab (Ouled djellal, Wilaya de Biskra) : phytomasse application cartographique et aménagement. Magister ISN ; Alger. pp 169-190.

- Boukhobza M. (1982) L'agro-pastoralisme traditionnel en Algérie, de l'ordre tribal au désordre colonial. Alger : OPU. 458 p.
- Boukhobza M. (1976). Nomadisme et colonisation. Analyse des mécanismes de déstructuration et de disparition de la société pastorale traditionnelle en Algérie. Thèse de 3ème cycle de Sociologie : Paris V.
- Bourbouze A. et Donadieu P., (1987) L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes. CIHEAM/IAM : Montpellier. 104 p.
- Bouzar W., (1988) La mauvance et la pause. Regards sur la société Algérienne. Presses du complexe graphique de Rghaia. 467 p.
- Brouri L., (2011) Impacts des changements climatiques sur la gestion durable des ressources pastorales et des parcours dans les zones arides et semi arides de l'Algérie. Communication à la manifestation scientifique « L'effet du changement climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du Maghreb », Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, du 21 au 24 Novembre (2011)
- Brown D.G., Duh J.D., and Drzyzga S.A., (2000) Estimating error in an Analysis of forest fragmentation change Using North American landscape Characterisation (NALC). Data. Remote sensing of environment. 71. pp106-117.
- Brown de Colstoun et al., (2003) National Park vegetation mapping using multitemporal Landsat 7 data and decision tree classifier. Remote sensing of Environment, 85, pp 316-327.
- Caloz, R., (1994) Teledetection satellitaire. Cours polycopiés, Lausanne, EPFL. 131 p.
- Caloz, R., Collet, C., (2001) Précis de télédétection; Vo. 3: Traitement numérique d'images de télédétection. Presse de l'Université de Québec et Agence Universitaire de la Francophonie, Sainte-For (Québec). 386 p.
- Camberlin P., Martiny N., Philippon N., Richard Y., (2007) Determinants of the interannual Relationships between remote sensed photosynthetic activity and rainfall in tropical Africa. Remote Sensing of Environment, 106. pp. 199-216.
- Celles J.C., (1975) Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois Algérie) ; Thèse Doct. Etat, Nice. 364 p.
- Chamignon C., (1990) Evaluation comparée des satellites à haute résolution spatiale en zone de moyenne et haute montagne méditerranéenne (Données de TM de Landsat et HRV de Spot). Thèse doctorat de l'université d'Aix-Marseille. 290 p.
- Cherril, A.J., Lanne, A., Fuller, R.M., (1994) The use of Classified landsat- 5 thematic Mapper imagery in the characterization of landscape composition : a case study in northern England/ Journal of environmental Management, 40. pp 357-377.
- Chirici., (2001) Testing IKONOS and Landsat 7ETM+ images for stand-level forest type mapping: A case study under Mediterranean conditions in proceeding « and analysis information for sustainable Forest management and biodiversity monitoring with special reference to Mediterranean ecosystem ».Palermo, Sicily (Italy) 4-7decembre 2001. 19 p.

- Chuvieco, E et Kasischke, E.S., (2007) Remote sensing information for fire management and fire effects assessment. *Journal Geophys. Rech ; Biogeosci. (G1)*. 112 p.
- Cohen W.B., Maersperger, T.K., Spies, TA., Oetter, D.R., (2001) Modelling forest cover attributes as continuous variables in the Pacific Northwest using Landsat imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 4. pp293-300.
- Cohen, W. B et Goward., (2004) Landsat's role in ecological applications for remote sensing. *Bioscience* 54. pp. 535-545.
- Congalton, R. G., Oderwald, R. G., and Mead, R. A., (1983) Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49. pp 1671-1678.
- Coppin P. et Bauer M., (1996) Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, 13. pp 207 - 234.
- Daoudi A., Colin J.P., Derderi A., Ouendeno M.L. (2015) Mise en valeur agricole et accès à la propriété foncière en steppe et au Sahara (Algérie). Montpellier : Pôle foncier. (Les cahiers du pôle foncier, n°13). 30 p. <http://www.pole-foncier.fr/documents/themes/politiquesfoncieres/item/mise-en-valeur-agricole-et-acces-a-la-propriete-fonciere-en-steppe-et-au-saharaalgerie.html>.
- D.S.A., (2003) Direction des Services Agricoles. Statistique agricole de la Wilaya de Djelfa.
- D.S.A., (2005) Direction des Services Agricoles. Statistique agricole de la Wilaya de Djelfa.
- Dean, A. M., Smith, G. M., (2003) An evaluation of perparcel land mapping using maximum likelihood class probabilities; *International Journal of Remote Sensing*, 24. pp 2905-2950.
- Deshayes M. et Maurel P., (1990) La télédétection en agriculture. Première partie : Principes généraux de la télédétection (L'image spatiale et son contenu). Actes du colloque de Montpellier 13-15 mars (1990) pp. 11-27.
- Desjardins., R, (2000) La télédétection : perspective analytique. ESTEM Éditions Scientifiques, Techniques et Médicales 7, rue Jacquemont, 75017 Paris. 220 p.
- Despois J., (1953) Développement de l'utilisation des terres de l'Algérie septentrionale. In/Histoire de l'utilisation des terres de zone aride. Le Hodna. P.245/262. UNESCO – Paris, (1961) Presses universitaires de France. Paris, 1953. 409 p.
- Djebaili S., (1978) Recherches phytosociologiques et phytoécologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct., Montpellier. 229 p.
- Djebaili S., Achour H., Aidoud F. et Khelifi H., (1982) Groupes écologiques édaphiques dans les formations steppiques du Sud-Oranais. *Bulletin d'écologie terrestre, BIOCENOSSES*. N°1, (1982) pp 7-59.
- Djebaili S., (1984) Recherche phyto-écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Ed. O.P.U. Alger. 140p.

- Djebaili S., (1984) Steppe Algérienne, phytosociologie et écologie. Thèse Doct. .Univ . Sc. Tech. De Languedoc Montpellier, OPU, Alger, (1984) 177 p.
- Djebaili S., (1987) Rapport phyto-écologie et pastoral de la wilaya de Djelfa. C.R.D.T.Alger. 159 p.
- Djebaili S., Djellouli Y et Daget., (1989) Les steppes pâturées des hauts plateaux algériens. Revue « Fourrage » 39 p.
- Djellouli Y., (1981) Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux oranais (Wilaya de Saïda). Comportement des espèces vis-à-vis d'éléments du climat, Thèse de doctorat de 3ème cycle, USTHB, Alger, 178 p.
- Djellouli Y. et Daget Ph., (1987) Climat et flore dans les steppes Sud-Ouest Algérien. Bull Soc Bot Fr 1987; 134 : pp. 375-384.
- Djellouli Y., (1990) Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct., USTHB., Alger. 210 p.
- Djellouli Y. et Nedjraoui D., (1995) Evolution des parcours méditerranéens. In Pastoralisme, Troupeau, Espaces et Société. Hatier ed., pp. 440-454.
- Dubief J., 1959. Le climat du Sahara. Vol. I, Inst. Rech. Sahar., Alger. 312 p.
- Duro D., Coops N.C., Wulder M.A., Han T., (2007) Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. Progress In Physical geography, 31 (3) : pp 235-260.
- Durrieus., (1994) Utilisation de la télédétection satellitaire pour la mise à jour de la carte des types de peuplements de l'inventaire forestier national (Application à une région forestière diversifiée de moyenne montagne). Thèse de Doct- CEMAGREF-ENGREF, Montpellier, France. 201 p.
- Emberger L., (1955) Une classification biogéographique des climats. Trav. Lab. .Bot. Géo. Zool. Fac
- Estiva et Puech., (1998) Régénération forestière après incendies. Travaux pratiques. Espaces et environnement méditerranéen. Université d'été internationl. Tunis du 12 au 25 juillet 1998 Ed. CNES-France et ministère de l'éducation de Tunisie. 22 p.
- Evenari, M., Shanant, L.,Tadmorn., (1971) The negev : the challenge of a desert. Harved univ. Press.
- Evenari, M., Schulze, E.D. et Lange, O.L., (1972) The diurnal course of carbon dioxide exchange and transpiration and its balance in regard to primary production. pp. 66-71 in: L.E. Rodin (ed.). Ecophysiological foundation of ecosystems productivity in arid zone. Naouka, Leningrad.
- Evenari, M., (1981) Synthesis. In Arid Land ecosystems (ed. D.W. GOUBALL and R.A. perry),

