

Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach - Alger
Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques
Spécialité : Foresterie et Protection de la Nature
Option : Foresterie et Conservation de la Biodiversité

***Analyse spatio-temporelle par
télédétection de la région de Djelfa***
-Evolution de l'occupation du sol-

Présenté par M. GUERINIAI Ali.

Promoteur : M. OLDACHE E. H. (MCB ENSA)
Soutenu le 13/03/2012

Membre de Jury : Président : M. BELLATRECHE M. (Professeur à l'ENSA) Examineur : M.
ABDELGUERFI A (Professeur à l'ENSA). Examineur : M. BELARBI B. MCA (ENSA) Examineur :
M. BOUBAKEUR Z. MAA (ENSA) Examinatrice : Melle KADID Y. MCB (ENSA)

Table des matières

Dédicace . . .	6
Remerciements . . .	7
Résumé . . .	8
Abstract . . .	9
ص خ لم . . .	10
Acronymes . . .	11
Introduction générale . . .	12
Chapitre I : Aperçu sur la tetedetection et la detection des changements . . .	14
Introduction . . .	14
1- Télédétection . . .	14
1.1- Définitions . . .	14
2- ETAPE DE DEVELOPPEMENT . . .	15
a- Avant 1925 . . .	15
b- Entre 1925 et 1945 . . .	15
c- Entre 1945 et 1960 . . .	15
d- Entre 1960 et 1972 . . .	16
e- Entre 1972 et 1989 . . .	16
3- Principes de la télédétection . . .	16
3.1- Rayonnement électromagnétique . . .	16
3.2- Propriétés des ondes électromagnétiques . . .	17
4- Types de la télédétection . . .	18
5- Résolutions . . .	18
5.1- Résolution spatiale . . .	18
5.2- Résolution temporelle . . .	19
5.3 - Résolution spectrale . . .	19
5.4- Résolution radiométrique . . .	19
6- Notion de l'image satellite . . .	19
7- Apport de la télédétection . . .	19
8- Principaux programmes de télédétection . . .	20
8.1- Programme LANDSAT . . .	20
8.2- Programme SPOT . . .	22
9- Méthodes des traitements utilisées en télédétection . . .	23
9.1- Acquisition et stockage des données . . .	23
9.2- Les pré- traitements . . .	23
9.3- Les traitements numériques proprement dits . . .	24
9.4- Analyses statistiques . . .	24
10- Détection de changement . . .	25
10.1- -Application de détection de changement . . .	25
10.2- Différente étapes de détection de changement . . .	26
10.3- Les exigences de l'analyse multi-temporelle . . .	26

10.4- Méthodologie pour la détection des changements . . .	26
Conclusion . . .	28
Chapitre II : CADRE D'ETUDE . . .	29
1- Contexte général . . .	29
2- Choix de la zone d'étude (Sous bassin versant d'Oued Djelfa- Hadjia) . . .	29
3- Situation géographique . . .	29
4- Situation administrative . . .	31
5- Cadre climatique . . .	31
5.1- Les éléments climatiques . . .	32
5.2- Synthèse des données climatiques . . .	35
6- Cadre topographique . . .	38
6.1- L'Atlas Saharien . . .	39
6.2- La cuvette du Zahrez El Gharbi . . .	39
7- Cadre géologique . . .	41
7.1- Litho stratigraphie . . .	41
Cadre Géomorphologique . . .	44
8.1- Formes et formations structurales . . .	44
Cadre pédologique . . .	48
9.1- Solsminérauxbrutsd'apportéolien . . .	49
9.2- Solsminérauxbrutsd'apportalluvial . . .	49
9.3- Solspeuévolués d'apport alluvial . . .	49
9.4- Solslithosols . . .	49
9.5- Solshydromorphes . . .	49
9.6- Sols halomorphes . . .	49
10-CadredeLavégétation . . .	50
10.1- Formationforestière . . .	50
10.2- Formationsteppique . . .	50
10.3- Jachère et culture . . .	50
Chapitre III : Approche méthodologique . . .	51
Introduction . . .	51
1- Logiciels et matériels utilisés: . . .	51
1.1- Logiciels utilisés . . .	51
1.2- G.P.S (Global Positioning System) . . .	53
2- Méthodologie pour la détection des changements . . .	54
2.1- Acquisition des données . . .	54
3- Correction géométrique . . .	55
4- Normalisation radiométrique . . .	56
4.1- Choix de l'image de référence . . .	56
4.2- Création des cibles invariantes . . .	56
4.3-Calcul et inversion des régressions linéaires . . .	57
5- Détection des changements . . .	57

5.1- Indice de végétation de la différence normalisée (<i>Normalised difference vegetation index, NDVI</i>) . . .	57
6- Classification . . .	58
7- Application de la méthode de détection des changements choisis . . .	60
7.1- Méthode d'analyse visuelle . . .	60
7.2- Classification supervisée . . .	60
8- Evaluation de l'exactitude des résultats . . .	61
9- Génération du produit final . . .	62
Chapitre IV : Application des résultats . . .	64
Introduction . . .	64
1- Prétraitements . . .	64
1.1- Correction géométrique . . .	64
1.2- Normalisation Radiométrique . . .	65
1.3- Création de masque . . .	67
2- Les traitements . . .	68
2.1- Analyse statistique des histogrammes des images . . .	68
2.2- Calcul d'Indice de végétation de la différence normalisée (<i>Normalised difference vegetation index, NDVI</i>) . . .	69
3- Détection du changement . . .	77
3.1- Choix des zone d'entraînement : (<i>ROI : region of interest</i>) . . .	77
3.2- Séparabilité des classes et Qualité des zones d'intérêts (<i>ROI ; Region of interest</i>) . . .	79
3.3- Choix des bandes . . .	82
3.4- Post classification: . . .	83
4- Estimation de la précision de l'interprétation des images . . .	83
5- Analyse de la matrice d'erreur . . .	85
6- Analyse des résultats de la classification supervisée . . .	86
7 - Comparaison d'occupation entre l'année 1987 et 2009 . . .	90
7.1- Interprétation des résultats : . . .	92
7.1- Matrice de changement . . .	96
7.3- Interprétation des résultats de la matrice des changements . . .	98
7.4- Produit final (carte des changements) . . .	99
Conclusion générale . . .	101
Références bibliographiques . . .	102
Références électroniques . . .	106
ANNEXES . . .	107
Annexe n° 01 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles sur période de 1975-2009 pour la station de Djelfa . . .	107
Annexe n° 02 : Variation des températures mensuelles minimales, maximales et moyennes durant la période (1975- 2009) de la station de Djelfa . . .	107
Annexe n° 03 : Evaporation de la période (1975-2006). . .	108
Annexe n° 04: Liste des points d'appui pour la scène 195/36 de l'année 1987 . . .	108

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à : Mes chers parents Ma femme & mon fils Housseem Wael Mes chères sœurs et mes chers frères Mes ami(e)s Gueriniai A.

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier mon encadreur Monsieur OLDACHE E. H., maître de conférence au département de foresterie et protection de la nature, d'avoir accepté de diriger mon travail, aussi que pour ses orientations précieuses.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur BELLATRECH M., professeur au département de foresterie et protection de la nature, d'avoir accepté de présider ce jury, et aussi pour son soutien morale durant la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier encore : M. ABDELGUERFI A (Professeur à l'ENSA), M. BELARBI B. MCA (ENSA), M. BOUBAKEUR Z. MAA (ENSA) et Melle KADID Y. MCB (ENSA) qui ont bien voulu examiner mon travail.

J'aimerais également exprimer ma gratitude à Monsieur MOUISSA H. maître assistant au centre Ziane Achour, Faculté des sciences de la nature et de la vie qui a beaucoup apporté à mon travail par ses orientations et son aide.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance aux personnels de la conservation des forêts de Djelfa, particulièrement à messieurs YOUNSI B., NEKAG B., BEN ABDELOUAHEB M., HAMZA O. et MEZGHRANE O. qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé

L'objectif de notre travail était la détection des changements de l'occupation du sol à partir de données satellitaires multidates de Landsat au niveau du sous bassin versant d'Oued El-Hadjia-Djelfa qui appartient au bassin des Zahrez au niveau de la wilaya de Djelfa. Une méthode de comparaison diachronique de post-classification a été adoptée, par l'utilisation des pseudo-bandes (ACP, NDVI). La précision globale des classifications obtenues est de 93%.

Tout d'abord, deux images satellites, acquises en 1987 et en 2009 par le satellite Landsat TM ont été classés en sept grandes classes de couverture terrestre à savoir: forêts et reboisements, parcours, dunes, voiles sableux, sols nus, agriculture et bâtis et infrastructures

Les résultats ont permis d'identifier l'évolution temporelle et spatiale de l'occupation de notre zone d'étude pour une période de 22 ans, ainsi la tendance de la dynamique de différentes unités composantes notre zone d'étude, cette étude a permis premièrement l'extraction de deux types d'information, il s'agit d'un bilan de la nouvelle occupation du sol et un bilan sur la dynamique de changement au sein de chaque classe grâce à la création d'une matrice de changement et deuxièmement l'extraction les motifs des changement qui sont liés principalement aux facteurs naturels et anthropiques.

Mots clés : Télédétection, détection de changement, NDVI, ACP Landsat, Oued El Hadjia, Djelfa, post-classification

Abstract

The aim of our study was the detection of changes in land using from satellite data of Landsat multi-temporal at sub-basin of Oued El-Hadjia Djelfa which belongs to the basin of Zahrez at the wilaya Djelfa. A method of diachronic comparison of post-classification was adopted, by the using of pseudo-bands (ACP, NDVI). The overall accuracy of classifications obtained was 93%. First, two satellite images, acquired in 1987 and 2009 by Landsat TM were classified into seven land cover classes namely forests and afforestation, steppe, dunes, sandy soil, bare soil, agriculture and built and infrastructure

The results have identified the temporal and spatial evolution of the occupation of our study area for a period of 22 years, the trend of the dynamics of various component units our study area, this study Firstly the extraction of two types of information, it is an assessment of the new land and an assessment of the dynamics of change within each class by creating a matrix of change and secondly extraction patterns of change that are primarily related to natural and anthropogenic factors.

Keywords:

Remote sensing, change detection, NDVI, PCA, Landsat, Oued el hadjia-Djelfa, post-classification

ص خ لم

الهدف من دراستنا هو إكتشاف التغير في إستعمال الأراضي بإستخدام معطيات القمر الصناعي لاندسك متحدة التواريخ لمنطقة الحوض المنحدر واد الحاجية الجلفة الذي ينتمي لحوض الزهرن بولاية الجلفة، تم إختيار طريقة مقارنة الكرونولوجي لما وجد للتصنيف، بإستعمال نطاقك جديدة (ACP, NDVI). الدقة الجملة للتصنيف المحصل عليها بلغت 93%.

الجدول بالذكر أن الصور بين القمرين المستعملين تم التقاطهم عبر القمر الصناعي لاندسك لسنة 1987 و سنة 2009 تم تصنيفهم على حسب الغطاء الأرضي: غابات و شجيرات، كثبان رملية، غطاء رملي، سهوب، أراضي قاحلة، زراعة و بذر و منشآت.

نتائج الدراسة سمحت لنا بتحديد تطور التغير الزمني و المكاني لإستغلال الأراضي على مدة 22 سنة، كذا اتجاه ديناميكية التغير على مستوى كل فئة من الغطاء الأرضي من خلال حسب مصفوفة التغير، كما تم تحليل أسباب التغير الذي يرجع إلى عوامل طبيعية و بشرية.

كلمت المفتاح: الاستشعار عن بعد، استشعار التغير، تحليل المركبات الرئيسية، لاندسك، واد الحاجية – الجلفة، ما بعد التصنيف، مؤشر التبدلي NDVI

Acronymes

- **ACP** : Analyse de composante principale
- **CCT** : Centre canadien de télédétection
- **DPAT** : Direction de la planification et de l'aménagement du territoire
- **ENVI** : The environment for visualizing images
- **GPS** : Global Positioning System
- **Ha** : Hectare
- **HCDS** : Haut Commissariat au Développement de la Steppe
- **LANDSAT** : Land satellite
- **LUT** : Table de conversion (*Look Up Table*)
- **Max** : Maximum
- **Min** : Minimum
- **NDVI** : Normalized difference vegetation data analysis
- **ONM** : Office Nationale Météorologique
- **P (mm)** : Précipitation (mm)
- **PIR** : Proche infrarouge
- **R** : Rouge
- **RGB** : Rouge vert bleu (*Red Green Bleu*)
- **ROI** : Région d'entraînement (*Region of Interest*)
- **Spot** : Satellite pour l'observation de la terre
- **TM** : Capteur Thematic Mapper
- **T** : Température
- **UTM** : Universel transverse Mercator
- **Q₂** : Quotient pluviométrique
- **WGS 84** : World geodesic system, revision de 1984

Introduction générale

Dans les pays en développement les possibilités d'application de la télédétection sont les plus nombreuses parce que les ressources naturelles sont mal connues et que les cartes disponibles, souvent anciennes ou inexistantes, ne reflètent pas les changements d'occupation du sol (BONN et ROCHON, 1992). Les données de télédétection sont des sources primaires largement utilisées pour la détection des changements dans les dernières décennies (LU et al., 2004).

La détection des changements de l'occupation du sol est le processus d'identification la différence de l'état d'un objet ou d'un phénomène observé à différentes époques (SINGH, 1989), par l'application d'un ensemble de données multitemporales afin d'analyser quantitativement les effets temporels de ces phénomènes. Cette détection des changements de caractéristiques de l'occupation est extrêmement importante pour comprendre les relations et les interactions entre les facteurs naturels et humains, afin de promouvoir une meilleure prise de décision.

Les changements de l'environnement impliquent la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'évaluation. Parmi ces méthodes, la télédétection présente un intérêt particulier, grâce à ses caractéristiques essentielles d'enregistrement et d'analyse. La télédétection qui permet une vision globale des phénomènes, est en même temps le moyen d'étude privilégié pour contribuer à assurer une meilleure gestion de l'environnement. Les satellites d'observation de la terre ont été fort utiles pour relever les traumatismes régionaux et continentaux et les données multitemporales acquises nous ont informés sur les signes de dégradation de l'environnement dans plusieurs régions du monde. (JULIAN et al., 1997).

Notre zone d'étude est parmi les régions les plus vulnérables aux changements à cause de leur situation géographique particulière limitée par le Sahara au sud, elle est située au niveau du bassin Zahrez El Gharbi Wilaya de Djelfa sur une superficie de 2297 Km², à un climat semi-aride. Cette situation lui confère une grande diversité d'occupation du sol répartie spatialement entre des formations forestière, steppiques et dunaires. Ces dernières ne gardent pas un état d'équilibre en matière d'occupation dans le temps et dans l'espace sous l'effet de différents facteurs naturels et humains exercés, ce qui engendrent continuellement une dynamique de changement entre ces entités.

Pour ce faire, nous avons réalisé une étude de détection de changement spatio-temporelle de deux images satellitaire de TM de Landsat 5 de l'année 1987 et 2009, dans le but d'évaluer la progression ou la régression de différentes affectations des sols entre les deux dates de prises d'images, tout en essayant de comprendre les différents facteurs qui peuvent engendrer ces changements. La méthode adoptée pour détecter les changements de l'occupation est celle proposée par Lu et al., 2004, qui basée sur la comparaison des classifications supervisée de pseudo-bandes (ACP-NDVI). Cette méthode permet de fournir l'information détaillée sur l'évolution du changement et de la mutation des classes d'occupation pour préparer des cartes d'occupation et des changements (YAUN et al, 2005).

Ce travail est organisé en quatre chapitres: le premier chapitre est consacré sur des notions générales sur la télédétection et la détection de changement, le deuxième chapitre traite le cadre d'étude, le troisième chapitre décrit la méthodologie utilisée dans notre étude et le quatrième chapitre set réservé pour l'interprétation des résultats de l'étude.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I : Aperçu sur la télédétection et la détection des changements

Introduction

L'étude de suivi de changement spatio-temporelle et d'occupation du sol est possible principalement par le recours vers l'application des techniques de détection des changements offerte par l'utilisation de la télédétection spatiale qui est aujourd'hui largement utilisée pour détecter, identifier et suivre les changements d'occupation du sol.

La télédétection est un domaine qui profite opportunément des grands bonds technologique. L'avènement de la télédétection est assimilable à celle de la photographie. Le potentiel s'est considérablement accru avec l'apparition de nouveaux capteurs, (infrarouge, multi spectral, micro-onde).

La télédétection satellitaire, par les aspects nouveaux qu'elle apporte (vue synoptique, répétitive), apparaît comme l'un des moyens les plus adaptés pour étudier et suivre ces processus ; il reste cependant à préciser les paramètres permettant de caractériser ces processus et, parmi ces paramètres, ceux qui sont observables et mesurables par la télédétection satellitaire avec les précisions appropriées. (ABDELLAOUI, 1996)

Dans ce chapitre, on va essayer d'aborder le domaine de la télédétection et ses applications dans la détection de changement d'occupation du sol.

1- Télédétection

1.1- Définitions

Plusieurs définitions ont été proposées, mais elles s'orientent toutes vers le même ordre d'idée.

-La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe «l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci» (COMITAS, 1988)

-La télédétection (*angl.: Remote Sensing*) est l'art et la science de l'acquisition d'informations (spectrales, spatiales, temporelles) sur des objets matériels, des lieux ou des phénomènes par l'analyse de données acquises par des capteurs distants sans contact matériel entre les objets, régions ou phénomènes considérés (GOLAY, 2007)

-La télédétection regroupe les techniques permettant la détection sous forme de photographie et d'enregistrement donnant lieu à des images ou de profils des variations d'absorption, de réflexion et d'émission des ondes électromagnétiques (SCANVIC, 1983).

Le principal objectif de la télédétection est de cartographier et de suivre les ressources terrestres.

-La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. (C.C.T., 2002).

-La télédétection est aussi « la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'informations à distance, sans contact direct avec l'objet détecté » (BONN et ROCHON, 1996).

D'après CHUVIECO (1996) in TOURINO SOTO (2005), GIRARD et GIRARD (1999) : « La télédétection est définie comme l'ensemble de techniques permettant d'obtenir de l'information sur un objet, un phénomène ou une surface, par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci ». Ces mesures peuvent s'appuyer sur deux types de produit :

- Les photos aériennes: prises à basse ou haute altitudes : télédétection aéroportée.
- Les images satellites prises à partir de satellites d'observation de la terre : télédétection satellitale.

2- ETAPE DE DEVELOPPEMENT

Selon CAZAUX, (1990), La télédétection a une longue histoire où cinq phases peuvent être identifiées :

a- Avant 1925

Les premières photographies prises depuis les airs à l'aide de pignons « embarquant » des appareils photographiques ont été réalisées dans les dernières années du XIXe siècle. Des photographies aériennes prises depuis des ballons et des avions montrent ensuite la valeur des vues aériennes du sol, valeur très exploitée durant la 1^{ère} guerre mondiale.

b- Entre 1925 et 1945

Des améliorations techniques permettent l'élargissement des applications particulières dans le domaine de la cartographie topographique avec les images stéréoscopiques.

c- Entre 1945 et 1960

Où la photographie aérienne est en pleine développement, et les explications débordent la topographie, apportant de nombreuses informations en géologie, agriculture, forêt.

d- Entre 1960 et 1972

Naissance des satellites de télédétection avec caméras et capteurs relativement primitifs. Ces années correspondent au développement des satellites météorologiques. Cette période correspond à la mise en place d'un système mondial d'observation météorologique, l'investigation d'autres parties du spectre, en particulier l'infrarouge thermique (attachées à l'observation photographique).

e- Entre 1972 et 1989

Ces années correspondent à la maturité de la technologie et des systèmes d'observation de la terre avec développement de la haute résolution spectrale, l'acquisition et distribution opérationnelle et l'expérimentation de nouveaux capteurs dans une variété de bandes spectrales.

La période commence avec le lancement du Landsat en 1972 et dans le milieu des années 1980, ce programme devenu opérationnel, c'est également la période du lancement du premier satellite opérationnel Français SPOT.

3- Principes de la télédétection

Chaque élément de la surface de la terre peut absorber ou réfléchir les rayonnements envoyés par une source électromagnétique telle qu'un radar ou un corps céleste comme le soleil ; il 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.

3.1- Rayonnement électromagnétique

C'est une forme dynamique d'énergie qui ne se manifeste que dans son interaction avec la matière. Il se compose comme un champ de forces dont les variations affectent les propriétés électriques et magnétiques de la matière. Il se caractérise par une période, une fréquence, une vitesse de propagation, une longueur d'onde et une amplitude (POUCHIN, 2001 b).

Un rayonnement est une énergie transportée dans l'espace sous forme d'ondes ou de particules. En revanche, le rayonnement électromagnétique (REM) est le rayonnement qui se comporte comme un champ de force dont les variations affectent les propriétés électriques et magnétiques de la matière (POUCHIN, 2001 b).

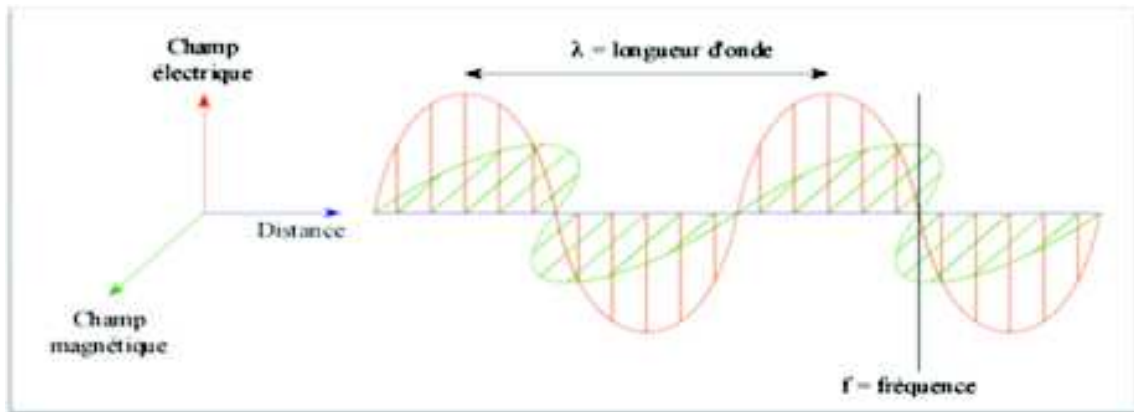


Figure n° 01 : Caractéristiques d'une onde d'après BONN et ROCHON (1996).

3.2- Propriétés des ondes électromagnétiques

Il y a de nombreuses propriétés des ondes électromagnétiques, qui sont fondamentales pour les principes de base de la télédétection et qui sont :

a- Emission

Tout corps où la température thermodynamique est supérieure à 0 ° K (-273 °C) émet un rayonnement électromagnétique. L'émetteur, appelé aussi source, (soleil, le satellite "RADAR") ou encore la cible (infrarouge thermique). POUCHIN (2001 b) et (GIRARD et GIRARD, 1999).

Énergie rayonnée dans une longueur d'onde définie, pendant l'unité de temps, par l'unité de surface d'un corps à une température déterminée. POUCHIN (2001 b).

b- Absorption

Le corps qui reçoit une quantité de REM, peut en absorber une partie, l'absorptance est le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie incidente. Les zones du spectre électromagnétique, pour lesquelles l'absorption est faible sont appelées « fenêtres atmosphériques » ; elles déterminent les bandes spectrales utilisables en télédétection.

c- Réflexion

Tout corps qui reçoit une quantité de REM peut en réfléchir une partie. On parle d'albédo lorsqu'il s'agit d'énergie solaire réfléchi par une portion d'espace terrestre, il s'exprime en pourcentage d'énergie réfléchi. La réflexion peut être spéculaire lorsqu'elle est dirigée entièrement dans une seule direction, ou diffuse lorsqu'elle est dirigée dans toutes les directions (POUCHIN, 2001 b).

E- Diffusion

Correspond aux réflexions multiples du rayonnement qui frappe les molécules ou les particules (aérosols) de l'atmosphère dont la direction de propagation change. On distingue la diffusion de Rayleigh (résulte de l'interaction entre le rayonnement et les molécules gazeuses dont les dimensions sont très inférieures aux longueurs d'ondes du rayonnement solaire. C'est ce qui explique la couleur bleu du ciel et sa couleur rouge au coucher du

soleil) et la diffusion de Mie qui est due aux aérosols en suspension dans l'aire – poussière, micro gouttelettes d'eau -qui concerne les aérosols. (GIRARD et GIRARD, 1999; BONN et ROCHON, 1996)

4- Types de la télédétection

Selon C.C.T. (2002), il existe deux principaux types de satellites :

- **Capteur passif:** La source d'énergie électromagnétique est un élément nature (le soleil, plus rarement la terre).
- **Capteur actif:** La source est un élément du système de télédétection.

Le système émet un signal et mesure la réponse de la surface de la terre à ce signal, c'est le cas du radar

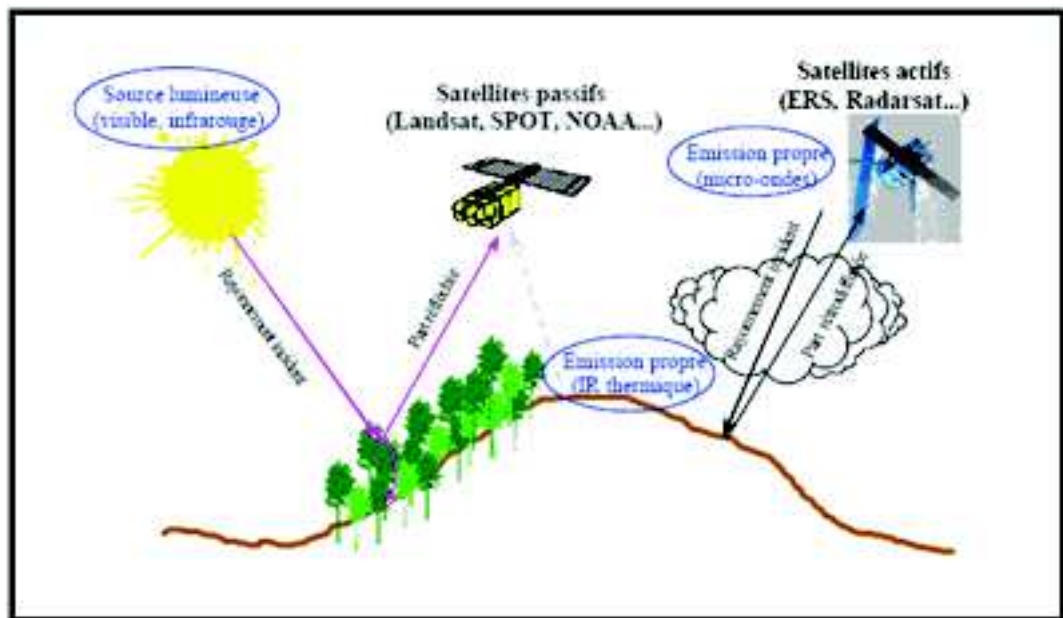


Figure n°02 : Les différents types de télédétection en fonction des domaines de longueur d'onde (d'après GIRARD et GIRARD, 1999)

5- Résolutions

5.1- Résolution spatiale

Correspond à la dimension et aux qualités d'observation du point élémentaire (pixel). La taille du pixel définit donc l'aptitude du capteur à distinguer deux objets proches sur la surface. Elle dépend de la fréquence d'échantillonnage du signal (AMOUR, 2008).

5.2- Résolution temporelle

La résolution temporelle d'un satellite traduit le temps que prend un satellite pour effectuer un cycle orbital complet (intervalle entre 2 passages au nadir d'un point de la surface terrestre).

Cette période est généralement de quelques jours. Il faut donc quelques jours à un tel satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement le même point dans l'espace.

La résolution temporelle absolue du système de télédétection est donc égale à cette période.

Exemples : 16 jours pour Landsat TM, 3 jours pour SPOT. (GOLAY ,2007)

5.3 - Résolution spectrale

Correspond à la capacité du capteur à distinguer des signaux de longueurs d'onde différentes. Elle dépend du dispositif de filtrage optique qui sépare les rayonnements incidents en bandes spectrales plus ou moins larges (CHABIRA, 2007).

5.4- Résolution radiométrique

Exprime l'aptitude du capteur, dans une bande spectrale considérée, à distinguer des signaux électromagnétiques d'énergies différentes. Sa limite est la plus petite variation d'énergie décelable (MAUREL, 2002).

6- Notion de l'image satellite

D'après HABERT, (2002) in DEROUICHE, (2006), L'image satellite est une image numérique représentant les mesures d'un rayonnement réfléchi ou émis par la surface terrestre. Permet d'identifier en composition colorée les éléments du paysage.

Elles sont caractérisées par la partie du spectre électromagnétique utilisée (visible, infrarouge, ondes radar), la résolution au sol, c'est-à-dire la taille du plus petit élément ou échantillonné sur le terrain, la répétitivité de l'observation qui est un des grands avantages de l'observation par satellite est de pouvoir fournir des séries temporelles d'images de la même zone dans des conditions d'observation assez identiques.