- FAO., (2017) Forêts méditerranéennes : production d'outils de décision et de gestion en matière de vulnérabilité des écosystèmes forestiers méditerranéens aux effets du changement climatique et valorisation des efforts d'optimisation des biens et services. Publié par l'Organisation des Nations Unies et Plan Bleu pour l'environnement. 27 p.
- Fiorella M., Ripple W., 1999 - Analysis of conifer forest regeneration using Landsat Thematic Mapper data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 9. pp. 1383 - 1388.
- Foody G.M., Boyd D.S., Cutler M.E.J., (2003) Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment* 85. pp. 463-747.
- Françlet, A. and Le Houérou, H.N. (1971) The Atriplex in Tunisia and in North Africa. FAO, Rome, Document No. b0020. pp. 189, 249.
- Fronco-Lopez, H., Ek, A.R., Bauer, M.E., (2001) Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. *Remote Sensing of Environment* 77. pp. 251-274.
- Gasparri N. I., Parmuchi M. G., Bono J., Karszenbaum H. & Montenegro C. L., (2010) Assessing multitemporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 74. pp. 1262 -1270.
- Girard M.C. et Girard C.M., (1989) *Télédétection appliquée : zones tempérées et tropicales*. Paris : graphique de Ragaia. 467 p.
- Girard M.C et Girard C.M., (1999) *Traitement des données de télédétection*. Paris : Dunod, 1999.
- Gong, P. et Xu, B., (2003) Remote sensing of forests over time : change type, methods, and opportunities. In M. Wulder and S. Franklin (Eds), *Methods and applications for Remote Sensing : Concepts and Case Studies* pp. 301-333. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA. 519 p.
- Greco J., (1966) *L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie*. OPU, Alger, 36 p.
- Guyot G., (1995) *La réflectance des couverts végétaux*. Photo-interprétation n°3, Edition ESKA. pp. 157-180.
- Guyot G et Seguin J., (1988) Review of factors affecting remote sensing of forest canopies, in *International Institute for applied System Analysis Processing: Seminar on remote sensing of forest decline attributed to air pollution, Laxemburg, Australia, Proceedings* april 1988. pp. 1-26.
- H.C.D.S., (1991) *Suivi technique d'une plantation dans la commune de Zaâfrane*. Rapport technique. Djelfa. 25 p.
- H.C.D.S., (1994) *Haut commissariat au développement de la Steppe*. Rapport d'activité Département d'aménagement Pastoral. 50 p.

- H.C.D.S., (2001) Haut commissariat au développement de la Steppe. Rapport du Ministère de l'agriculture, 27 p.
- H.C.D.S., (2003) Haut commissariat au développement de la Steppe. Rapport d'activité Département d'aménagement Pastoral. 50 p.
- H.C.D.S., (2005) Haut commissariat au développement de la Steppe. Rapport technique 30 p.
- Halem M., (1997) La steppe Algérienne : causes de la désertification et propositions pour un développement durable. Thèse de magistère. UNIV Sidi Bel Abes. 180 p.
- Halitim A., (1988) Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger. 384 p.
- Hall, F.G., Strebel, D.E., Nickson, J., Goest, S.J., (1991) Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. Remote sensing of Environment, 35. pp 11-17.
- Haralick R.M., (1986) Statistical image texture analysis. In Handbook of pattern recognition and image processing, edited by T. Y ; Yong and K.S. fu (New york Academic press. pp 247-279.
- Hirche A., Boughani A. et Salamani M., (2007) Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. Revue Sécheresse 2007 ; Vol. 18 N°4. pp. 314 - 320.
- Horler D. N. H. et Ahern F. J., (1986) Forestry information content of Thematic Mapper data. International Journal of Remote Sensing, 7. pp 405-428.
- Houmani, M., Houmani, Z. et Skoula, M. (2004) Intérêt d'Artemisia herba-alba Asso dans l'alimentation du bétail des steppes algériennes. Acta Bot. Gallica, 2. pp. 165-172.
- Hyde, P., Dubayah, R., Walker, W., Blair, J.B., Hofton, M., Hunsaker, C., (2006) Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/inSAR, ETM plus, Quickbird) synergy. Remote Sensing of Environment, 102. pp. 63-73.
- Jasinski, M. F. (1990) Sensitivity of the normalized difference vegetation index to subpixel canopy cover, soil albedo, and pixel scale". Remote Sensing of Environment, Vol. 32. pp.169-187.
- Jensen, J.R.,(2001) Remote Sensing of the Environment: An earth Resource Perspective. Upper Saddle River, New jersey, prentice Hall.
- Jensen J. R., (2004) Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Approach. 3rd Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, USA. 526 p.
- Kaabeche M., (1990) Les groupements végétaux de la région de Bou Saada (Algérie). Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. These Doct., Univ. Paris-Sud.
- Kadi-Hanifi-Achour., (1998) L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relations milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct., USTHB., Alger. 270 p.
- Kadik. B., (1983) Atlas d'anatomie des bois des conifères. Centre technique du bois. Vol 2. P 241.

- Kadik. B., (1987) Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halpensis* MILL) en Alger; Ecologie, dendromètre, morphologie. Office de publication universitaires Alger. pp. 253-270.
- Kangas, A et Maltamo, M., (2006) Forest inventory Methodology and Application. Published by Springer. 362 p.
- Kappen, I., Lange, O., Sculze, E., Evenari, M. et Buschbaum, U. (1972) Extreme water stress and photosynthetic activity of the desert plant *Artemisia herba-alba*. *Oecologia*, 10. pp. 177-182.
- Khader. M; K. Mederbal; M. Chouieb; A. Ababou; A. Hamimed et Z Mederbal., (2009) Detection by satellite data of the steppe courses degradation in semi-aride regions case of the forest of Senalba Chergui Djelfa (Algeria). *Egyptian Journal of Applied Sciences*. Edited and published by the Egyptian society of applied Science. pp. 362-369.
- Khalidi A., (2014) La gestion non durable de la steppe algérienne. *Vertigo*, septembre. [Consulté en avril 2016]. <https://vertigo.revues.org/15152>.
- Khelil A., (1997) L'écosystème steppique : quel avenir ?. Ed. Dahleb. Alger. 184 p.
- Kilpeläinen P. et Tokola T., (1999) Gain to be achieved from stand delineation in LANDSAT TM image-based estimates of stand volume. *Forest Ecology and Management*, 124. pp. 105 -111.
- Korkanc S.Y., (2014) Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. *Catena*, 123, 62-69. Lal R., 2000 Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304. pp. 1623 - 1627.
- Labadi., (1998) Principes et méthodes d'amélioration des pâturages en zone arides (steppe) séminaire. Pastoral, Alger. 36p
- Lapeyronie A., (1982) Les productions fourragères méditerranéennes. Ed. G.P, Maison neuve et Larousse (4). 425 p.
- Le Houerou H.N., (1959) Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Ouvrage, mémoire n°6, Institut de Recherches Sahariennes, Université d'Alger, publié avec le concours du CNRS. Première partie : Les Milieux Naturels, la Végétation, 281 p. Deuxième partie : La Flore. 229 p.
- Le Houerou, H.N., (1969). La végétation de la Tunisie steppique. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunis*, 42: 1. 624 p.
- Le Houerou H.Net Fromen., (1979) La désertification des régions arides. *Rev. Recher.* 99, Vol. 10.
- Le Houerou H.N., (1985) La régénération des steppes Algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger, ronéotypé.