7- Apport de la télédétection

On peut résumer l'apport de la télédétection comme suit:

- Elle offre une vision globale et continue de la surface terrestre et des phénomènes qui s'y déroulent;
- Elle offre une vision riche d'informations (multispectrale et hyperspectrale);
- Elle permet d'accéder à des zones dites « inaccessibles » pour des questions de topographie, de climat et de catastrophes naturelles;

- Acquisition de données en temps voulu;
- Observations très rapprochées dans le temps d'un même endroit (répétitivité);
- Les images sont sous forme numérique, ce qui facilite considérablement leur intégration dans les bases de données, possibilité de faire la modélisation pour les phénomènes étudiés.

8- Principaux programmes de télédétection

L'idée d'un programme civil d'observation de la terre était apparue en 1962, date à laquelle la NASA lança l'étude d'un satellite civil de télédétection, projet qui n'aboutit que sur la pression des utilisateurs américains, et notamment de *l'US Geological Survey*.

Le programme d'étude des ressources terrestres à partir de satellites automatiques fût finalement approuvé par la chambre des représentants en 1969 et présenté comme un investissement utile à toute l'humanité.

8-1- Programme LANDSAT

Le programme *Earth Resources Technological Satellite (ERTS)* utilisant les satellites ERTS-1 dont le nom a été transformé en Landsat (Land Satellite) est dû à la NASA. Landsat 1, envoyé le 22 Juillet 1972, a fonctionné jusqu'au 6 janvier 1978. Landsat 2, envoyé le 5 novembre 1975, a fonctionné jusqu'au 27 Juillet 1983, puis des anomalies ont affecté ses capteurs. Landsat 3, lancé le 5 mars 1978, n'a plus fourni de données après le 7 septembre 1983 à la suite d'une panne dans le dispositif de balayage. Landsat 4, lancé 16 Juillet 1982, n'émet plus de données TM depuis Février 1983. Lancé le 1^{er} mars 1984, Landsat 5 fonctionne sans problème. Landsat 6, lancé le 5 Octobre 1993, s'est écrasé en mer lors du lancement. Landsat 7 a été lancé avec succès le 15 avril 1999 et fournit des données. (Voir Figure 03).

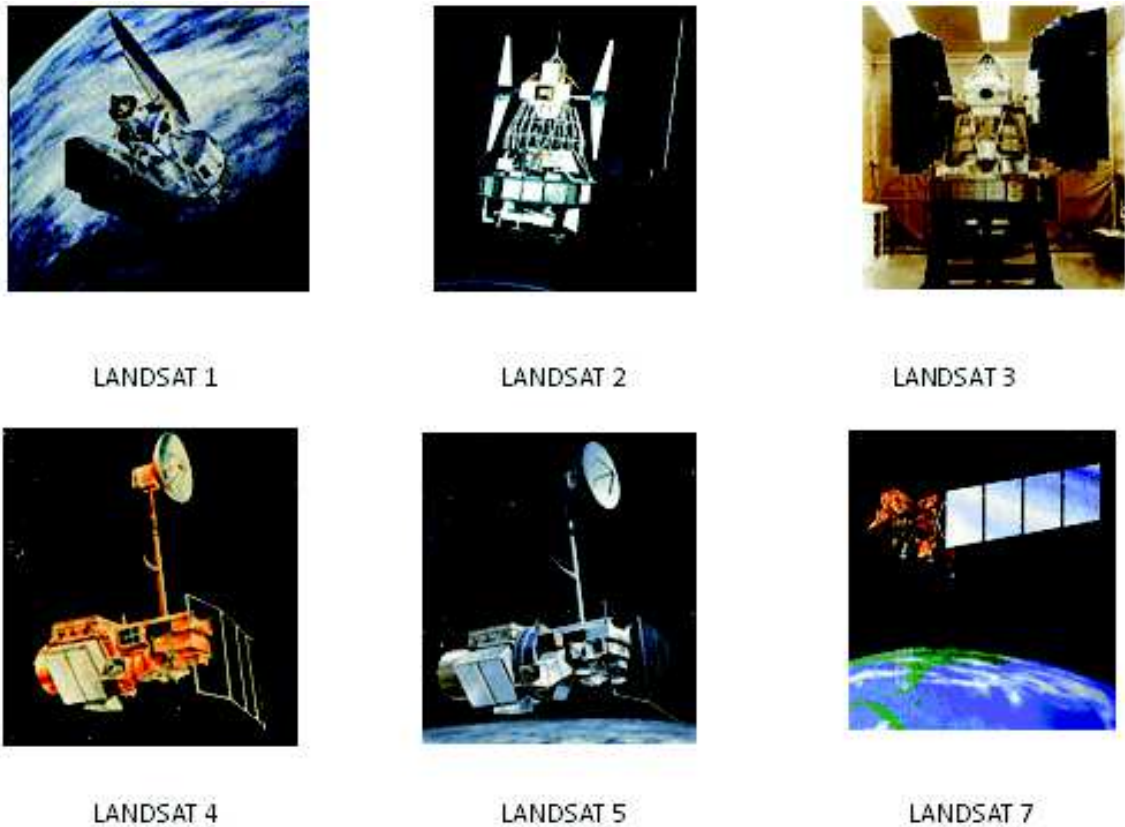


Figure n° 03 : Différents satellites Landsat

(Source USGS NASA, 2011)

Pour les caractéristiques des différents capteurs utilisés dans les satellites LANDSAT sont indiqués dans le tableau suivant :

Capteur	RBV	MSS	TM	TM+
Satellite	LANDSAT 1 à 3		LANDSAT 4 à 5	
Type	Héliosynchrones orbite sub -polaire			
Altitude (Km)	917	705		705
Répétitivité	16 jours			
Canaux	1 : 0,479 - 0,575 μm 2 : 0,580 - 0,680 μm 3 : 0,690 - 0,830 μm	1 : 0,5 - 0,6 μm 2 : 0,6 - 0,7 μm 3 : 0,7 - 0,8 μm 4 : 0,8 - 1,1 μm	1 : 0,45 - 0,515 μm 2 : 0,525 - 0,605 μm 3 : 0,63 - 0,690 μm 4 : 0,73 - 0,90 μm 5 : 1,55 - 1,75 μm 6 : 10,40 - 12,5 μm 7 : 2,09 - 2,35 μm	1 : 0,45 - 0,515 μm 2 : 0,525 - 0,605 μm 3 : 0,63 - 0,690 μm 4 : 0,73 - 0,90 μm 5 : 1,55 - 1,75 μm 6 : 10,40 - 12,5 μm 7 : 2,09 - 2,35 μm P : 0,52 - 0,90 μm
Résolution spatiale	79 m X 56 m		1 à 7 : 30 m ; 6 : 60 m ; p : 15m	
Taille scène	170 X 185,2 Km			

Tableau 01: Caractéristiques des différents capteurs dans les satellites LANDSAT.

Source : GIRARD et GIRARD (1999)

RBV : Caméra numérique Return Beam Vidicon.

- MSS : Capteur Multispectral : Multi Spectral Scanneur.
- TM: Capteur Thematic Mapper.
- ETM +: Capteur Enhanced Thematic Mapper Plus.

8.2- Programme SPOT

Conçu dans les années 1970, le premier satellite SPOT a été mis en orbite le 22 Février 1986; SPOT 2 a été lancé le 22 Janvier 1990; SPOT 3, le 26 Septembre 1993 mais a cessé d'émettre; SPOT 4 a été mis en orbite le 24 Mars 1998. SPOT5 lancé début de 2002. (Voir figure n° 04).

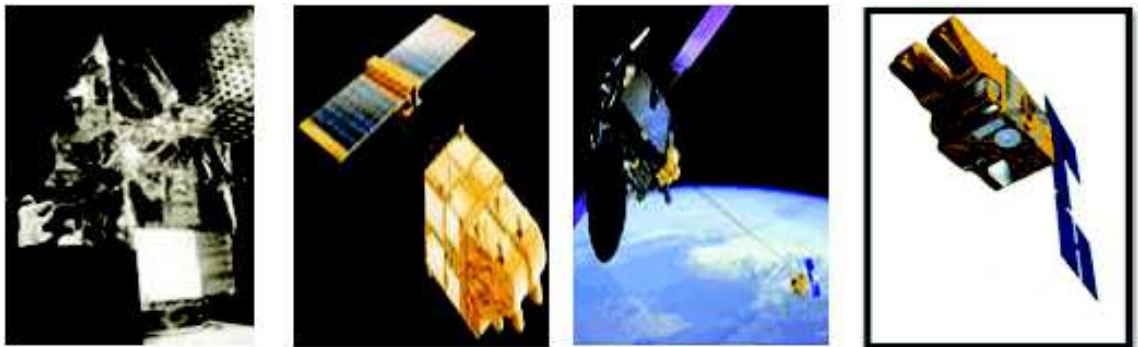


Figure n° 04 : Différents satellites Spot

(Source SNES SPOT5, 2011)

Le capteur embarqué sur le satellite SPOT est un radiomètre HRV (haute résolution visible). Il compte deux modes d'observations, le mode panchromatique (P), et le mode multispectral.

8.2.1- Le mode panchromatique « P »

L'observation est réalisée dans une seule bande spectrale correspond à la partie du visible sans le bleu. La longueur d'onde est comprise entre 0,5 et 0,73 μ m. Cette prise de vue s'effectue dans un seul canal donne des images en noir et blanc.

8.2.2- Le mode multispectral « XS »

L'observation est réalisée dans trois bandes spectrales :

- Bande 1 « XS1 » : 0,5 à 0,59 μ m (vert).
- Bande 2 «XS2 » : 0,61 à 0,68 μ m (rouge).
- Bande 3 « XS3 » : 0,79 à 0,89 μ m (proche infrarouge). Les détails des caractéristiques techniques de SPOT sont présents dans l'annexe 3.

Il existe différents satellites utilisés pour l'étude des ressources terrestres, certains possèdent des capteurs spécifiques dans l'infrarouge thermique : Météosat, NOAA, ERS1, ERS2, EOS-AM, EOS-AM 1, GMS1 et certains possèdent des capteurs dans les hyperfréquences (*Radio Detection And Ranging – Radar-*) : ERS JERS RADARSAT (GIRARD et GIRARD, 1999 ; AIT BENAMER, 1996)

9- Méthodes des traitements utilisées en télédétection

La télédétection produit des images, c'est-à-dire des représentations planes du territoire. Ces images contiennent potentiellement des données qu'il s'agit d'extraire par des traitements appropriés (interprétation, classification, etc.), dans le but de former des informations et agir sur le territoire.

9.1- Acquisition et stockage des données

Avant d'être distribuées, les données sont stockées sous forme de bandes magnétiques. La capacité de stockage est exprimée en octets (kilo, méga, giga, octets), un octet équivaut à 8 bits ou bien 2^8 possibilités de valeurs, c'est à dire 256 niveaux échelonnés de 0 « Noir » à 255 « Blanc ». (AIT BENAMER, 1996).

9.2- Les pré- traitements

DESHAYES et MAUREL, (1990) distinguent les traitements classiques préalables à la mise en forme optimale des données et les traitements proprement dits pour interpréter les données et évaluer les résultats.

9.2.1- Corrections atmosphériques

La correction atmosphérique sur les images est en fonction des caractéristiques thématiques de la zone d'étude et de la méthode de traitement d'image employée. Il est possible d'obtenir la contribution réelle de l'atmosphère sans posséder les données décrivant les conditions météorologiques lors de l'enregistrement de l'image. C'est donc par simulation que les corrections atmosphériques vont être effectuées, pour obtenir au final une évaluation la plus précisée.

Parmi les logiciels de correction les plus connus figurent 5S développé en France et la série des modèles LOWTRAN développé aux Etats-Unis.

Le logiciel 5S (Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire) a été élaboré par le L.O.A (Laboratoire d'Optique Atmosphérique) en 1985 et 1986 permet, grâce à un modèle de simulation du transfert radiatif à travers l'atmosphère non nuageuse, d'évaluer l'importance des effets de l'atmosphère sur les images satellitaires et de les corriger partiellement. Le logiciel 6S (Seconde Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire) a amélioré de nombreux points de l'ancienne version, mais au prix d'une complexité accrue POUCHIN, (2001 a).

9.2.2- Correction radiométrique

Elles permettent de diminuer et de compenser la différence de l'élévation solaire entre différentes dates de prise de vue et la différence dans le calibrage du capteur chose

très importante pour les études multi-temporelles et la cartographie des changements. (DESHAYES et MAUREL, 1990).

9.2.3- Corrections géométriques

Elles sont destinées à corriger des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variation de vol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte. Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'attitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu. (DESHAYES et MAUREL, 1990).

9.3- Les traitements numériques proprement dits

9.3.1- Le seuillage

A partir de l'histogramme d'un seul canal, cette technique consiste à ne retenir que les pixels dont la radiométrie est comprise entre deux valeurs. Bien que très sommaire, elle permet dans certains cas de séparer certains thèmes bien caractéristiques, ces thèmes se traduisant souvent sur l'histogramme par la présence de plusieurs « bosses ». L'exemple classique est celui de la mise en évidence des pixels en eau dans le canal du proche infrarouge. (DESHAYES et MAUREL, 1990).

9.3.2-Création de compositions colorées

L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pouvant refléter de près ce qu'on espère faire ressortir à partir des données télédétectées.

Le principe consiste à une exposition successive de films correspondant à trois bandes spectrales, avec un code de couleur pour chacun ; on visualise trois canaux en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales (bleu, vert et rouge). Le résultat final correspond à une composition colorée, dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances de ces trois couleurs de base. (AIT BENAMER, 1996).

9.3.3- Création d'image en couleur composées

9.3.3.1 - Composé diachronique

Pour les études diachroniques on peut créer une image en couleur composées par l'utilisation de trois images multi-spectrales du même territoire prises à des temps différents.

9.3.3.2 Néo-canaux

Consiste à créer des ratios où la valeur de chaque pixel correspond au résultat d'un quotient faisant appel à plusieurs bandes spectrales.

Exemple : N.D.V.I. pour le cas du LANDSAT TM +

$NDVI = \frac{MIR - PIR}{MIR + PIR}$ ou bien $\frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$

MIR : moyen Infrarouge. , PIR : proche Infrarouge.

9.4- Analyses statistiques

C'est une interprétation des données digitales (sous forme d'images) assistée par ordinateur. Elle s'applique à identifier puis regrouper différents thèmes d'après leurs signatures spectrales.

Parmi ces analyses, il y a la classification des données, on a deux catégories :

9.4.1- La classification supervisée

Le terme de classification supervisée ou dirigée regroupe toutes les procédures de classification basées sur une connaissance préalable de la zone à cartographier.

La définition des classes se fait sur la base de zones test qui est des échantillons représentatifs des classes.

9.4.2- La classification non supervisée

Cette classification a été mise au point pour être utilisées lorsque l'on ne dispose pas d'informations a priori sur la zone. Le traitement regroupe alors les pixels radiométriques semblables en un nombre de classes fixé au départ. Le thématicien intervient ensuite pour donner un nom à chacune des classes obtenues, ce qui n'est pas toujours facile. (DESHAYES et MAUREL, 1990).

10- Détection de changement

Détection des changements est le processus d'identification des différences dans l'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à différentes époques (SINGH, 1989).

L'avantages de l'acquisition de données répétitives est sa vision synoptique et son format numérique adapté pour le traitement informatique appliqués en télédétection de détection de changement au cours des dernières décennies (LU *et al* 2004)

En général, la détection des changements implique l'application d'ensembles de données multitudes pour l'analyse quantitative des effets temporels des phénomènes d'intérêt.

L'objectif de la détection des changements est de comparer la représentation spatiale de deux points dans le temps en mesurant les changements causés par la différence dans les variables d'intérêt (GREEN et al., 1994).

Une bonne recherche sur la détection de changement devraient fournir les informations suivantes (LU *et al.*, 2004).

- Les zones de changement et le taux de changement ;
- La répartition spatiale des types de changement ;
- Evaluation de l'exactitude des résultats de détection.

10.1- -Application de détection de changement

Après une étude bibliographie récapitulative, Lu *et al.*, 2004, ont pu sélectionner dix aspects d'applications de la détection des changements en utilisant les technologies de la télédétection, ils sont résumés principalement dans:

1. L'utilisation des terres et le changement de la couverture terrestre
2. Le changement de la végétation notamment les forêts
3. L'évaluation des mortalités, des défoliations et des dommages en forêts.
4. L'exploitation, la déforestation et la régénération forestière.
5. Le changement des zones humides
6. Les incendies de forêt
7. La modification du paysage
8. Le changement urbain
9. Les changements environnementaux, suivi de la sécheresse, la surveillance des inondations, la surveillance des milieux marins côtiers, la désertification et la détection des zones de glissement
10. La surveillance des cultures, suivi de culture itinérante, les segments de route et le changement dans l'équilibre de masse des glaciers et de faciès.

10.2- Différente étapes de détection de changement

Un projet de détection de changement doit impliquer trois étapes suivantes ;

1- Prétraitement d'images, y compris la rectification géométrique, la normalisation radiométrique et la correction atmosphérique.

2- La sélection des techniques appropriées à mettre en œuvre pour l'analyse de détection de changement,

3- La précision d'évaluation et des résultats de la détection des changements qui dépendront de nombreux facteurs, notamment:

- Correction géométrique des images multi-temporelles,
- Calibration ou normalisation entre les multi-images temporelles,
- Disponibilité des données sur la vérité de terrain,
- Complexité du paysage et les milieux de la zone d'étude
- Choix des méthodes de détection et des algorithmes utilisés
- Classification et le système de détection de changement,
- Compétences et l'expérience de l'analyste,
- Connaissance et la familiarité de la zone d'étude,
- Temps et le coût de l'étude.

10.3- Les exigences de l'analyse multi-temporelle

Avant la mise en œuvre de l'analyse de détection de changement, quatre conditions doivent être remplies :

1. Les images utilisées doivent être issues du même capteur (même enregistrement).
2. Calibrage radiométriques et atmosphérique de différentes images multi-temporelles.
3. Date de prise de vue des images doit être similaire pour éliminer les effets de sources externes telle que l'angle solaire et les différences saisonnières et phénologiques.
4. L'utilisation de la même résolution spatiale et spectrale des images multi-temporelle.

10.4- Méthodologie pour la détection des changements

10.4.1- Démarche générale pour la détection des changements

LUNETTA et ELVIDGE, 1998 ont décrit 06 étapes comprenant le processus général de la détection des changements. En plus les trois étapes déjà citées, l'acquisition et prétraitement, la correction géométrique et radiométrique et la normalisation des données, on cite les trois étapes restantes :

a- Détection des changements

Il y a plusieurs méthodes pour détecter les changements d'occupation des terres qui seront analysées et discutées dans le chapitre III (approche méthodologique.)

b- Evaluation de l'exactitude des résultats

L'exactitude associée aux produits de post classification, peut être évaluée en employant une des deux approches suivantes (LUNETTA and ELVIDGE 1998) : Si l'exactitude des images ou des cartes a été individuellement quantifiée, celle de la détection des changements peut être calculée en multipliant l'exactitude de chaque classification individuelle, si l'exactitude n'est pas identifiée, une évaluation statistique de la production de cartes de changements est exigée en employant une source indépendante de données de validation.

c- Génération du produit final

Le produit final est une carte des changements d'occupation des terres à une échelle équivalente à celle des données d'entrée.

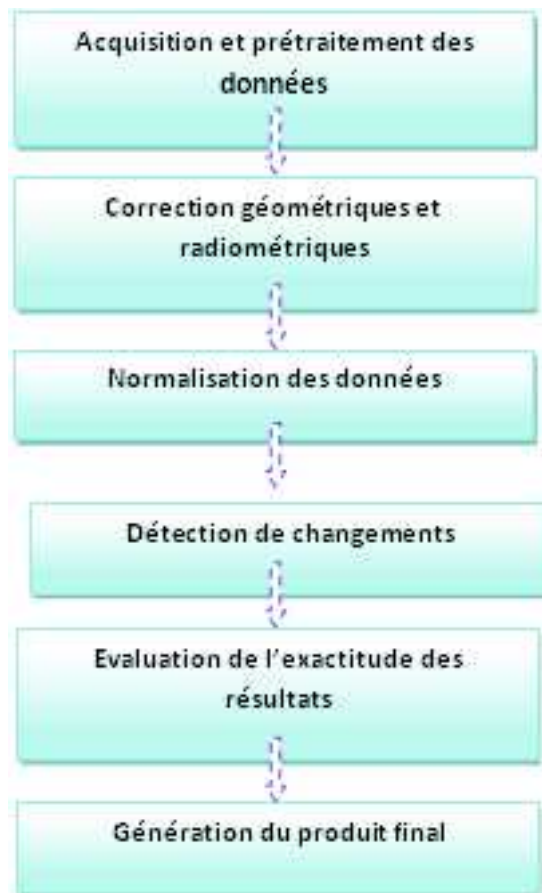


Figure n° 05: Etapes générales pour l'étude de la détection des changements
(Selon LUNETTA and ELVIDGE, 1998)

Conclusion

L'image satellitaire naît d'un capteur situé sur le satellite en question, et d'une scène observée. Le satellite nous fournit ainsi des informations brutes sur le paysage observé. Ces informations renseignent sur le signal électromagnétique émis par les objets terrestres. L'information spectrale obtenue pour chaque pixel est décomposée en bandes. Ces informations sont ensuite réceptionnées par des capteurs terrestres qui synthétisent pour chaque bande une image que l'on peut représenter en niveaux de gris et dont la résolution est de quelques mètres par pixel.

La télédétection permet d'exploiter l'information spectrale à des fins d'analyse, d'interprétation et de gestion de l'environnement. Mais l'image satellitaire en soi est inutilisable en pratique, sans traitement supplémentaire pour la rendre exploitable.

L'objectif du traitement numérique d'images satellitaires est d'en extraire le maximum d'informations, et d'évacuer tout ce qui est superflu. Une application éventuelle est la classification d'image satellitaire qui consiste à attribuer une étiquette de classe parmi un ensemble de légende d'occupation du sol.

Chapitre II : CADRE D'ETUDE

1- Contexte général

Notre zone d'étude est située dans la partie centrale de la wilaya de Djelfa, elle fait partie du bassin des Zahrez appartient au synclinal de Djelfa, elle occupe la partie centrale de l'Atlas saharien par sa position méridionale dans l'Atlas saharien (Monts des Ouled Nail) ce qui lui confère la transition entre le Nord du pays et le Sahara

2- Choix de la zone d'étude (Sous bassin versant d'Oued Djelfa- Hadjia)

Le choix du sous bassin versant Oued Djelfa-Hadjia pour la réalisation de ce travail se justifie du fait que cette zone d'étude comprend par excellence tous les thèmes qu'on peut rencontrer en zone semi aride (forêts, parcours, dunes) et qu'aucune étude n'a été menée d'étude de changement d'occupation des sols. Aussi un autre facteur c'est la disponibilité des images satellitaires couvrantes cette zone en une seule scène.

3- Situation géographique

Le sous bassin versant Oued Djelfa-Hadjia est situé dans la partie Sud - Ouest du bassin hydrographique d'Oued Mellah, il s'intègre dans le grand bassin de Zahrez, se situant dans l'atlas saharien, il occupe une superficie de 2297 km² avec un périmètre de 264.1 km.

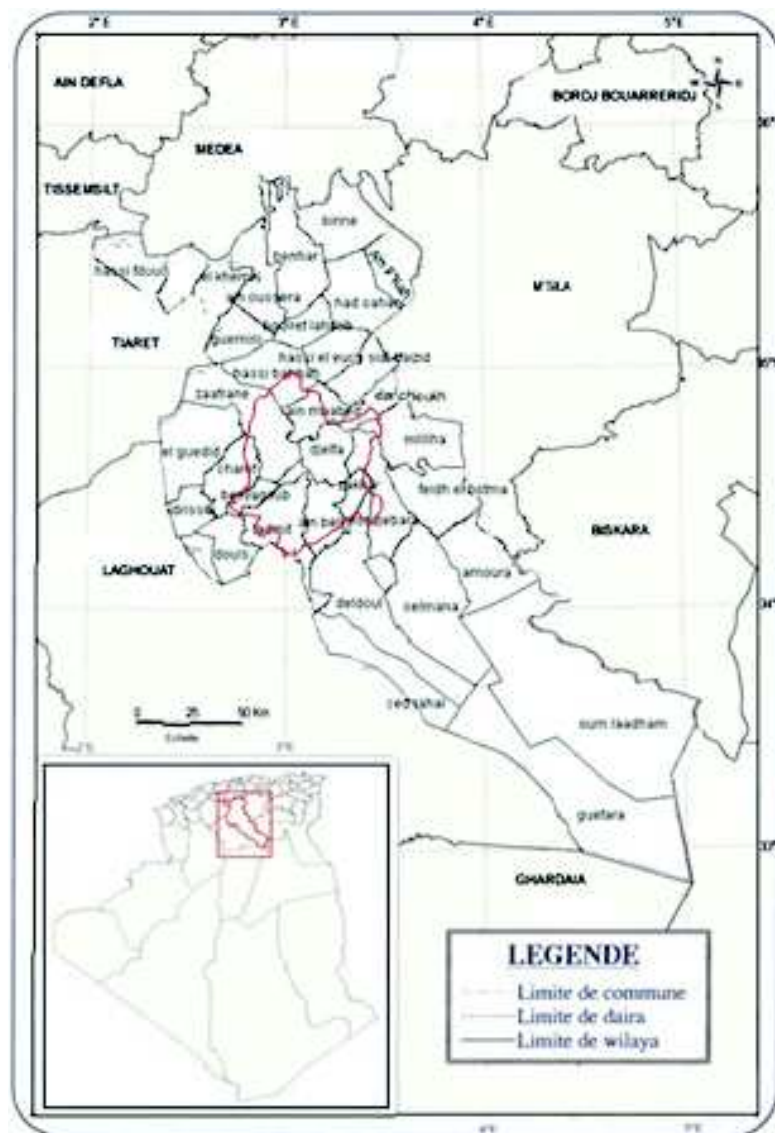


Figure n°06: Carte de situation de la zone d'étude

Il présente une orientation générale NW-SE ; il est compris entre les données suivantes (WGS 84):

- Sommet x1 : 2° 58' 16.04 "ety1 : 34° 59 ' 03.63"
- Sommet x2 : 3° 01' 22.60 "ety2 : 34° 24 ' 00.57"

Selon le découpage des bassins versants de l'ANRH notre sous bassin versant de Oued Djelfa-Hadjia sous le code 1702 est délimité par : (Voir figure n° 07)

- Au Nord et Nord- Est, S/BV 1703(Oued Zahrez Gharbi), compris les monts de Zahrez Gharbi;
- A l'Est, les S/BV 1706 (Zahrez Chergui), 1705(Oued Medjadel), et 1704 (Daiet Mefiteg);
- Au Sud- Est, le S/BV 606 (Oued Demmed);
- Au Sud et au Sud- Ouest le S/BV 605 (Oued Thadmit) ;
- Au Ouest, le S/BV 1701(Oued El Mesrane).

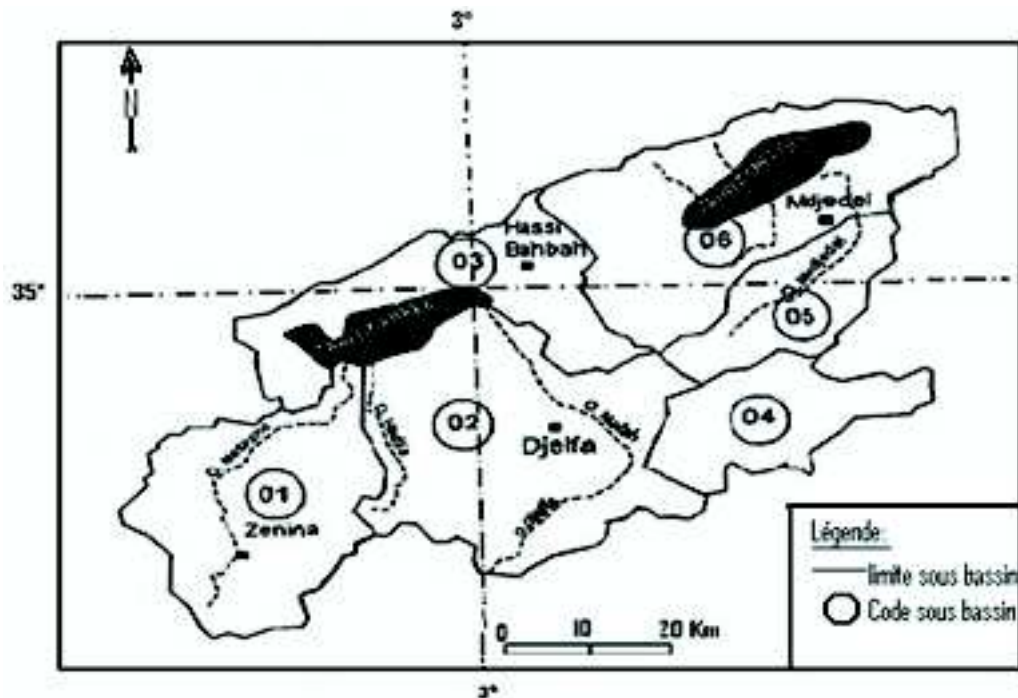


Figure n° 07 : Situation du sous bassin Djelfa-Oued El Hadja (1702) au sein du bassin des Zahrez

4- Situation administrative

Le sous bassin versant Oued Djelfa-Hadjia, est situé sur le territoire de la wilaya de Djelfa, il est centré dans le périmètre commun de 12 communes: Ain Maabed, Ain El ibel, Ben Yaagoub, Charef, Djelfa, Dar Chioukh, El Guedid, Hassi Bahbah, Moudjebara, Taadmit, Zaafrane, Zaccar. (Voir figure. n° 06)

5- Cadre climatique

Le climat peut être défini comme étant les conditions moyennes qu'il fait dans un endroit donné, (Températures, précipitations, humidité.....) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans.