- Le Houerou HN., (1991) La méditerranée en l'an 2050. Impacts respectifs d'une éventuelle évolution climatique et de démographie sur la végétation. La désertification n° 129. pp. 19-25.
- Le Houerou HN., (1993) Changements climatiques et désertisation. Revue Sécheresse 1993 ; Vol.N°4. pp. 95-111.
- Le Houerou H.N., (1995a) Dégradation, régénération et mise en valeur des terres sèches d'Afrique du Nord. Coll. « L'homme peut-il faire ce qu'il a défait ? » ORSTOM, Tunis. pp 65-102.
- Le Houerou HN., (1995b). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. Option Médit. Série B n°10. CIHEAM et ACCT. 396 p.
- Legg., (1982) Remote Sensing and géographique information Systems. Geological mapping, mineral exploration and mining. Ed. Ellis Horwood. England, 166 p.
- Letreuch. B.N. (1972) Etude de la régénération des peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* M.) : Techniques sylvicoles - Djelfa. Mémoire d'ingénieur. INA-Alger. 89 p.
- Liang, S., (2004) Qualitative remote sensing of land surface. Hoboken, New Jersey : John Wiley et sons ; INC. 543 p.
- Maire R. (1953) Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Alger : Baconnier, 1926.
- Maire R., (1938) Etudes sur la flore et la végétation du Sahara Central, I ed. IL Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, n° 3, missions du Hoggar, 1938. pp. 48-50.
- Maniere R., (1987) Télédétection spatiale et aéroportée et système d'information géocodée sur l'environnement. Principes généraux et étude de quelques domaines d'application. Thèse Doc. UNIV .EX .Marseille, 260 p.
- Mather, P.M., (2004) Computer processing of remote sensed image. 3rd ed. West Essex : John Wiley et sons, Ltd..
- McRoberts R.E., Tomppo, E.O., (2007) Remote sensing support for national forest inventories. Remote sensing of Environment. 110. pp 412-419.
- Mederbal K., (1980) Les données Landsat et la phyto-écologie. Application à la région de Djelfa (Algérie) . DEA, Univ Aix-Marseille, 100 p
- Mederbal K., (1983) La télédétection aérospatiale et la phyto-écologie. Application à deux régions naturelles d'Algérie : Le littoral (Mostaganem) et l'Atlas saharien (Djelfa). Thèse 3ème cycle, Université d'Aix Marseille III. 178p.
- Mederbal K., (1982) Compréhension des mécanismes de transformation du tapis végétal: approches phytoécologiques par télédétection et dendroécologie de *Pinus halepensis* Mill dans l'Ouest Algérien, Thèse de doctorat d'Etat, Université d'Aix-Marseille III. 229 p.

- Mohammedi H., Labani A. et Benabdeli K., (2006) « Essai sur le rôle d'une espèce végétale rustique pour un développement durable de la steppe algérienne », Développement durable et territoire, Varia, mis en ligne le 17 juillet (2006)
- Monjauze A., (1947) La touffe d'Alfa. Archives Gouvernement Général d'Algérie. 1 volume multigraphe, 29 p.
- Morawitz, D.F., Blewett, T.M., Cohen, A., et Alberti, A. (2006) Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound." Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 114: pp. 85-106. doi: 10.1007/s10661-006-1679-z
- Mouissa H., (2014) Evolution des peuplements de Pin d'alep cartographie et estimation du volume de bois par télédétection. Cas de la forêt domaniale de senelba chergui, Wilaya de Djelfa ; Thèse de Doctorat en Sciences. Ecole Supérieur Agronomique El Harrache. 170 p.
- Moulay, A; Benabdeli, K. et MORSLI, A., (2011) Contribution a l'identification des principaux facteurs de dégradation des steppes a *Stipa tenacissima* du sud-ouest Algerien Mediterranea Serie de Estudios Biológicos 2011 Época II N° 22. pp149-88.
- Muldavin, E.H., Neville, P., Harper, G., (2001) Indices of grassland biodiversity in the Chihuahuan desert ecoregion derived from remote sensing. Conservation Biology 15. pp 844-855.
- Nahal. I., (1986) Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. CIHEAM-Options Méditerranéennes. N° 1. pp 1-9.
- Nedjraoui D., (1981) Evolution des éléments biogènes et valeurs énergétiques dans trois principaux aciers de végétation des Hautes Plaines steppiques de la wilaya de Saida. Thèse Doct. 3ème cycle, USTHB, Alger. 156 p.
- Nedjraoui D., (1990) Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) aux conditions stationnelles. Thèse Doct. USTHB, Alger. 256 p.
- Nedjraoui D., (2001) Country Pasture / Forage resource profiles (Algérie) URDT. UNIV. SC. Tech. Alger. 22p.
- Negre R., (1962) Petite flore des régions arides du Maroc occidental. C.N.R.S., Paris, vol 2. 566p.
- Nicholson, S.E.; Davenport, M.L.; Malo, A.R. A (1990) Comparison of the vegetation response to rainfall in the Saheland East Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA/AVHRR. Clim. Chang. 1990, 17. pp. 209–241.
- ONM., (2014) Office National de la Météorologie Station de Djelfa., (2014)
- Oppeneimer, H.R., (1961) L'adaptation à la sécheresse : le xérophytisme .in : Echanges hydriques des plantes en milieu aride ou semi-aride. rech.zone aride. UNESCO, Paris. pp.115-153.
- Ouaffai A., Brague A et Khader M., (2000) Intérêt fourragers de l'Atriplex canescens (Etude diachronique de la productivité et nutritive). Séminaire National sur la Biologie de la flore des zones arides et sahariennes : Bilan (1980-2000). Perspectives pour la lutte contre la désertification dans les zones steppiques : 20-21 Nov2000 El Bayadh. pp18-41.

- Ozenda P., (1954) Observation sur la végétation d'une région semi-aride : les hauts plateaux du sud Algérois. Bull. SOC. Hist. Nat Afr. Nord, 45, 3-4 . pp. 189-223.
- Ozenda P, Borel JL (1990). The possible responses of vegetation to a global climatic change = scenarios for western Europe, with special reference to the Alps. Proceed. Europ. Conf. Lunteren, I.O.S. Press, Amsterdam., pp 221-24
- Pal, M., Mather, M.P., (2003) An Assessment of the effectiveness of decision tree method for land cover classification. *Remot Sensing Of Environment*, 86. pp 554-565.
- Pierre C., Bergametti G., Marticorena B., Mougin E., Lebel T., Ali A., (2011) Pluriannual comparisons of satellite-based rainfall products over the Sahelian belt for seasonal vegetation modelling. *Journal of Geophysical Research*. 116p.
- Pouget M., (1971) Etude Agro -Pedologique du bassin du zahrez Gharbi (feuille rocher .de sel) direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. 220 p.
- Pouget M., (1980) Les relations sols végétation dans les steppes sud Algéroises. Travaux et document. OST ROM. n°116. Paris, 555 p.
- Pourrat, Y. et Hubac, C. (1974) Comparaison des mécanismes de la résistance à la sécheresse chez deux plantes désertiques: *Artemisia herba-alba* Asso. et *Carex pachystilis* (J. Gay) Asch & Graobn. *Physiol. Veg.*, 12. pp.135-147.
- Powel, S.L., Cohen, W.B., Healey, S.P., Kennedy, R.E., moisen, G.G., Pierce, K.B., Ohmann, J.L., (2010) Quantification of live aboveground forest biomass dynamics with Landsat time-series and field inventory data : A comparison of empirical modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, 14. pp 1053-1068.
- Quezel P., (1974) Les forêts du pourtour méditerranéen. U.N.E.S.C.O, « Programme Homme et Biosphère »;. Com. Nat. Fr. Mab. pp 1-53.
- Quezel P. et Barbero M., (1982) Definition and characterisation of mediterranean type of ecosystems, *Ecologia mediterranea*, T. VIII, 1-2. pp 15 – 29.
- Ramade, F., (1982) *Éléments d'écologie : Ecologie fondamentale* ; Edition DUNOD . 689p.
- Rambal, S.; Cornet, A., (1982) Simulation de l'utilisation de l'eau et de la production végétale d'une phytocénose sahélienne du Sénégal. *Acta Oecologica/ Oecologia Plantarum* 1982, 3. pp. 381–397.
- Richards J. A., (1986) *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, London, Paris, Tokyo, 281 p.
- Rochier, D.A., Rumbachs R.M., (2004) Broad-scale mapping of temporary wetlands in arid Australia. *Journal of Arid Environments*, 56. pp 249-263.