Il est donc caractérisé par des valeurs moyennes, mais également par des variations et des extrêmes; de plus il joue un rôle prépondérant dans la répartition du couvert végétal et a un impact économique, social et environnemental.

Dans cette partie nous essayerons de caractériser le contexte climatique et bioclimatique de notre région d'étude, par une analyse de ses paramètres et la synthèse que l'on peut tirer.

Vue l'absence de station météorologique stationnaire dans notre région d'étude, nous avons pris en considération les données climatiques de la station la plus proche en l'occurrence la station de Djelfa (O.N.M.).

Selon BENTOUATI (2006), le climat influe sur les potentialités d'une région donnée, il s'agit sur la répartition de la flore et de la faune. Il présente alors une importance primordiale.

Le climat est un indicateur de la distribution des êtres vivants. Il influe par l'ensemble des paramètres météorologiques qu'ils le constituent dont chacun à son importance. Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans le contrôle de la répartition géographique des espèces qu'elles soient végétales ou animales (DAJOZ, 1996).

5.1- Les éléments climatiques

5.1.1- Les précipitations

D'après RAMADE (1984) «la pluviosité constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres».

Pour mieux comprendre l'origine et la répartition des précipitations nous nous sommes référés aux citations suivantes:

Selon CHAUMONT et PAQUIN (1971), deux groupes de facteurs influencent la répartition spatiale des précipitations, mais aussi le rythme des régimes saisonniers:

- Facteur géographique: Les pluies dues aux vents pluvieux de secteurs Ouest et Nord-Ouest qui abordent le Maghreb par le littoral durant la saison froide, leur influence diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer, l'Atlas saharien en bénéficie cependant d'avantage que les Hautes Plaines en raison de son altitude plus élevée.
- Facteur météorologique: Les précipitations orageuses dues aux perturbations atmosphériques engendrées par les dépressions en provenance des régions sahariennes surtout à la fin du printemps et même en période estivale dans l'Atlas Saharien notamment.

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale. La quantité annuelle des précipitations conditionne en grande partie les biotopes continentaux (RAMADE, 1984)

5.1.1.1- Précipitations mensuelles moyennes

Les variabilités interannuelles sont très importantes. D'après le graphe (08) les années sèches succèdent à des années pluvieuses, selon un rythme de plus en plus irrégulier au fur et à mesure que la variation de la pluviosité diminue.

LE HOUEROU (1969) montre que cette augmentation de la variabilité interannuelle accentue l'aridité du climat avec des années sèches de plus en plus nombreuses et longues.

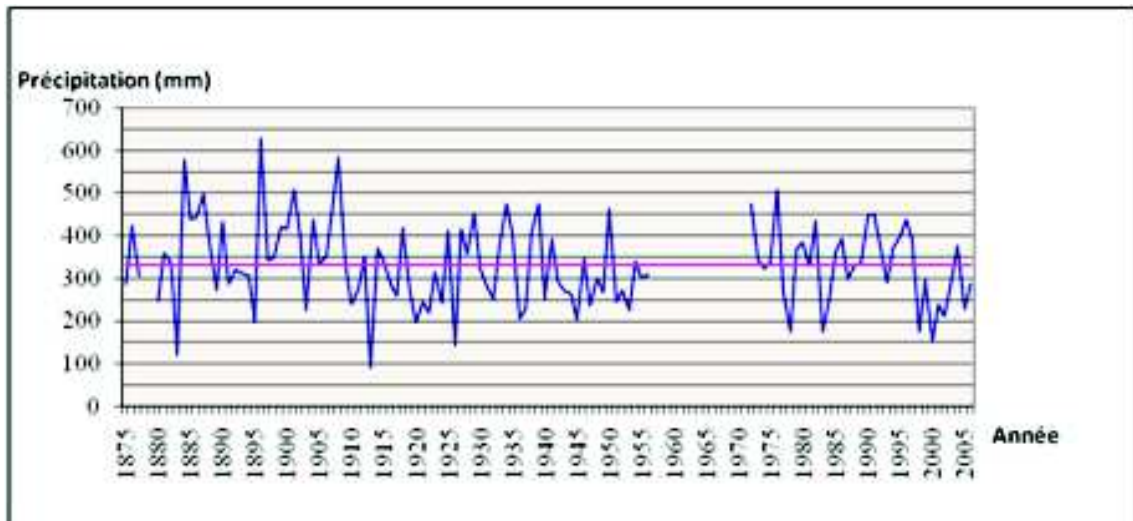


Figure n° 08: Fluctuation des pluviosités moyennes annuelles (1875 à 2005)

5.1.1.2- Précipitations mensuelles moyennes

Source : ONM Djelfa 2011

Le tableau ci-dessus, montre que sur la période (1975-2009) ; le mois le plus pluvieux est le mois de Mai avec une moyenne mensuelle de **35.38 mm**, ainsi que le mois de septembre et de janvier avec des moyennes mensuelles de **32.76mm** et de **31.86mm**, tandis que le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec une moyenne mensuelle de **9.61mm** (Voir annexe n° 01)

La pluviométrie annuelle moyenne de la période (1975-2009) est de l'ordre de 322.68 mm/an.

D'après POUGET (1980); « Pour la végétation, l'efficacité des pluies hivernales se trouve limitée par le froid, surtout en altitude ou l'activité végétale est très ralentie, sinon arrêtée, pendant une période plus ou moins longue (dormance hivernale) ». Aussi la quantité d'eau reçue annuellement restant un facteur essentiel pour la vie végétale en zone aride.

Pour BELGAT (2001), l'intensité des pluies et leurs fréquences jouent un rôle prépondérant sur:

- La stabilité ou l'instabilité des sols, combinés aux facteurs physiques du sol, elles peuvent favoriser ou défavoriser la stabilité structurale du sol.
- Elles agissent sur la solubilité et la migration des nutriments dans le sol. En conséquence, elles participent à la répartition spatiale des espèces.
- Elles accélèrent ou elles bloquent l'évolution des matériaux organiques et minéraux et elles interviennent dans la formation des sols.

5.1.2 - Températures

La température est considérée comme étant le facteur le plus important agissant sur la répartition géographique de la flore et de la faune. (RAMADE, 1984)

D'après, KADIK (1985) : « Pour la croissance et le développement des végétaux les températures ont un rôle essentiel, les deux facteurs limitant sont la durée du froid hivernal et d'autre part la sécheresse estivale ».

En ce qui concerne les températures, nous avons retenu les valeurs suivantes :

- Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M ».
- Moyenne des températures minimales du mois le plus froid « m ».
- Températures moyennes mensuelles.

Selon SAUVAGE (1963) in HAMIDI (2000); entre les deux extrêmes thermiques (M et m) se déroule la vie végétale.

Source : ONM de Djelfa

D'après le tableau n° 03, nous avons constaté que le maximum du mois le plus chaud (M) se situe au mois de juillet avec une moyenne de 33.59°C alors que le minimum du mois le plus froids (m) se situe au mois de Janvier avec une moyenne de 0.51°C (Voir annexe n° 02).

NB : les températures les plus élevée coïncident avec la période estivale et les plus faibles avec la période hivernale.

D'après POUGET (1980) ; «on considère, pour la végétation, une dormance hivernale :

- De quatre mois lorsque les valeurs de m sont comprises entre -2°C et +1°C, soit de décembre à mars.
- De trois mois pour m compris entre +1°C et +3°C, soit de décembre à février.
- Dans le cas de notre région d'étude elle est de 3 mois de décembre à février.

5.1.3- Humidité relative

L'humidité relative est un élément important pour la physiologie animale et végétale, ainsi d'humectation-dessiccation des agrégats du sol.

Tableau n° 04: Humidité moyennes mensuelles en (%) durant la période (1990-2009)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
Humidité (%)	77.5	69.4	63.85	58.65	52.8	42.6	35.05	38.8	54	62.7	72	78.05	58,78

Source: O.N.M., Djelfa, 2009

L'humidité relative moyenne annuelle est de **58,78 %** à Djelfa, l'humidité relative est plus élevée en hiver avec une valeur maximale enregistrée au mois de Décembre **78.05 %**, En été cette humidité atteint la valeur la plus minimale au mois de Juillet **35.05%**.

5.1.4- Le vent

Le vent prend parfois des ampleurs impressionnantes est crée dans les forêts des phénomènes catastrophique réunis sous le nom de chablis

Selon OLDACHE (1988). Le vent est le principal agent climatique qui concourt au fonctionnement des paysages arides et désertiques. Par son action, il agit en tant qu'agent d'érosion, de transport et d'accumulation du sable.

Tableau n° 05 : Vitesses moyennes mensuelles du vent (1990-2009).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov,	Déc.
Vent m/s	3.74	3.79	4.16	4.70	4.17	3.64	3.42	3.12	3.23	3.49	3.75	3.53

Source:O.N.M. Djelfa, 2009

Le maximum de la vitesse du vent remarquée au moins d'Avril avec une valeur de 4.7 m/s, et la valeur minimale enregistrée durant le moins de Août avec une valeur de 3.12 m/s. la direction dominante du vent est SW. (Voir tableau n° 05)

Tableau n° 06 : Direction des vents par saison de (1975-2006).

	N	NNE	NE	E	ESE	SE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Direction dominante	Hiver
Printemps	5	3	3	0	0	2	6	5	46	0	12	0	11	1	SW	
Eté	1	5	3	0	0	3	10	6	50	0	5	0	9	0	SW	
Automne	2	0	3	0	0	2	10	5	50	0	4	0	16	0	sw	
Année	10	10	9	0	0	7	34	22	202	0	26	0	50	1	SW-NW	

Source : O.N.M. Djelfa, 2009

La vitesse et la direction du vent influent sur le milieu, Selon les données existantes, la vitesse annuelle moyenne est de 3,7 m/s, les vents dominants dans notre région sont de direction du SW vers le NE pour les mois de juin et de septembre, mais généralement sont de direction de NW et quelques fois du Sud. (Voir tableau n° 06).

5.1.5- Gelée

Tableau n° 07: Nombre de jours mensuels de gelée durant la période (1990-2009)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Nj de gelée	10	7	3	1	0	0	0	0	0	0	3	8

Source : O.N.M. Djelfa, 2009

D'après le tableau n° 07, on remarque que la période la plus marquée par le gel est la saison d'hiver : décembre, janvier et février.

Les gelées constituent un des facteurs climatiques les plus contraignants des zones steppiques, cette contrainte est directement liée à la température moyenne des minimas du mois le plus froid, où celle-ci se trouve au dessous de zéro degré.

5.1.6- L'évaporation

L'évaporation est un phénomène dû à l'élévation de la température, d'après le tableau ci-dessus, on remarque que la valeur la plus marquante se trouve au mois de juillet avec une moyenne de **290mm**, cette augmentation est liée à la température moyenne maximale du mois le plus chaud en l'occurrence Juillet. (Voir tableau n° 08 et annexe n° 03).

Dans certaines régions de notre zone d'étude, l'évaporation accentue les remontées de sel des nappes phréatiques salées aux horizons superficiels des sols, les rendant stériles.

5.2- Synthèse des données climatiques

5.2.1- Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Pour Gaussen, la sécheresse s'établit si le quotient des précipitations mensuelles (P) exprimé en mm est égal à 2 fois la température pour un mois donné (P=2T). La

représentation sur un même graphique des températures et précipitations en ordonnées avec P=2T et en abscisse les mois, permet obtenir les diagrammes ombrothermiques qui mettent immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses (GERARD, 1999)

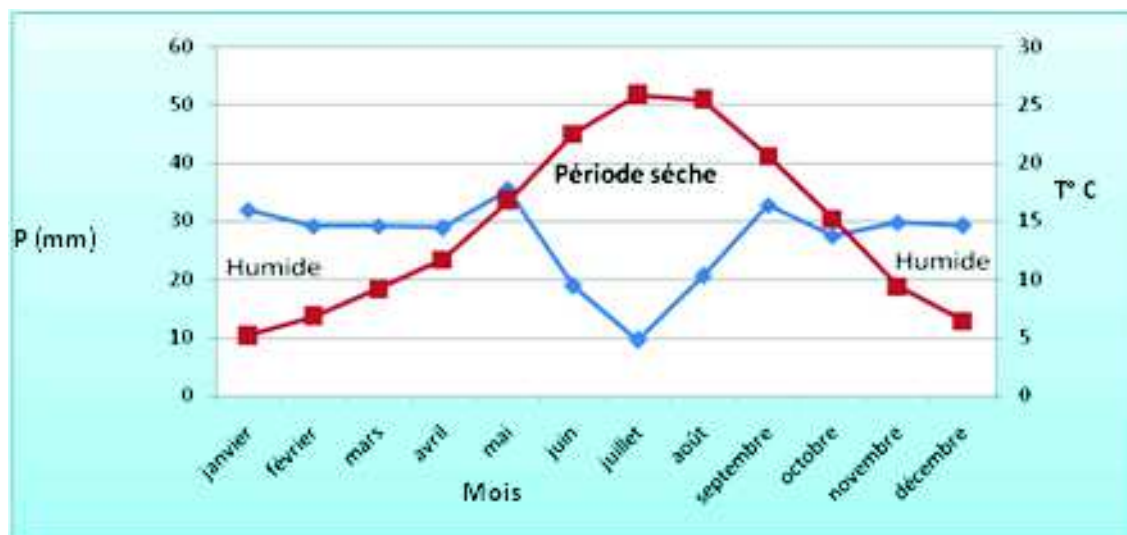


Figure n° 09 : Courbe Ombrothermique de Gaussen de la station de Djelfa durant la période 1975 -2009

Le diagramme Ombrothermique montre la présence de deux périodes bien distinctes :

La première période est humide et s'étend sur 7 mois du début de Octobre jusqu'à la fin de mois de Mai. La seconde est sèche s'étalant du début de juin jusqu'au mois de Septembre.