- Rodin E, Vinogradov B et Myburg H.S. (1970) Etude géobotanique des pâturages du secteur ouest du département méder Liningrad. 124p.
- Rouse, J. W., Haas, R. W., Shell, seering, D. W., Harlan, J.C., (1974) Monitoring the Vernal Advancement of retrogradation (Grenwave effect) of Natural Vegetation. NASA/GSFC Type III Final Repport, Greenbelt, Maryland, USA. 164 p.
- Sader S. A., Bertrand M. & Wilson E. H., (2003) Satellite change detection of forest harvest patterns on an industrial forest landscape. *Forest Science*, 3. pp. 341 - 353.
- Sader, S.A. et Winne, J.C. (1982) "RGB-NDVI colour composites for visualizing forest change dynamics." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 13: pp. 3055-3067. doi: 10.1080/01431169208904102.
- Schowengerdt R.A., (1997) *Remote Sensing : Models and methods for Image Processing*, 2ed, Academic press, San Diedgo. 522p.
- Scott J., Salvaggio C., Volchok W., (1988) radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. *Remote Sensing of Environment*. 26. pp 1-16.
- Sedar S.A., Bertrand M., Wilson, E.H., (2003) Satillite change detection of forest harvest patterns on an industrial forest landscap. *Forest Science* 49 (3) (2003)
- Seguis. L. et Puech C., (1997) Méthode de détermination des invariants radiométriques adaptée au paysage semi-aride de l’Afrique de l’Ouest. *INT. Remote sensing*, 1997, Vol. 18, N° 2. pp. 255-271.
- Sellers, P.J. (1985) "Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 6: pp. 1335 -1372. doi: 10.1080/01431168508948283
- Seltzer P. 1946 : *Le climat de l’Algérie*. Alger, Algérie, Institut de météorologie et physique du globe. 219 p.
- Sing A., (1985) *La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes*. G.P. Maisonneuve et Larouse, France. pp 173-195
- Slimani, H., Aidoud, A. et Roze, F. (2010) 30 years of protection and monitoring of a steppic range land undergoing desertification. *J. Arid Environ.* , 74. pp. 685-691.
- Soudani. K., (2007) *Introduction générale à la télédétection (Version 1.0-Mars 2005 Université Paris sud 2006/(2007) 26 p.* www.esse.u-psud.fr.
- Stefanov, W. L. Ramsey, M. S., Christensen, P. R. (2001) Monitoring urban land cover change: An expert system approach to land cover classification of semiarid to urban centers." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 77: pp. 173–185. doi: 10.1016/S0034-4257(01)00204-8
- Stewart Ph., 1946. *Le climat de l’Algérie*. Carbonnel, Alger. 219 p.
- Stewart Ph., (1968) Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 59 (1- 4). pp. 23- 36.

- Tuner W., Spector S., Gaediner n., Fladeland M., Sterling E., Steininger M., (2003) Remote sensing for biodiversity science and conservation trends In *Ecologie & evolution* 18(6). pp 306-314.
- Volcani A., Karnneili A and Sforay T., (2005) The use remote sensing and Gis for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. *Forest Ecology and Management*, N°215,200. pp. 239-250.
- West P.W., (1995) Application of regression analysis to inventory data with neasurements on successive occasion. *Forest Ecologie and Management* 71. pp227-234.
- Wilson, E.H., et Sader, S.A. (2002) Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery.” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80. pp. 385–396. doi:10.1016
- Wulder M. A. et Han T., (2007) Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. *Progress In Physical Geography*, 31. pp. 235-260.
- Young RL, Weinberg J, Vieira V, Ozonoff A, Webster TF., (2011) Generalized additive models and inflated type I error rates of smoother significance tests. *Comput Stat Data Anal* 55: pp 366–374. [https://doi.org/10.1016/j.csda.\(2010\)05.004](https://doi.org/10.1016/j.csda.(2010)05.004)
- Zhang Y. et Zhao W., (2015) Vegetation and soil property response of short-time fencing in temperate desert of the Hexi Corridor, northwestern China. *Catena*, 133. pp. 43-51.
- Zhou Q. et Robson, M., (2001) Automated rangeland vegetation cover and density estimation using ground digital images and a spectral–contextual classifier. *International Journal of Remote Sensing*, 22. pp. 3457 - 3470.
- Zhou, Q., Robson, M., (2001) Automated rangland vegetation cover and density estimation using groud digital images and spectral-contextual classifier. *International Journal of Remont Sensing.*, 22. pp. 3457-3471.

ANNEXES

Les températures maximales de la station ONM de Djelfa (Période 1975 à 2014)

| Tmax/ M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1975 | 10.1 | 10.5 | 12.2 | 16.9 | 21.1 | 27.9 | 24.6 | 31.8 | 28.2 | 21.2 | 12.3 | 9.4 |
| 1976 | 9.5 | 8.9 | 11.6 | 16.9 | 21.7 | 27.6 | 31.1 | 31.5 | 25.3 | 16.8 | 11.3 | 11.9 |
| 1977 | 10.9 | 14.2 | 18.7 | 19.9 | 22 | 27.6 | 33.6 | 30.6 | 27.1 | 21.7 | 15.3 | 13.2 |
| 1978 | 9.1 | 14.3 | 14.6 | 17.6 | 21.7 | 28.6 | 33.1 | 32.3 | 27.2 | 18.4 | 12.9 | 13.9 |
| 1979 | 11.3 | 11.6 | 14.2 | 15.9 | 23.5 | 29.9 | 34.4 | 33.2 | 25.6 | 20.2 | 12.8 | 12.1 |
| 1980 | 10.5 | 13 | 13.4 | 16.5 | 19.8 | 30.9 | 33 | 34 | 28.4 | 20.1 | 13.7 | 7.3 |
| 1981 | 7.7 | 10.8 | 18.7 | 18.6 | 24.4 | 30.4 | 32.7 | 30.6 | 27.5 | 23.6 | 16.6 | 12.8 |
| 1982 | 11.4 | 11.8 | 14.9 | 16.2 | 22.8 | 31.3 | 34.4 | 33.1 | 27.8 | 19.4 | 12.7 | 8.2 |
| 1983 | 12.2 | 11.5 | 15.8 | 20.6 | 22.5 | 29.9 | 34 | 33.2 | 27.9 | 22.4 | 16.8 | 11.5 |
| 1984 | 9.94 | 9.9 | 13.3 | 19.6 | 20.4 | 29.6 | 34.6 | 32.1 | 27.3 | 18.1 | 15.9 | 9.4 |

| Tmax/M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1985 | 8.1 | 16 | 12.3 | 20.6 | 21.7 | 32 | 34.9 | 32.9 | 27.7 | 20.8 | 15.9 | 10.4 |
| 1986 | 8.7 | 11.4 | 12.6 | 17 | 27.2 | 28.6 | 31.3 | 34 | 27.4 | 20.3 | 12.9 | 9.0 |
| 1987 | 9.3 | 10.7 | 15.5 | 22.5 | 23.5 | 30.4 | 33 | 34.1 | 30.0 | 23.3 | 13.4 | 13.0 |
| 1988 | 10.8 | 11.6 | 15.4 | 19.9 | 24.3 | 27.9 | 34.5 | 33.8 | 26.7 | 22.8 | 15.4 | 9.2 |
| 1989 | 9 | 12.8 | 17.3 | 16.8 | 24.2 | 27.5 | 32.7 | 33 | 28.3 | 22.0 | 17.4 | 14.1 |
| 1990 | 8.1 | 17.2 | 16.4 | 17.1 | 22.6 | 31.5 | 32.6 | 31.9 | 30.7 | 23.1 | 14.8 | 8.7 |
| 1991 | 9.6 | 9.2 | 14.1 | 15.5 | 20 | 29.4 | 34.1 | 33.2 | 28.3 | 18.5 | 14.3 | 8.6 |
| 1992 | 9 | 12.1 | 12.3 | 16.4 | 21.9 | 25.6 | 31.1 | 33.5 | 29.5 | 21.4 | 15.9 | 11.2 |
| 1993 | 11.2 | 9 | 14.6 | 17.6 | 23.6 | 31.4 | 34.5 | 33.4 | 25.6 | 22.1 | 13.8 | 11.9 |
| 1994 | 9.5 | 13.3 | 17.6 | 16.9 | 28.6 | 31.9 | 35.7 | 35.5 | 27.6 | 19.6 | 16.3 | 12.0 |

| Tmax/ M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1995 | 9.7 | 15.4 | 13.9 | 17.7 | 26.3 | 29.3 | 34.7 | 32.3 | 26.0 | 21.1 | 16.5 | 12.7 |
| 1996 | 10.7 | 8.2 | 13.4 | 16.5 | 21.4 | 26 | 31.9 | 32.8 | 24.5 | 2.3 | 15.4 | 12.0 |
| 1997 | 9.7 | 14.2 | 16.1 | 16.6 | 24.3 | 30.8 | 33.8 | 31.2 | 25.2 | 21.0 | 14.1 | 10.9 |
| 1998 | 10 | 12.9 | 15.7 | 19.2 | 20.8 | 29.8 | 34.9 | 32.9 | 28.6 | 18.9 | 14.8 | 9.8 |
| 1999 | 8.8 | 8 | 13.5 | 2.5 | 27.3 | 32.5 | 34.2 | 36.1 | 28.0 | 23.8 | 12.4 | 9.1 |
| 2000 | 9.1 | 14 | 17.6 | 20.2 | 25.1 | 29.7 | 34.5 | 32.8 | 27.5 | 18.5 | 15.1 | 12.8 |
| 2001 | 10.2 | 11.6 | 19.2 | 19.1 | 23.3 | 32.6 | 35.4 | 33.9 | 28.1 | 25.6 | 14.2 | 10.9 |
| 2002 | 10.7 | 14.6 | 16.8 | 18.6 | 24 | 31.4 | 31.1 | 31.1 | 26.7 | 22.8 | 14.3 | 12.1 |
| 2003 | 8.2 | 9 | 15.7 | 18.9 | 24.7 | 31.3 | 35.5 | 33 | 26.7 | 22.8 | 14.3 | 12.1 |
| 2004 | 10.4 | 14.7 | 16.3 | 17.2 | 18.9 | 29.3 | 32.9 | 33.9 | 26.9 | 23.7 | 13.0 | 8.9 |