5.2.2- Indice xérothermique d'Emberger :

Comme le Q_{\square} (Quotient pluviométrique d'Emberger) ne tient pas compte de la xéricité du climat, Emberger (1941), à la suite des travaux de GAICOBLE (1937), été amené à caractériser l'intensité de la sécheresse estivale par l'indice suivant :

$$S = \frac{PE}{M}$$

Tels que :

S : l'indice de sécheresse estivale

PE : la somme des précipitations moyennes estivales.

M : la moyenne de la température du mois le plus chaud.

D'après EMBERGER (1942) in ABOURA 2006 ; « Un climat ne peut être réputé méditerranéen du point de vue phytogéographique que si $S < 7$ ».

Période et cycle	PE (mm)	M (°C)	S
1975-2009	49,01	33,59	1,46

S est inférieur à Sept ce qui nous permet de classer le climat de notre région d'étude comme méditerranéen, on remarque aussi que PE est légèrement supérieur à M, cette relativité met en évidence une saison critique pour la végétation.

NB : Nous avons constaté qu'il existe une relation entre l'indice xérothermique d'Emberger et le diagramme Ombrothermique, c'est-à-dire à chaque fois que la période sèche augmente l'intensité de sécheresse diminue est vice versa.

5.2.3- Climagramme d'Emberger et quotient pluviométrique

EMBERGER, (1955), a cherché une expression synthétique du climat méditerranéen capable de rendre compte de la sécheresse, donc il a établi le quotient pluviométrique d'Emberger (Q₂) qui est d'après SAUVAGE (1963) in HAMIDI (2000) ; « Un indice qui exprime la xéricité du Nord au Sud de l'écosystème méditerranéen ». Ce quotient à une valeur écologique différente suivant les températures minimales.

En Algérie STEWART (1969) in DJEBAILI (1984); a montré que la dernière formulation du quotient pluviométrique (Q₂) peut s'écrire :

$$Q_2 = \frac{1000}{[(M + m) + 2] + 273} \times \frac{P}{(M - m)}$$

Selon DJEBAILI (1984); la première partie peu variable est peut être ramenée a une constante K dont la valeur pour le Maroc et l'Algérie est égale à 3.43, d'où la nouvelle formule :

$$Q_3 = 3.43 \times \frac{P}{(M - m)}$$

Q : Quotient pluviométrique.

P : Précipitation moyenne annuelle exprimé en mm.

(M+m)/2 : Moyenne des températures annuelles.

M-m : Amplitude thermique.

M et m sont exprimés en degré Celsius.

Tableau n° 09: Quotient pluviométrique d'Emberger

période et cycle	P (mm)	M-m	3,43*P	Q ₂
1975-2009	322,68	33,08	1106,79	33,46

Tableau n° 09: Quotient pluviométrique d'Emberger

EMBERGER, (1955), a considéré que le (Q₂) était insuffisant pour faire ressortir à lui seul l'action des températures, donc il a combiné le (Q₂) et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m), sur un climagramme tel que :

- Les abscisses représentent les valeurs de (m).
- Les ordonnées celles des (Q₂).

Le quotient pluviométrique Q_2 pour la région d'étude et pour une période s'étalant sur 34 ans (de 1975 à 2009) est égal à 33.46, donc notre zone étude se localise dans l'étage bioclimatique semi aride à hiver froid. Comme le montre le climagramme d'EMBERGER (Voir figure n° 10)

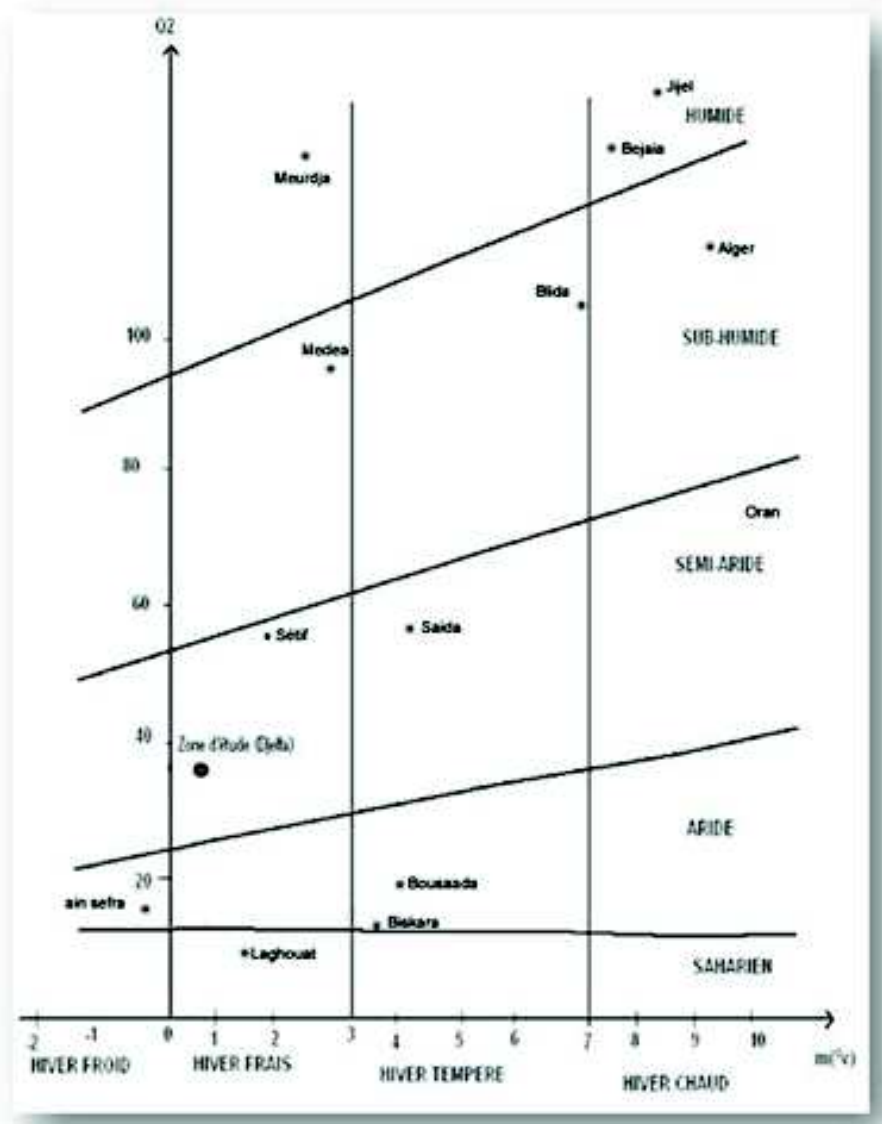


Figure n° 10: Climagramme d'Emberger de la région de Djelfa

6- Cadre topographique

Deux ensembles bien distincts caractérisent notre région d'étude, il s'agit :

- L'Atlas Saharien (Monts des Ouled Naïl) :
- La cuvette du Zahrez el Gharbi

6.1- L'Atlas Saharien

Il se caractérise par des reliefs relativement élevés qui ont généralement une orientation SW-NE. Les principales chaînes montagneuses qu'on y trouve sont :

- Djebel S'hary qui culmine à 1484 mètres d'altitude
- Djebel Sénalba avec une altitude d'environ 1489 mètres et s'étend sur 40 Km de longueur.
- Djebel Degdegue avec 1089m d'altitude, avec des pentes comprises entre 15 et 25%.
- Djebel Drheïma avec une altitude de 1000m, avec des pentes comprises entre 9-15%.
- Djebel Brad el Aïch avec une altitude de 1089m, avec des pentes comprises entre 9-15%.
- Djebel Ouachba avec une altitude de 1200m, avec des pentes supérieures à 25 %.

6.2- La cuvette du Zahrez El Gharbi

La cuvette se décompose en 03 niveaux topographiques successifs à partir de la crête Nord du relief des Monts des Ouled Nail :

1. Le piedmont, au Sud, se trouve à des altitudes comprises entre 900 m et 1000 m.
2. La plaine d'épandage, entre le piémont Sud et la sebkha avec une altitude moyenne de 850m.
3. Le cordon dunaire couvrant les 2/3 de la plaine d'épandage Sud.

Le paysage de notre région d'étude est diversifié, puisqu'il inclut à la fois le relief, la plaine et le cordon dunaire.

1. La sebkha, située entre 840 et 827m, couvre plus de 200Km².

6.2.1- Le piedmont

C'est la partie qui relie les Djebels et la plaine, avec une altitude de 900 à 1000M. Il se présente sous la forme d'un long versant faiblement incliné, avec une pente qui diminue de l'amont vers l'aval. Sa surface est souvent recouverte de sédiments détritiques. Les ravins issus de la montagne l'incisent.

Cette partie est bordée à l'Est par l'oued Mellah et l'oued kourireche et à l'Ouest par l'oued el Hadjia; entre ces oueds, la topographie se présente comme un complexe de glacis, avec des pentes entre 9 et 15 %, sur les quels se maintient une végétation très clairsemée : *Pinus halepensis* (pin d'Alep), *Juniperus Oxycedrus* (genévrier de Phénicie), parcours de *stippa Tenacissima* (Alfa).

6.2.2- La plaine d'épandage

Elle est caractérisée par une altitude entre 900 et 827 m, et des pentes, de direction S-N, très douce et voisine de 5%. Elle s'étend sur 10 à 15 Km entre le piémont Nord des monts des Ouled-Naïl et la Sebkha. Sa topographie est marquée à la fois par les incisions des Oueds et par les épandages de leurs crues. Nous avons constaté, sur le terrain, que ces débordements sont faibles et arrivent rarement au cordon dunaire.



Figure n° 11 : Plaine d'épandage

6.2.3- Le cordon dunaire

D'après TRAYSSAC (1980) « le massif dunaire (erg), constitue une coupure nette de la plaine, non seulement du point de vue topographique mais aussi hydrologique, pédologique et végétal».

Le massif dunaire se localise entre le piémont et la Sebkhia, divisant la plaine d'épandage Sud en deux. Selon POUGET (1971), il s'étend dans le sens sud ouest au nord –Est sur un environ 150 Km de longueur, depuis l'oued Touil jusqu'aux djebels à l'Est du Zahrez chergui et sur 2 à 3 km de largeur en moyenne. D'abord composé de petits massifs dunaires, il devient peu à peu continu et difficilement franchissable.

Pour cette raison, il constitue un des éléments topographiques majeurs de la zone d'étude, il est discontinu, coupé par les passages des oueds Mellah et Kourireche. Ces passages de dépôts fluviatiles sont caractérisés par un dépôt sableux.



Figure n° 12 : Cordon dunaire

NB : la plaine qui se situe entre le piémont et l'erg, au sud du cordon dunaire, est caractérisé le plus souvent par des sols d'apport alluviaux, elle est marquée par les incisions des oueds les courts issus de la montagne est demeuré jusqu'à présent le grenier de la région car elle est assez fertile, tandis que entre l'erg et la sebkhia on passe à la plaine salée couverte d'une steppe halophyte est demeuré moins potentielles que la précédente.

6.2.4- Chott et Sebkhia

Le chott et la Sebkha de Zahrez el Gharbi sont une vaste dépression endoréique. Localisés entre 840 et 827 m d'altitude, avec une superficie de 52.200 Hectares, leur orientation est de SW-NE, parallèlement à la chaîne Atlasique et au cordon dunaire.

La sebkha fonctionne comme une cuvette d'épandage aux grandes crues régionales, véhiculées par les Oueds qui naissent dans les monts des Ouled-Nail au sud de la région étudiée (Oued Mellah, Oued kourireche, Oued el Hadjia).

7- Cadre géologique

La région de Djelfa est comprise dans l'ensemble géologique atlasique, faisant partie des Monts d'Ouled Nail. Qui est d'orientation grossière Sud- Ouest et Nord- Est. Les formations rencontrées sont d'âge fin jurassique, créacé, tertiaire et quaternaire. Ils sont limités au Nord par les hauts plateaux et au Sud Par la plate forme saharienne.

7.1- Litho stratigraphie

Les sédiments accumulés durant le créacé et le cénozoïque ont formé de puissantes séries néritiques et continentales.

Les formations créacées constituent l'ossature des monts de Djelfa et forment la dépression ou se déposent les séries attribuées au Néogène et quaternaire, en discordance sur les termes anciens. (Voir figure n° 13)

- Le Trias :

Les affleurements attribués au trias n'occupent qu'une place très restreinte. Il s'agit d'une grosse intumescence axiale de sel gemme (NaCl), situé à une vingt Kilomètres au Nord de Djelfa, qui s'élève à plus de 80m au dessus du talweg de l'oued Djelfa-Mellah, avec un diamètre de 1500m environ. Ce diapir est cerné par des crêts de calcaire qui ne se rattachent à aucun faciès créacé connu sur le terrain, il s'agit d'un faciès Jurassique, ramené par la montée du diapir qui se trouve sur l'accident nord-atlasique (TRAYSSAC, 1980)

- Le Jurassique :

Les formations Jurassiques sont constituées par une alternance de calcaire dur et calcaire graveleux avec marne multicolore, ces dépôts sont rencontrés surtout dans la partie Nord-Ouest de Djelfa.

- Le créacé

Le créacé apparaît au niveau des crêtes (Djebel Sénalba, Djebel Aissa et Kef Haouas). Constitué de calcaires, de marnes et de grès (CORNET, 1952)

- Le Barrémien :

Cette formation correspond à un énorme ensemble gréseux ou argilo-gréseux. Les grès sont souvent à grains grossiers en général mal classés, leur couleur peut être blanchâtre, beige mais souvent rougeâtre.

- La limite inférieure correspond à l'ensemble carbonaté inférieure du fin Jurassique.

- La limite supérieure correspond à la disparition des grès argileux et des argiles gréseuses.

- L'Aptien :

Cette formation est bien représentée dans la région puisqu'elle affleure tout autour du synclinal de Djelfa. L'aptien forme une bande étroite, continue bien visible dans le paysage, parfois elle est discontinue quand elle est cachée par le quaternaire et sa couleur est grise blanchâtre. L'aptien est essentiellement carbonaté, il est formé de marnes verdâtres à grisâtres marno- calcaire.

Parfois on rencontre des bancs de calcaire fin argileux ou gréseux avec une épaisseur moyenne est de **50 m** au niveau de Djebel Djellal et Senalba Chargui.

- L'Albien :

Sa partie inférieure est d'une épaisseur de 400m, formée de grès massifs fin de couleurs rouges, parfois blancs pâles, tachetés de points noirs. Ils sont intercalés par des passées d'argiles grisâtres.

Sa partie supérieure est d'une épaisseur, d'environ 200 m, constituée de calcaires et marnes en alternance. Les deux parties présentent un intérêt hydrogéologique.

L'Albien est caractérisé par une perméabilité d'interstices.

- Le Cénomaniien:

Cette série est formée essentiellement par des séries marneuses souvent salées (Djebel Boukhil) et rarement marno-calcaire.