| Tmax/M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2005 | 8.9 | 8 | 16.1 | 20 | 28.1 | 30.5 | 36.2 | 33.1 | 26.2 | 21.8 | 14.2 | 8.8 |
| 2006 | 6.3 | 9.1 | 16.7 | 22.1 | 26 | 30.6 | 34.2 | 33 | 25.5 | 24.7 | 16.2 | 9.0 |
| 2007 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 16.7 | 23.3 | 31.2 | 34.4 | 33.5 | 28.2 | 20.3 | 14.1 | 9.6 |
| 2008 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 16.7 | 23.3 | 31.2 | 34.4 | 33.5 | 28.2 | 20.3 | 14.1 | 9.6 |
| 2009 | 12.2 | 13.4 | 15.5 | 21 | 23.4 | 28.7 | 35.3 | 33.8 | 26.9 | 18.5 | 11.8 | 8.1 |
| 2010 | 11.1 | 13 | 15.8 | 20 | 21.6 | 29.6 | 35.1 | 34 | 27.2 | 21.2 | 14 | 13.1 |
| 2011 | 11.8 | 10.1 | 13 | 21.3 | 22.6 | 27.8 | 33.5 | 34 | 29.8 | 20.1 | 14 | 9.9 |
| 2012 | 9.6 | 6.6 | 14.6 | 17.3 | 25.9 | 33 | 35.8 | 35.3 | 27.6 | 21.6 | 15.2 | 10.7 |
| 2013 | 9.7 | 9.9 | 14.8 | 19.5 | 22.1 | 29 | 33.7 | 32.4 | 27.8 | 26.1 | 12.6 | 9.6 |
| 2014 | 10.3 | 12.6 | 12.1 | 21 | 25.3 | 28 | 34.1 | 34.1 | 29 | 24.4 | 15.9 | 8.9 |

Les températures minimales de la station ONM de Djelfa (Période 1975 à 2014).

| Tmin/ M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|---------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 1975 | -1.3 | 0.4 | 2 | 5.6 | 8.9 | 12.5 | 17.1 | 15.7 | 13.6 | 5.9 | 2.0 | 0.6 |
| 1976 | -2.7 | 0.8 | 3.6 | 4.5 | 8.7 | 12.9 | 16.9 | 16.3 | 12.5 | 7.8 | 2.3 | 2.3 |
| 1977 | 1.4 | 2 | 2.4 | 5.1 | 7.9 | 12.6 | 18.3 | 16.1 | 11.9 | 8.4 | 3.7 | 2.9 |
| 1978 | -1.3 | 4 | 2.2 | 5.8 | 8.6 | 13.9 | 15.4 | 15.9 | 11.7 | 6.2 | 0.8 | 3.9 |
| 1979 | 4.1 | 3.5 | 3.1 | 4.3 | 8.5 | 15.8 | 18.5 | 17.3 | 13.5 | 9.9 | 1.8 | 1.1 |
| 1980 | 0.5 | 1.6 | 3.4 | 5.2 | 8.3 | 14.6 | 15.9 | 17.7 | 15.1 | 7.1 | 5.9 | -1.1 |
| 1981 | -0.9 | 0.5 | 4.9 | 7 | 10.6 | 15.3 | 17.1 | 13.6 | 13.7 | 10.0 | 2.3 | 3.8 |
| 1982 | 1.3 | 2.4 | 2.1 | 5.4 | 10.4 | 16.4 | 17.4 | 18.1 | 14.5 | 8.4 | 4.1 | -3.6 |
| 1983 | -0.3 | 1.1 | 2.4 | 6.9 | 10.5 | 14.4 | 18.4 | 18.3 | 13.8 | 8.7 | 7.0 | 3.9 |
| 1984 | 5.29 | 1.7 | 1.6 | 7.7 | 7.4 | 15.5 | 18 | 17.7 | 13.5 | 7.4 | 3.1 | 1.1 |

| Tmin/ M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|---------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 1985 | 0.4 | 3.5 | 1.8 | 6.5 | 9.1 | 17.3 | 19.2 | 17.8 | 12.9 | 8.2 | 6.9 | 1.5 |
| 1986 | 0.9 | 2.7 | 2.8 | 4.9 | 11.9 | 14 | 15.6 | 18.3 | 13.1 | 9.6 | 3.3 | -1.2 |
| 1987 | -0.6 | 2.2 | 3.5 | 7.2 | 9.8 | 15.7 | 19.4 | 19.5 | 15.1 | 11.1 | 3.9 | 3.3 |
| 1988 | 1.9 | 1.5 | 2.8 | 7.1 | 11.2 | 15.3 | 18.8 | 18.6 | 11.8 | 9.3 | 5.9 | -0.3 |
| 1989 | -1.1 | 0.7 | 3.6 | 5.5 | 10.4 | 14.5 | 18.5 | 19 | 15.2 | 10.0 | 6.4 | 4.5 |
| 1990 | 1.9 | 1.5 | 3.9 | 5.9 | 11.7 | 16.9 | 17.8 | 16.9 | 17.3 | 10.1 | 4.9 | 5.4 |
| 1991 | -0.7 | 0.8 | 4.5 | 4.9 | 7.5 | 14.7 | 18.4 | 16.5 | 15.0 | 9.3 | 3.1 | 4.5 |
| 1992 | -1.6 | -1.5 | 2.4 | 4.9 | 9.3 | 11.4 | 16.3 | 16.8 | 13.6 | 8.2 | 7.4 | 1.6 |
| 1993 | -2.7 | 5.1 | 3 | 4.5 | 10.8 | 17.2 | 19.4 | 18.2 | 12.4 | 10.6 | 5.4 | 1.1 |
| 1994 | 1.6 | 2.6 | 4.3 | 4.7 | 12.1 | 16 | 12.9 | 19.4 | 14.3 | 10.5 | 5.1 | 0.9 |

| Tmin/ M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|---------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 1995 | 1 | 2.2 | 2.9 | 4.1 | 11.4 | 15.7 | 19.3 | 17.8 | 13.9 | 9.5 | 5.4 | 4.7 |
| 1996 | 3.2 | 1 | 3.6 | 5.7 | 8.5 | 12.3 | 16.4 | 18.3 | 11.4 | 6.4 | 4.2 | 2.8 |
| 1997 | 1.8 | 1.5 | 1 | 6 | 11.1 | 15.1 | 18.6 | 17.2 | 13.6 | 9.6 | 5.1 | 2.3 |
| 1998 | 0.9 | 1.2 | 1.8 | 5.9 | 9.6 | 15.3 | 18.1 | 17.9 | 16.0 | 6.5 | 3.9 | -1 |
| 1999 | 0.8 | 2.8 | 3.4 | 5.9 | 12.7 | 17.4 | 18.4 | 20.9 | 15.5 | 11.9 | 3.7 | 1.1 |
| 2000 | -3.5 | -0.3 | 3.3 | 6.3 | 11.8 | 14.1 | 19.6 | 16.5 | 13.8 | 8.4 | 4.8 | 1.8 |
| 2001 | 1 | 0.2 | 6.2 | 5 | 9.6 | 16.2 | 19.6 | 19.3 | 15.4 | 12.7 | 4.0 | 1.1 |
| 2002 | 0.7 | 0.5 | 4 | 6.4 | 10.8 | 16.1 | 18.3 | 17.9 | 13.2 | 9.3 | 5.7 | 3.2 |
| 2003 | 0.9 | 0.7 | 4.1 | 6.8 | 10.5 | 16.9 | 20.1 | 18.9 | 14.1 | 11.7 | 5.0 | 1.1 |
| 2004 | 1.1 | 1.6 | 4 | 5.4 | 8 | 14.9 | 18 | 19.1 | 13.9 | 11.5 | 2.8 | 1.4 |