La limite inférieure est représentée par la limite supérieure de l'albien supérieure et la limite supérieure est matérialisée par la grande falaise sous-jacente.

Les épaisseurs sont plus importantes à l'Est qu'à l'ouest et elles varient de 732 à 530 m.

- Le Turonien :

On trouve cette formation au niveau de la grande structure centrale ainsi qu'à l'ouest. Elle se présente essentiellement comme une grande falaise dominant le reste des formations sous jacentes, par suite de l'inversion du relief : elle forme l'ossature de la grande structure de Djelfa.

Cette formation est formée essentiellement du calcaire de couleur claire ou grisâtre.

A la base, le calcaire est massif à silex et à beaucoup de débris de rudistes.

- Le Sénonien :

Cette formation est constituée d'une l'alternance de calcaire avec des courbes marneuses jaunes, avec une épaisseur d'environ 100 m.

La limite inférieure est matérialisée par l'apparition des alternances marneuses-calcaires et la limite supérieure est indéterminée.

Du point de vue hydrogéologique, le sénonien est une formation caractérisée par une faible perméabilité et peu productive.

- Le Miopliocène :

Cette formation est caractérisée par la présence des marnes, argiles rouges à jaune verdâtre, de banc de calcaire peu épais à massifs, de conglomérats à éléments calcaires et de gypse. Le Mio-pliocène est sur les séries sous jacente.

- Le Quaternaire :

- Le Quaternaire ancien :

Représenté par un premier glaciaire, constitué d'une croûte très épaisse et très dure presque dépourvue du matériel grossier.

Il est situé au flanc Sud de Djebel Djellal EL Gharbi, formant des terrasses dans le paysage.

C'est un quaternaire consolidé, compact et discordant.

- Le Quaternaire moyen (Tensiftien) :

Représenté par le troisième glaciaire, qui est caractérisé par une superposition des deux horizons carbonatés:

L'un limoneux à la base ; Pulvérulent à faciès gréseux. L'autre de type bréchiolite englobant une forte proportion de galets et de calcaires et recouvert d'une croûte zonale, son épaisseur varie de 0.5 à 1.5 m.

Les terrasses à poudings sont fortement consolidées, deux sont visibles le long de l'Oued Djelfa-Mellah et de ces affluents principaux (O.Msekka et O.Ben –Naam)

L'épaisseur de ces terrasses est en moyenne de 2 à 3m.

- Le Quaternaire Récent :

Il apparaît en amas ou taches irrégulières de grise ou gris clair et il est discordant, Présent dans toute la carte. Il donne l'aspect de veines, car il suit l'allure des oueds ou des dépressions et discordant (CORNET, 1952)

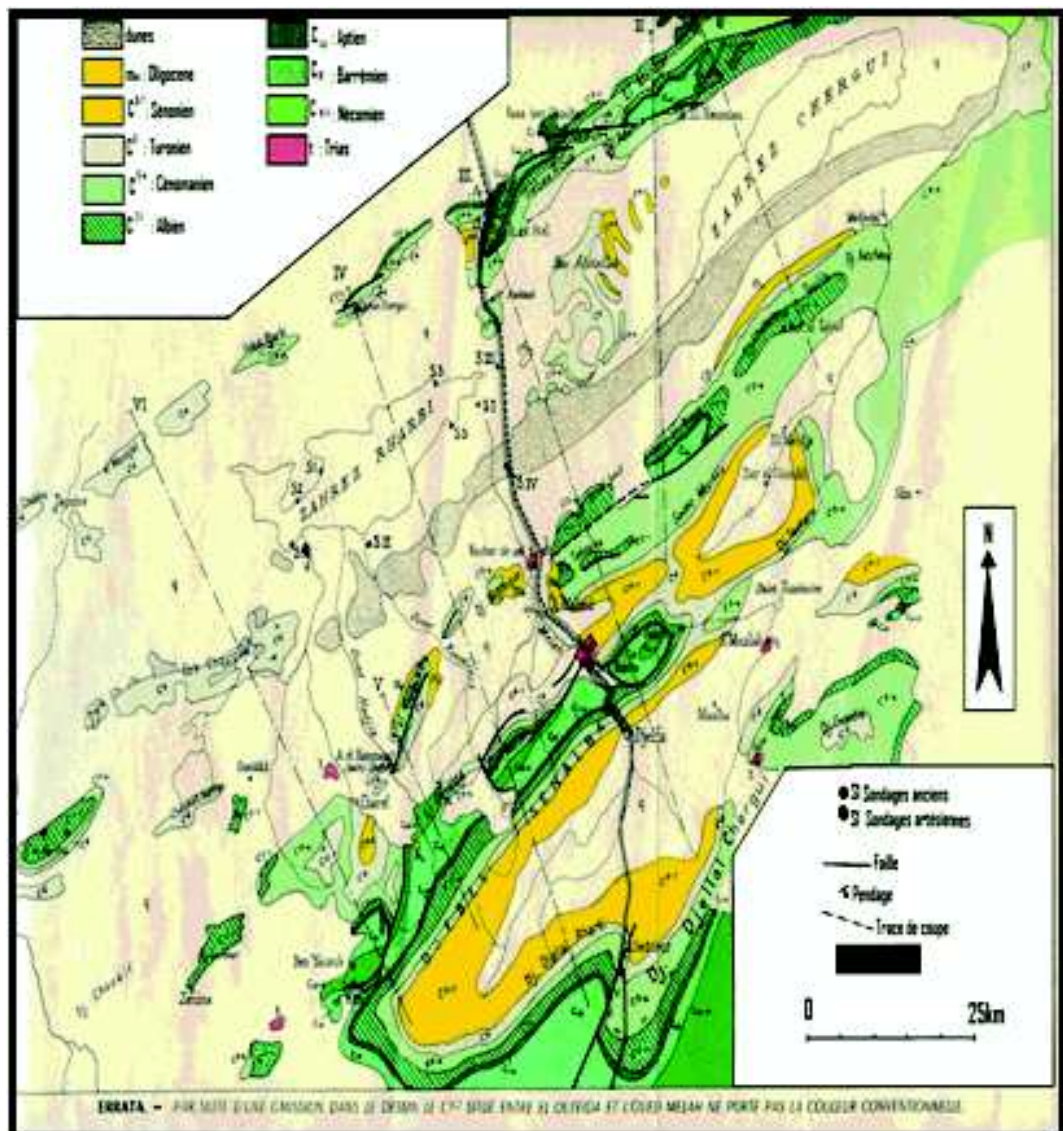


Figure n° 13 : Carte géologique de la région de Djelfa

(D'après CORNET, 1952)

Cadre Géomorphologique

Les principaux cycles climatiques du Quaternaire ont donné à la région une physionomie caractéristique en relation avec la nature des matériaux et la tectonique d'ensemble (POUGET, 1980).

8.1- Formes et formations structurales

Notre région d'étude présente une variété de formes morpho structurales, allant de la zone montagneuse, (versant Nord des monts des Ouled Nail jusqu'au chott du Zahrez).

Cette diversité de formes structurales est due à la structure sédimentaire où alternent des roches plus au moins vulnérables à l'érosion.

8.1.1- Dominance de roches dures

Les points hauts du relief (Djebels), toujours modelés dans les roches dures, calcaires plus au moins dolomitiques et grès, se présentent sous différentes formes :

- **Les crêtes étroites dissymétriques:** Formant une corniche très rectiligne sur toute leur longueur, ils sont localisés dans notre région d'étude aux sommets de Djebel Ouachba.
- **Les ensembles massifs :** A structure complexe, apparaissent généralement plus au moins allongés et étirés suivant l'axe général des plissements (SO-NE), ils constituent les alignements des Djebels traversant les hautes plaines en bordant l'atlas saharien au Nord, le long de la dépression des Zahrez ; pour notre région il s'agit de Djebel Oukat Chergui.



Figure n° 14 : Affleurement de couche dure

- **Dominance de roches tendres :** Ils sont des formations du Miopliocène, l'érosion différentielle dégage les bancs les plus durs et creuse les plus tendres.

8.1.3- Formes et formations des versants

- **Glacis polygénique du Quaternaire ancien et moyen :** apparaît le long piémont nord de l'Atlas Saharien, juste aux débouchés des oueds ;
- **Glacis encroûté du Quaternaire ancien :** Il est en contact direct au Djebel Degdegue, situé à une altitude moyenne comprise entre 1040m et 1080m, et recouvert d'une croûte calcaire très dure et très épaisse.
- **Glacis encroûtés du quaternaire Moyen :** On trouve ce type de glacis le long du piémont des djebels (Degdegue, Dreheima, Brad el Aïch, Ouachba), se situe en bordure des reliefs au débouché des oueds importants, par exemple l'oued Mellah et l'oued Kourireche (cônes de d'éjection).
- **Glacis d'accumulation (glacis d'érosion couvert de matériaux alluviaux) :** Caractérise assez bien le piémont nord de la chaîne Atlasique. Dans sa partie amont,

il se rattache aux Djebels: Ouachba à l'Ouest et Degdegue au centre, vers la plaine, il se termine en pente très douce; son profil en long présente une assez grande monotonie avec une pente inférieure à 3%.

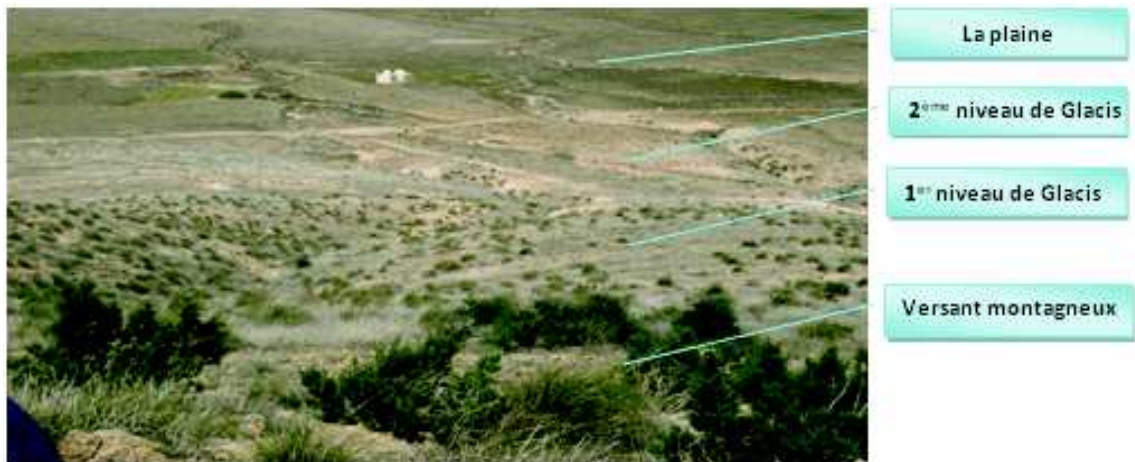


Figure n° 15 : Niveau des glaciés

8.1.3- Formes et formations fluviales

· Les zones d'épandages :

L'étalement des eaux de crue à l'occasion des averses brutales et sporadiques permet le dépôt d'un matériau alluvial, de plus en plus fin vers l'aval, dans les zones d'épandage, Elles se localisent le long du piémont nord de l'atlas saharien, traversant même le cordon dunaire pour rejoindre le Zahrez.

Dans notre d'étude, les plus importants oueds qui jouent ce rôle sont : Oued Melah, oued kourireche et oued el Hadjia

· Les dépressions :

Selon POUGET (1980) ; «après leur concentration sur les versants et interfluves, les eaux de ruissellement empruntent les chenaux d'oueds alluvionnés, les lits caillouteux et encaissés, s'étalent parfois dans les zones d'épandages et finalement se rassemblent et s'accumulent dans les dépressions endoréiques.

Dans notre région d'étude nous distinguons deux formes de dépressions :

· Les dayas :

Ce sont des dépressions entièrement fermées, de l'ordre hectométrique à kilométrique, où s'accumulent des eaux de ruissellement non salées chargées de débits solides (sable, argiles, limons).

Dans notre région, les dayas présentent des avantages socio-économiques intéressants.

En hiver; elles sont inondées et procurent suffisamment d'eau pour abreuver le cheptel de la région, alors qu'au printemps elles servent comme support aux cultures épisodiques.

· Les chotts et les Sebka :

Dépression salée des zones arides et semi-arides, de grande dimension dont les termes vernaculaires sont représentés par chott et sebkha.

La différence entre ces deux noms réside dans le mode d'alimentation.

Les sebkhas sont sous la dépendance d'apport des eaux de crues et les chotts sont alimentés respectivement par les apports de ruissellement et aussi par les nappes artésiennes profondes arrivant jusqu'en surface par des sources et/ou des suintements (POUGET, 1971).

Les chotts seraient d'après COQUE (1962) de véritables « machines évaporatoires » ; en période pluvieuse normale ; hiver, printemps, une couche d'eau de quelques centimètres, saturés en sel (300-400 g/l), recouvre la surface laissant après évaporation des dépôts de chlorure de sodium, parfois exploitables.

Après de fortes pluies, les sebkhas peuvent constituer de véritables lacs de plusieurs mètres de profondeur, quelques mois après, l'évaporation très forte assèche complètement la surface, le vent balayant cette surface desséchée et dénudée, entraînant des particules argileuses et des cristaux de sel (Na Cl), qui s'accumulent en bordure de la dépression.

8.1.4- Formes et formations éoliennes

- Les dunes anciennes à matériaux non gypseux :

Ces placages encroûtés de sable piégés contre les reliefs sont constamment remaniés par les vents et les ruissellements à cause de leur faible résistance (sable frais), de leur moindre adhésion aux reliefs et à l'insuffisance d'une couverture végétale, désormais ces placages redeviennent des sources de départ et d'alimentation du sable.

- **Les dunes anciennes à matériaux gypseux :**

Ce sont plus importantes que la première, à cause de sa grande extension dans le bassin des Zahrez. Ces formes sont de véritables champs de microdunes de quelques mètres de hauteur. Ces dunes anciennes sont faiblement érodées à cause d'un encroûtement gypseux formé à sa surface

- **Le cordon dunaire :**

Il est situé dans la frange méridionale des hautes plaines steppiques, à 30 km au nord de la ville de Djelfa, c'est un système d'importance régionale de formes très variées, Cet ensemble dunaire se maintient à 15 km du versant nord de l'Atlas saharien, à l'extrémité des cônes élémentaires de l'oued el Hadjia, de l'oued Kourireche à l'ouest et l'oued Mellah à l'Est.



Figure n°16 : Dunes Vives (Cordon dunaire)

Selon la dynamique éolienne exercée sur ce cordon on peut avoir plusieurs formes :

- Lesvoilessableux :

Ils correspondent à un saupoudrage éolien qui envahi toute la surface aux alentours du cordon dunaire, leur épaisseur diminue autour des daïas, alors que les autres surfaces connaissent un fort recouvrement par les sables.