| Tmin/ M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|---------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2005 | -3.2 | -2.1 | 4.6 | 6.5 | 12.5 | 16.1 | 20.9 | 18.5 | 14.0 | 10.7 | 4.3 | 0.8 |
| 2006 | -0.6 | 5 | 3.9 | 9 | 13.3 | 16.4 | 18.8 | 17.8 | 13.2 | 11.5 | 5.1 | 3 |
| 2007 | 0.7 | 4.2 | 2.1 | 7.4 | 10 | 16 | 18.7 | 18.9 | 15.6 | 10.2 | 3.4 | 0.4 |
| 2008 | 0.7 | 4.2 | 2.1 | 7.4 | 10.0 | 16.0 | 18.7 | 18.9 | 15.6 | 10.2 | 3.4 | 0.4 |
| 2009 | -2 | 1.4 | 3.4 | 6.3 | 11.3 | 14.7 | 20 | 18.7 | 15.7 | 10.2 | 3.2 | 0.6 |
| 2010 | 2.7 | 3.3 | 4.8 | 7.4 | 9.2 | 14.7 | 19.6 | 19.3 | 14.8 | 9.5 | 5.6 | 2.3 |
| 2011 | 1.4 | 0.3 | 3.5 | 8.4 | 10.4 | 14.7 | 18.7 | 18.7 | 15.9 | 8.3 | 5 | 1.1 |
| 2012 | -0.6 | -2.7 | 3.2 | 6.3 | 10.8 | 18.2 | 20.5 | 19.4 | 15.3 | 10.6 | 0.62 | 0.18 |
| 2013 | 1.5 | 0.6 | 5.2 | 6.6 | 9.7 | 14 | 19.2 | 16.8 | 15.2 | 13.4 | 4.5 | 0.9 |
| 2014 | 2.4 | 3 | 3 | 7.5 | 11.1 | 15.1 | 19.2 | 20.2 | 17.4 | 11.1 | 7.6 | 1.6 |

Les températures moyennes de la station ONM de Djelfa (Période 1975 à 2014)

| T moy/M | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|---------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 1975 | 3.8 | 4.9 | 6.6 | 11.1 | 14.7 | 20.4 | 26.7 | 24.0 | 20.3 | 13.6 | 7.1 | 4.8 |
| 1976 | 3.3 | 4.8 | 6.0 | 10.9 | 15.4 | 12.9 | 24.3 | 24.4 | 18.9 | 12.1 | 6.6 | 7.0 |
| 1977 | 5.8 | 7.9 | 10.5 | 13.0 | 15.3 | 20.4 | 18.3 | 23.5 | 19.9 | 15.1 | 9.3 | 7.6 |
| 1978 | 3.9 | 9.0 | 8.5 | 11.6 | 15.2 | 22.3 | 25.5 | 26.4 | 20.5 | 21.2 | 6.7 | 8.7 |
| 1979 | 7.6 | 6.9 | 8.4 | 10.0 | 16.8 | 22.9 | 23.2 | 25.5 | 18.8 | 15.6 | 6.9 | 6.1 |
| 1980 | 4.9 | 7.0 | 8.3 | 10.8 | 13.9 | 22.5 | 25.2 | 36.5 | 21.4 | 13.3 | 9.4 | 2.3 |
| 1981 | 2.9 | 5.4 | 11.8 | 12.8 | 14.8 | 23.4 | 25.6 | 23.8 | 20.4 | 16.6 | 9.0 | 7.8 |
| 1982 | 5.9 | 6.1 | 8.6 | 10.9 | 16.8 | 24.7 | 27.6 | 26.2 | 21.3 | 13.9 | 8.3 | 3.7 |
| 1983 | 3.6 | 5.5 | 8.9 | 13.9 | 17.2 | 22.9 | 26.8 | 25.8 | 21.4 | 15.3 | 11.3 | 5.3 |
| 1984 | 4.77 | 4.8 | 7.4 | 13.9 | 13.9 | 22.9 | 26.9 | 25.1 | 20.6 | 13.6 | 8.9 | 5.0 |

| T moy | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 1985 | 3.8 | 9.3 | 6.8 | 13.7 | 15.5 | 24.9 | 27.6 | 25.9 | 20.1 | 14.5 | 11.1 | 5.6 |
| 1986 | 1986 | 6.6 | 7.7 | 10.8 | 20.0 | 22.1 | 24.7 | 26.3 | 20.6 | 14.9 | 8.1 | 4.6 |
| 1987 | 1987 | 6.2 | 9.4 | 15.2 | 17.0 | 23.7 | 26.2 | 27.2 | 22.9 | 17.1 | 8.5 | 7.7 |
| 1988 | 1988 | 6.2 | 9.0 | 13.5 | 17.9 | 21.6 | 27.4 | 26.5 | 19.6 | 15.9 | 10.5 | 4.1 |
| 1989 | 1989 | 6.2 | 10.3 | 10.9 | 17.4 | 20.9 | 26.1 | 25.8 | 21.5 | 15.7 | 11.4 | 8.9 |
| 1990 | 1990 | 8.7 | 9.9 | 11.3 | 16.9 | 24.5 | 25.5 | 24.5 | 23.9 | 16.2 | 9.5 | 4.2 |
| 1991 | 1991 | 4.6 | 9.1 | 10.1 | 13.9 | 22.5 | 26.8 | 25.4 | 21.5 | 13.6 | 8.4 | 4.2 |
| 1992 | 1992 | 5.0 | 7.2 | 10.5 | 15.8 | 18.6 | 23.8 | 25.4 | 21.6 | 14.8 | 9.2 | 5.8 |
| 1993 | 1993 | 4.3 | 8.6 | 11.4 | 17.4 | 24.5 | 27.2 | 26.3 | 19.7 | 16.2 | 9.3 | 5.8 |
| 1994 | 1994 | 7.5 | 10.9 | 18.8 | 10.4 | 16.0 | 28.2 | 28.0 | 19.8 | 14.6 | 10.3 | 6.1 |

| T moy | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 1995 | 8.6 | 8.3 | 10.8 | 19.1 | 22.3 | 27.1 | 25.4 | 19.6 | 15.0 | 10.7 | 8.3 | 8.3 |
| 1996 | 4.3 | 8.0 | 10.9 | 15.2 | 19.1 | 24.6 | 25.4 | 18.4 | 13.0 | 9.6 | 7.0 | 7.0 |
| 1997 | 5.4 | 7.6 | 8.4 | 11.1 | 17.7 | 23.3 | 26.3 | 25.8 | 19.1 | 14.5 | 9.5 | 6.3 |
| 1998 | 4.8 | 6.4 | 8.8 | 12.4 | 15.1 | 23.2 | 27.6 | 28.5 | 22.0 | 12.4 | 9.0 | 4.0 |
| 1999 | 4.6 | 3.8 | 8.4 | 13.4 | 20.4 | 25.1 | 26.4 | 28.4 | 21.5 | 17.5 | 7.5 | 4.9 |
| 2000 | 2.2 | 6.5 | 10.5 | 13.3 | 19.3 | 22.5 | 27.4 | 25.2 | 20.5 | 13.2 | 9.7 | 6.8 |
| 2001 | 5.3 | 5.6 | 12.7 | 12.4 | 16.9 | 25.3 | 28.0 | 26.7 | 21.6 | 19.2 | 8.9 | 5.3 |
| 2002 | 4.5 | 7.2 | 10.4 | 12.5 | 17.6 | 24.2 | 25.6 | 24.5 | 20.0 | 15.8 | 9.9 | 7.2 |
| 2003 | 4.3 | 4.6 | 9.8 | 13.1 | 18.0 | 24.6 | 28.4 | 26.2 | 20.9 | 16.6 | 9.3 | 4.6 |
| 2004 | 5.3 | 8.0 | 10.0 | 11.2 | 13.2 | 22.9 | 26.3 | 26.7 | 20.6 | 17.5 | 7.8 | 5.1 |

| T moy | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 2005 | 2.5 | 3.1 | 10.3 | 13.6 | 21.1 | 23.7 | 28.9 | 26.5 | 20.1 | 16.3 | 9.1 | 4.7 |
| 2006 | 2.7 | 4.5 | 10.5 | 15.5 | 19.9 | 24.5 | 27.4 | 26.1 | 19.5 | 18.4 | 10.7 | 5.9 |
| 2007 | 6.6 | 8.3 | 7.5 | 12.3 | 17.4 | 24.5 | 27.6 | 26.9 | 21.6 | 15.7 | 8.6 | 4.9 |
| 2008 | 6.2 | 7.9 | 9.8 | 14.3 | 17.3 | 22.2 | 27.2 | 26.6 | 21.3 | 14.2 | 7.3 | 4.2 |
| 2009 | 4.5 | 5.1 | 9.3 | 9.3 | 17.9 | 24.2 | 28.4 | 27.3 | 18.9 | 14.9 | 10.3 | 8.1 |
| 2010 | 6.6 | 8 | 10.4 | 13.9 | 15.5 | 22.3 | 28.9 | 26.9 | 20.9 | 15.2 | 9.7 | 7.5 |
| 2011 | 6.2 | 4.9 | 8.4 | 14.8 | 17.2 | 21.4 | 26.4 | 26.8 | 23.1 | 14.1 | 9.1 | 5.5 |
| 2012 | 4.2 | 2.2 | 9.2 | 11.5 | 19.3 | 26.1 | 28.6 | 28.3 | 21.2 | 15.8 | p | 6.1 |
| 2013 | 6 | 5.6 | 10.8 | 14.6 | 17.1 | 23.7 | 28.3 | 26.7 | 22.9 | 21.1 | 9.1 | 5.7 |
| 2014 | 6.8 | 8.4 | 8.3 | 16.1 | 20.1 | 23.5 | 28.8 | 28.9 | 24.6 | 19.1 | 12.2 | 5.2 |

Les précipitations de la station ONM de Djelfa (Période 1975 à 2014).

| P (mm) | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1975 | 17.00 | 40 | 46 | 28 | 51 | 5 | 22 | 17 | 62 | 3 | 54 | 14 |
| 1976 | 8.00 | 61 | 19 | 20 | 52 | 74 | 47 | 29 | 72 | 44 | 61 | 23 |
| 1977 | 41.00 | 9 | 2 | 13 | 68 | 17 | 25 | 12 | 4 | 4 | 48 | 29 |
| 1978 | 33.00 | 7 | 9 | 16 | 24 | 7 | 2 | 1 | nt | 44 | 25 | 7 |
| 1979 | 50.00 | 67 | 29 | 28 | 14 | 35 | 1.6 | 47.9 | 20.7 | 27.1 | 20.4 | 26.9 |
| 1980 | 28.70 | 32.5 | 68.5 | 34.8 | 18.6 | 4.6 | nt | 3.4 | 34.6 | 7.4 | 56.7 | 97.1 |
| 1981 | 6.20 | 45.2 | 36.4 | 67.4 | 5.3 | 6.1 | 10.6 | 33 | 73.3 | 12 | 1 | 33.5 |
| 1982 | 44.90 | 42.1 | 20.3 | 72.7 | 48.0 | 17.3 | 4.6 | 7.0 | 10.5 | 60.1 | 75.1 | 31.8 |
| 1983 | nt | 15.5 | 15.2 | 19.6 | 25.6 | 15.5 | 8.6 | 45.7 | 0.7 | 2 | 17.6 | 11.3 |
| 1984 | 30.30 | 5 | 38 | 0.6 | 8.7 | 19 | 0.9 | 4.2 | 4.2 | 66.3 | 29.7 | 36.7 |

| P (mm) | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1985 | 48.10 | 12 | 65.1 | 1.3 | 59.4 | 13.3 | 9.7 | 0.5 | 39.6 | 31.7 | 30.8 | 51.9 |
| 1986 | 23.30 | 46.9 | 75.1 | 12.8 | 36.3 | 12.6 | 5.5 | 11.8 | 18.9 | 34.9 | 80.5 | 34.7 |
| 1987 | 58.50 | 34.4 | 13.6 | 22.7 | 12.4 | 21.8 | 41.4 | 3.1 | 3.7 | 8.6 | 55.1 | 23.4 |
| 1988 | 18.30 | 38 | 13.8 | 32.4 | 62.2 | 54.8 | 1.4 | 21.5 | 25.6 | 8.6 | 19.5 | 37.4 |
| 1999 | 13.60 | 8 | 9.1 | 36.1 | 50.4 | 52.6 | 6.5 | 72.4 | 10.6 | 17.5 | 41.2 | 18.1 |
| 1990 | 117 | 0.3 | 30 | 65.4 | 84.4 | 61 | 12.6 | 10.3 | 14.2 | 4 | 13.6 | 34.6 |
| 1991 | 23.50 | 51.7 | 74.2 | 38.8 | 34.5 | 15.7 | 9.4 | 13.1 | 32.5 | 117 | 19.5 | 21.6 |
| 1992 | 59.50 | 10.6 | 56.7 | 48.6 | 122 | 5.6 | 10.6 | 1.1 | 18.7 | 1.4 | 23.8 | 21.4 |
| 1993 | 8.00 | 71.1 | 40.2 | 13.5 | 39 | 12 | 16 | 27 | 25 | 5 | 19 | 15 |
| 1994 | 50.00 | 52 | 20 | 7 | 10 | 1 | 4 | 17 | 96 | 78 | 28 | 8 |

| P (mm) | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|--------|-------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 1995 | 46.00 | 13 | 50 | 11 | 6 | 46 | nt | 13 | 13.2 | 49 | 3.9 | 30 |
| 1996 | 91.80 | 74 | 58 | 57 | 51 | 27 | 5 | 28 | 16 | 3 | 1 | 27 |
| 1997 | 39.00 | 5 | 1 | 87 | 43 | 9 | 2 | 45 | 77 | 11 | 55 | 17 |
| 1998 | 7.00 | 26 | 5 | 35 | 38 | 2 | nt | 19 | 28 | 5 | 3 | 9 |
| 1999 | 61.00 | 24 | 25.1 | 0.9 | 3 | 13 | 3 | 16.6 | 25 | 29 | 26 | 69 |
| 2000 | 18 | 16 | 1 | 10 | 27 | 3.2 | 0.4 | 1.5 | 63 | 8 | 15 | 23.1 |
| 2001 | 60.00 | 12 | 2 | 3.7 | 3 | nt | 0.4 | 22.8 | 78 | 28 | 12 | 17 |
| 2002 | 11.00 | 5.3 | 2 | 38.2 | 4.9 | 5.9 | 13 | 35.6 | 7.6 | 15.3 | 37.9 | 36.1 |
| 2003 | 53.30 | 45.3 | 13 | 17.8 | 14.8 | 2.8 | 5 | 0.3 | 6.3 | 41.4 | 41.3 | 54 |
| 2004 | 6.00 | 0.5 | 29.2 | 33 | 97.4 | 3.7 | 7.3 | 51.4 | 38.1 | 28 | 39.4 | 42 |

| P (mm) | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2005 | 2.00 | 20.5 | 13 | 6.8 | 1 | 35 | 12 | tr | 64 | 49 | 19 | 25.5 |
| 2006 | 49.60 | 43.4 | 3.1 | 47.3 | 36.5 | 1.1 | 19.2 | 9.9 | 17.3 | 0.7 | 18.9 | 41.0 |
| 2007 | 4.8 | 26.6 | 72.6 | 28.8 | 31 | 16.3 | 12.8 | 18.2 | 32.2 | 38.3 | 12.3 | 3.5 |
| 2008 | 6 | 3 | 15 | 1 | 34 | 33 | 24 | 78 | 45 | 74 | 10 | 24 |
| 2009 | 72 | 44 | 48 | 55 | 12 | 11 | 15 | 1 | 69 | 5 | 27 | 30 |
| 2010 | 16.2 | 60.6 | 18.6 | 34.6 | 20 | 28.8 | 5.3 | 19.3 | 10 | 52.5 | 11.4 | 9.1 |
| 2011 | 12.3 | 37.2 | 32.8 | 56.3 | 32.1 | 26.9 | 30.2 | 19.9 | 10.1 | 29.7 | 21.9 | 19.2 |
| 2012 | 0.8 | 9 | 37 | 48.8 | 8.2 | 30.8 | 1.7 | 24.6 | 16.2 | 24.3 | 278 | 6.8 |
| 2013 | 27.7 | 20.3 | 13.7 | 32.2 | 28.9 | 0 | 13.2 | 4.5 | 16 | 12.2 | 19.4 | 51.1 |
| 2014 | 23.1 | 18.5 | 73.6 | 0.3 | 44.9 | 45.5 | 0 | 11.2 | 12.2 | 2.8 | 30.2 | 18.8 |

L'évapotranspiration précipitations de la station ONM de Djelfa (Période 1975 à 2014).

| ETP | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|----|----|
| 1975 | 47 | 36 | 73 | 90 | 113 | 189 | 324 | 228 | 154 | 107 | 45 | 36 |
| 1976 | 47 | 36 | 64 | 110 | 115 | 156 | 185 | 215 | 131 | 56 | 38 | 53 |
| 1977 | 38 | 56 | 130 | 156 | 173 | 204 | 300 | 257 | 148 | 126 | 69 | 52 |
| 1978 | 49 | 72 | 91 | 119 | 158 | 242 | 269 | 238 | 166 | 79 | 59 | 75 |
| 1979 | 60 | 128 | 83 | 106 | 172 | 217 | 317 | 237 | 115 | 105 | 52 | 74 |
| 1980 | 61 | 61 | 71 | 97 | 120 | 206 | 294 | 261 | 156 | 120 | 47 | 33 |
| 1981 | 39 | 45 | 91 | 111 | 182 | 228 | 268 | 220 | 144 | 145 | 84 | 61 |
| 1982 | 52 | 47 | 89 | 67 | 128 | 223 | 287 | 256 | 173 | 93 | 47 | 37 |
| 1983 | 64 | 52 | 107 | 140 | 166 | 210 | 335 | 261 | 186 | 109 | 68 | 55 |
| 1984 | 48 | 62 | 81 | 126 | 140 | 237 | 292 | 241 | 184 | 82 | 81 | 43 |

| ETP | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----|
| 1985 | 49 | 69 | 74 | 174 | 118 | 228 | 233 | 241 | 141 | 91 | 72 | 39 |
| 1986 | 45 | 58 | 69.2 | 130 | 206 | 231 | 287 | 266 | 165 | 84 | 52 | 34 |
| 1987 | 53 | 46 | 91 | 149 | 166 | 231 | 266 | 309 | 209 | 137 | 30 | 52 |
| 1988 | 61 | 57 | 107 | 130 | 159 | 187 | 283 | 245 | 151 | 101 | 61 | 31 |
| 1989 | 35 | 58 | 116 | 101 | 173 | 176 | 268 | 179 | 151 | 113 | 115 | 88 |
| 1990 | 34 | 97 | 88 | 108 | 111 | 235 | 297 | 248 | 205 | 134 | 68 | 34 |
| 1991 | 46 | 42 | 95 | 92 | 145 | 191 | 233 | 218 | 159 | 83 | 72 | 48 |
| 1992 | 46 | 51 | 56 | 94 | 141 | 186 | 177 | 229 | 194 | 148 | 53 | 58 |
| 1993 | 64 | 35 | 94 | 124 | 167 | 193 | 247 | 227 | 142 | 130 | 40 | 44 |
| 1994 | 40 | 82 | 93 | 111 | 189 | 235 | 271 | 235 | 125 | 56 | 41 | 42 |

| ETP | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----|
| 1995 | 38 | 69 | 71 | 103 | 183 | 198 | 267 | 245 | 149 | 100 | 96 | 52 |
| 1996 | 66 | 67 | 96 | 135 | 159 | 169 | 328 | 371 | 213 | 185 | 135 | 84 |
| 1997 | 69 | 94 | 156 | 105 | 240 | 341 | 402 | 282 | 156 | 99 | 81 | 61 |
| 1998 | 58 | 71 | 142 | 190 | 175 | 312 | 448 | 338 | 235 | 133 | 95 | 72 |
| 1999 | 51 | 63 | 96 | 207 | 309 | 359 | 407 | 437 | 208 | 159 | 84 | 51 |
| 2000 | 66 | 126 | 179 | 233 | 254 | 296 | 408 | 345 | 228 | 113 | 106 | 87 |
| 2001 | 88 | 107 | 201 | 193 | 202 | 305 | 346 | 301 | 158 | 164 | 78 | 45 |
| 2002 | 50 | 80 | 41 | 133 | 191 | 234 | 246 | 206 | 150 | 118 | 74 | 44 |
| 2003 | 36 | 41 | 85 | 127 | 159 | 221 | 292 | 262 | 171 | 113 | 55 | 30 |
| 2004 | 36 | 74 | 94 | 84 | 91 | 114 | 171 | 217 | 259 | 138 | 40 | 26 |

| ETP | Jan | Fev | Ma | Av | My | jun | Juil | Ao | Sep | Oct | No | De |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|----|----|
| 2005 | 42 | 39 | 98 | 140 | 201 | 209 | 315 | 271 | 126 | 92 | 67 | 41 |
| 2006 | 31 | 38 | 107 | 167 | 154 | 292 | 231 | 253 | 146 | 168 | 77 | 27 |
| 2007 | 64 | 61 | 83 | 89 | 162 | 275 | 278 | 262 | 172 | 107 | 58 | 43 |
| 2008 | 51 | 64 | 97 | 129 | 167 | 228 | 290 | 261 | 169 | 115 | 68 | 50 |
| 2009 | 50 | 63 | 101 | 133 | 166 | 235 | 271 | 254 | 169 | 127 | 65 | 38 |
| 2010 | 61 | 74 | 97 | 105 | 135 | 217 | 259 | 251 | 157 | 112 | 65 | 78 |
| 2011 | 55 | 47 | 83 | 119 | 131 | 161 | 245 | 245 | 183 | 77 | 52 | 30 |
| 2012 | 51 | 36 | 98 | 97 | 182 | 242 | 302 | 281 | 186 | 111 | 43 | 39 |
| 2013 | 56 | 52 | 93 | 107 | 149 | 207 | 269 | 259 | 175 | 100 | 53 | 49 |
| 2014 | 56 | 52 | 93 | 107 | 149 | 207 | 269 | 259 | 175 | 100 | 53 | 49 |



Photos 1: La conversion des terres de la forêt en culture.



Photos 2: La conversion des parcours à holophytes en culture.



Photos 3: L'introduction de l'olivier en milieu steppique.



Photos 4: L'introduction des *Opuntia* en milieu steppique.

ملخص:

اهتمت هذه الدراسة بمنطقة الجلفة باعتبارها تعد نموذجا للسهوب الجزائرية لتمييزها بالنشاط الرعوي الذي يعتبر أساس الاقتصاد فيها وأحد مكونات نظامها الاجتماعي.

و نظرا لما تعانيه المنطقة من انعكاسات سلبية بسبب تغير النظام الاجتماعي وتفاقم الظواهر الطبيعية كالجفاف و التصحر التي أدت إلى تناقص المساحات السهبية و أثرت على اقتصاد المنطقة.

انطلاقا من هذه الإشكالية قمنا بإنجاز دراسة تهدف إلى تشخيص الوضعية البيئية عبر فترتين زمنيتين باستعمال أدوات فعالة: نظام الاستشعار عن بعد من خلال صور القمر الصناعي (1984، 2001، 2013). ولهذا فان خريطة تحتوي على مختلف الوحدات المكونة للمنطقة تم انجازها بمعالجة و تحليل سلسلة صور القمر الصناعي الأنفة الذكر و التي سمحت لنا بإنجاز خريطة التغيرات التي حدثت للمنطقة. و على ضوء النتائج المحصل عليها اقترحنا مخططا للتهيئة للمنطقة المدروسة.

الكلمات المفتاحية : الجلفة، المراعي السهبية، التدهور، الاستشعار عن بعد، صور القمر الصناعي.

Résumé

La présente étude s'intéresse à une zone pilote de la steppe algérienne dans la wilaya de Djelfa. Il s'agit d'une zone où l'activité pastorale constitue, depuis toujours, la base de l'organisation sociale et la ressource économique principale. Aujourd'hui, face à la désorganisation du tissu social, aux phénomènes de désertification et à la sécheresse, les parcours connaissent une dégradation intense qui met en hypothèse l'avenir de l'activité pastorale.

C'est dans ce souci que nous avons élaboré une approche méthodologique spatiotemporelle visant à comparer et caractériser la situation écologique antérieure et actuelle des unités d'occupation des sols et l'estimation du taux de dégradation des parcours à l'aide d'outils performants à savoir : la géomatique (télédétection) et une série d'images Landsat (1984, 2001 et 2013). Une carte de l'occupation des sols contenant une caractérisation des différents parcours de la zone a été ainsi réalisée par l'utilisation de cette série d'images, ce qui nous a permis d'élaborer une carte des changements du milieu naturel. Sur la base des résultats obtenus nous avons suggéré un modèle d'aménagement pour la zone d'étude.

Mots clés : Djelfa, Parcours, Dégradation, Télédétection, Imagerie, changement.

Summary :

The present study was conducted in a steppe pilot area located in Djelfa region. Pastoral activity is the main economic activity in this region and one of the components of its social system. Actually, this region is confronting an intense land degradation caused by desertification and drought that may affect the future of this important economic activity.

It is in this concern that we have developed a spatiotemporal methodological approach aimed to compare and characterize the previous and the current ecological situation of land use units and the estimation of rangelands degradation using high performance tools, namely : geomatics (remote sensing) and a series of Landsat imagery (1984, 2001 and 2013). A map of the land use containing a characterization of the different rangelands of the zone was realized by the use of this series of images, which allowed us to elaborate a map of natural environment changes. On the basis of the obtained results, we suggested a management model for the studied area.

Key Words: Djelfa, Rangeland, Degradation, Remote sensing, Imagery, Change.