- Lesnebkhas :

Ce sont des accumulations de sable éolien, arrêté par un obstacle de petite dimension (touffe de végétation, blocs rocheux).

Le sable s'accumule sous le vent formant un monticule en forme de pointe de flèche dont la hauteur-diminue en s'éloignant de l'obstacle.

La taille des nebkhas varie de quelque centimètre à quelque décimètre de haut pour une largeur d'environ 0,50 à 2 m.

- Lesmicro-dunes :

Ce sont des accumulations plus importantes que les nebkhas et sont plus au moins fixées par de la végétation telle que *Aristida penguns*.

- Lesbarkhanes :

Se sont des dépôts de sable fin très importants formant le cordon dunaire, leurs dimensions peuvent atteindre les 10 m de hauteur et 30 à 50 m de diamètres.

Cadre pédologique

Notre zone a fait l'objet de nombreuses études pédologiques ponctuelles, notamment celles de (POUGET, 1971 ; TRAYSSAC, 1980 et HALITIME, 1988).

L'étude agro-pédologique faite par POUGET (1971) montre que l'évolution des sols en milieu aride dépend de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont le climat et la végétation.

Au niveau de notre terrain, les principaux sols rencontrés sont :

9.1- Solsminérauxbrutsd'apportéolien

Cette catégorie n'intéresse que les dunes vives, les micro-dunes et les voiles sableux. Dans ces morphologies, la pédogenèse est visiblement ralentie par des apports successifs de sables frais. Ils se distinguent par une granulométrie caractérisée par l'absence de toute fraction fine (argile, limon fin et grossier). La teneur en calcaire reste faible (0 à 3%) et la matière organique est insignifiante (POUGET, 1971).

9.2- Solsminérauxbrutsd'apportalluvial

Il s'agit en effet du lit plus ou moins élargi des principaux oueds (alluvions à texture grossière et caillouteuse).

Dans la plaine du Zahrez, ils couvrent une surface assez importante entre le piedmont et le cordon dunaire, à teneur moyenne en carbonate de calcium et à pH voisin de 8 (DJEBAILI, 1984). Ils se caractérisent par le groupement de *Nérium olenader* (Laurier rose).

9.3- Solspeu évolués d'apport alluvial

Ils se situent presque exclusivement le long du piedmont de l'atlas saharien dans les zones d'épandage des oueds. Notons que ces sols sont assez activement cultivés (céréales) surtout dans les zones d'épandage avec des rendements souvent médiocres.

9.4- Solslithosols

Correspondent généralement aux affleurements des roches dures (calcaires, grès, conglomérats, etc ...) imperméables aux racines ; un exemple particulier est celui du rocher de sel ou l'eau de pluie dissout les chlorures de sodium.

9.5- Solshydromorphes

Ils occupent une superficie très restreinte dans les bas-fonds des dépressions inter-dunaires lorsque la nappe superficielle est proche de la surface du sol. Ces sols sont de texture sableuse à argileuse ; les nappes sont peu salées (0.2 à 3 g/l) (POUGET, 1971). Le couvert végétal est dense avec le groupement à *phragmites communis* (roseau) et *juncus maritima* (Jonc).

9.6- Sols halomorphes

Représentatifs de toute la région du bassin de Zahrez ; ils occupent une superficie étendue.

Ces sols sont généralement profonds à texture variable, et présentent d'un encroustement gypseux à la surface (DJEBAILI, 1984).

Ils sont caractérisés par deux séries de sols ;

- Sols salins à encroustement gypseux, ils forment une frange étroite et continue en bordure du bassin.

- Sols salés alcalins, ils se localisent dans les zones d'épandages des principaux oueds (Melah, Mesrane), sur les alluvions calcaires à texture fine à moyenne au nord du cordon dunaire.

10-Cadre de la végétation

La végétation est un indice important et constitue la résultante des conditions physiques et climatiques. Elle présente des caractéristiques spécifiques dues à son adaptation aux conditions critiques de ces régions.

Trois types de formation végétale recouvrent notre zone d'étude, il s'agit:

10.1- Formation forestière

Elle est localisée dans les zones montagneuses où prédominent des formations essentiellement à base de pin d'Alep qui se présente sous forme de peuplement naturels purs ou en mélange avec d'autres essences secondaires (Chêne vert, Genévrier de Phénicie) et sous forme de groupement résultant de leur dégradation allant du matorral arboré sur les piémonts et passant par la lande romarin et peu à peu au groupement nettement steppique à Alfa, Sparte, Hélianthes (B.N.E.F, 1983).

10.2- Formation steppique

Ce sont des formations basses et très ouvertes à base de graminées (*Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora*, *Lygeum Spartum*, etc.) et/ou de chamaephytes vivaces (*Artemisia herba-alba*, *Artemisia campestris*, *Helianthemum virgatum*)

10.3- Jachère et culture

Les périmètres irrigués et les cultures arbustives occupant une superficie négligeable, il s'agit évidemment des cultures annuelles (céréales) qui se pratiquent au détriment des parcours steppiques illicitement labourés.

Chapitre III : Approche méthodologique

Introduction

Notre travail consiste à étudier l'évolution spatio-temporelle de l'occupation de l'espace au niveau du sous bassin d'Oued El Hadjia-Djelfa par l'utilisation de la télédétection.

Le suivi des changements de l'occupation des sols est indispensable pour comprendre les influences respectives du changement climatique et de la pression anthropique sur ce milieu particulièrement fragile. Pour un suivi à une échelle régionale, il faut faire appel à la télédétection.

L'analyse bi-temporelle d'occupation du sol permet de saisir la dynamique de l'espace étudié, et cela dans la perspective d'aménagement pour un développement durable.

Dans cette analyse diachronique, en comparant deux images satellitaires qui va servir par la suite à la production des supports cartographiques utiles à l'étude de la dynamique des changements d'occupation du sol aux fins d'une planification adéquate dans la gestion des ressources naturelles et d'en évaluer leurs causes.

Dans ce chapitre, on va décrire toute la procédure utilisée permettant élaboration de notre étude.

1- Logiciels et matériels utilisés:

1.1- Logiciels utilisés

1.1.1- 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.

« ENVI est le logiciel qui propose une grande gamme d'outils d'analyse d'image multi et hyper spectrales qui forme la source des données la plus fiable dans l'utilisation des terres et plus particulières à la foresterie. Il comprend également des outils nécessaires au traitement des photographies aériennes et des images radar particulièrement utiles en présence de nuage »

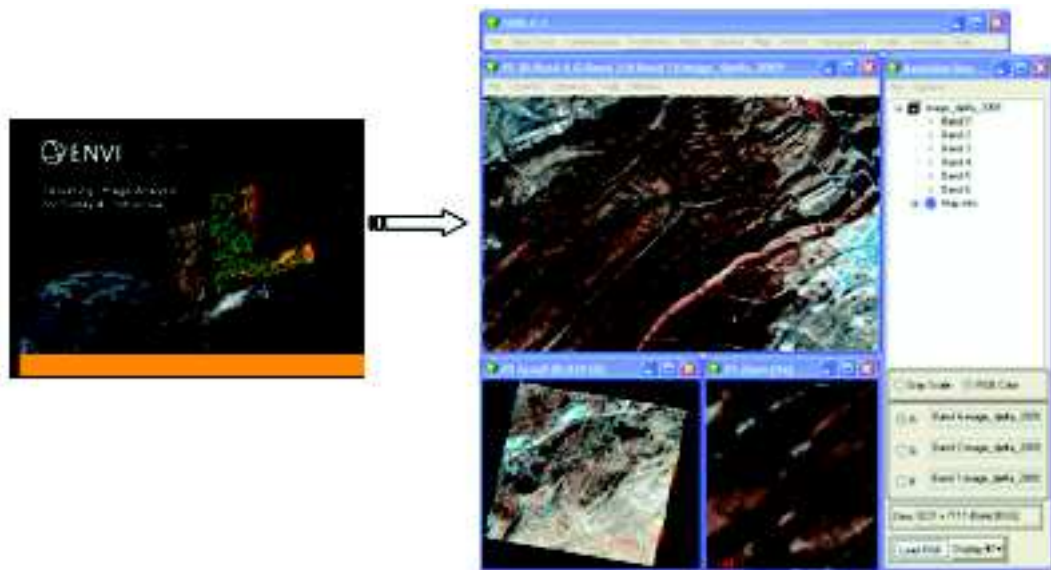


Figure n° 17 : Logiciel ENVI 4.7

Selon BOUSSOUAR (2004) on peut résumer les avantages de ce logiciel dans les points suivants□

- L'ouverture de différents types d'images□ satellites, radar ou photographie arienne, cartestopographiques. Soit une large gamme de formats d'images□ SPOT, IKONOS, LANDSAT, TERRA (ASTER, AIRSAR, MODIS), ERS, SEAWIFS, ENVISAT, SPOT végétation, HDF-EOS, RADARSAT, topsar, Airsar, E-SAR, GEOTIFF, AVRIS, CASI;
- L'ouverture des formats vecteurs standards□ ArcView, Shape File, MapInfo, Micro station DGN, AutoCad;
- Prétraitement□ Géo-référencement, ortho rectification, mosaïque;
- Traitement des images□ analyse en composantes principales, transformation, filtre, classification supervisée et non supervisées ... etc.;
- Analyse statistique multi spectrale et hyper spectrale, post-classification;
- Outils vecteurs□ création ou édition de couche vecteurs, interrogation des attributs;
- Grace au langage I .D.L « 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 spectrale permet d'utiliser des réponses pixel à différentes longueurs d'onde pour obtenir des informations sur les matériaux au sein de chaque pixel. ENVI est la plus avancée et facile à utiliser des outils d'analyse spectrale qui vous donnent accès à des établis, des méthodes scientifiques pour les analyses de l'imagerie.

1.1.2- PCI Geomatica V.9.1

PCI GEOMATICA est un logiciel de télédétection de traitement images et de photo aérienne. Il a été réalisé par le centre canadien de télédétection dans les années 1980, permet aux utilisateurs de travailler sur des multiples types d'images satellitaires ainsi que sur des données géospaciales qui sont stockées sur différents formats.

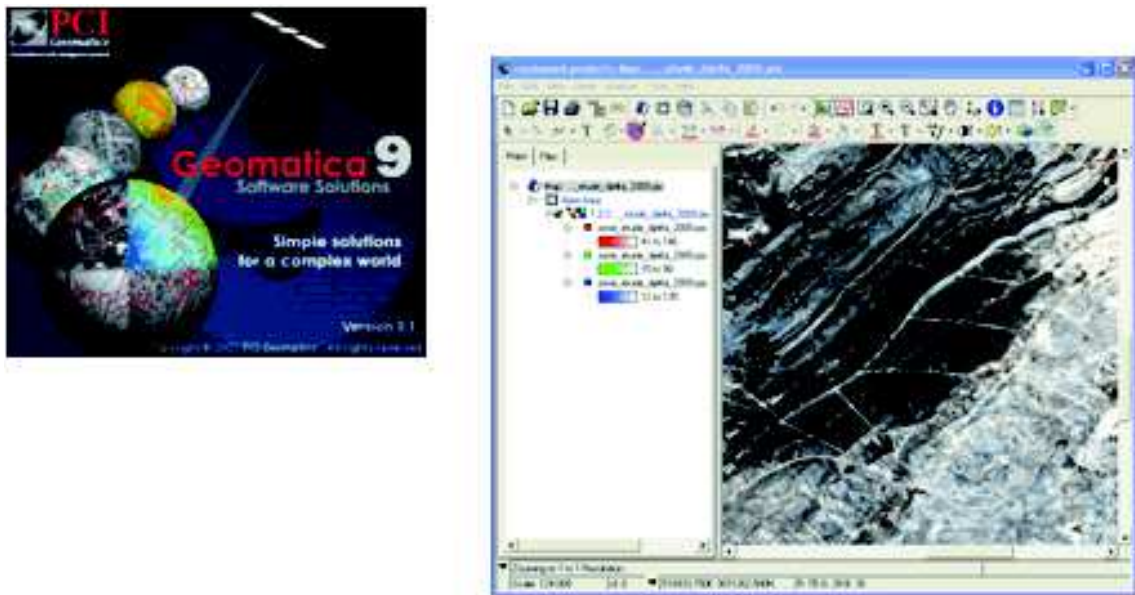


Figure n°18 □ Logiciel PCI Géomatica V.9.1

Depuis plus de 25 ans, PCI se spécialise dans les domaines suivants ; télédétection, photogrammétrie numérique, analyse spatiale, production cartographie, systèmes de production automatisées, gestion des images et solutions de cartographie sur une demande. Les technologies de PCI Geomatics transforment les images en informations (A.Q.T. 2008)

Le logiciel offre a ses utilisateurs les outils nécessaires pour aborder une grande diversité d'applications dans différentes secteurs d'activités, dont la foresterie, l'agriculture durable, les terres humides, la gestion du carbone, la sécurité publique, la gestion des catastrophes

1.2- G.P.S (Global Positioning System)

Le Système de Positionnement Global (GPS), largement utilisé en navigation et en positionnement dans le monde entier. Cette technique serait d'une grande utilité lors de validation de réalité de terrain et localiser l'apparition de changements.

Le GPS un système de radionavigation américain basé sur une constellation de satellites élaborés en 1970 et contrôlés par le département de la défense des Etats-Unis. Utilisable librement par toute personne munie d'un récepteur GPS, il informe sur la position, le temps et la vitesse sur une large étendue mondiale quelques soient les conditions météorologiques ou le moment de la journée (jour et nuit). Le GPS est ainsi composé de trois parties : les satellites en orbite autour de la Terre, des stations de contrôle et de suivi sur la Terre et l'appareil de réception d'un nombre illimité d'utilisateurs (MANIERE, 1987).

Le récepteur de chaque utilisateur capte les signaux diffusés par les satellites et produit ainsi une localisation selon trois dimensions (latitude, longitude, altitude). Il calcule sa position par triangulation, en mesurant la distance entre lui même et au minimum trois satellites. La composante spatiale du système est basée sur une constellation de 24 satellites placés en orbite quasi-polaire à 200 km d'altitude. Le GPS fournit une précision de l'ordre de 5 à 15 mètres (WU, 2003).

Pour effectuer nos validations sur le terrain des zones échantillonnées, nous avons utilisé Un récepteur GPS (Global Positioning System) de Marque Garmin 12 XL. Il s'agit

d'un système de navigation par satellite qui utilise les signaux d'un 12 de satellites pour déterminer une position à la surface du globe. Les relevés de points au GPS ont permis de localiser sur l'image, les entités d'occupation de terrain.



Figure n° 19: Récepteur GPS (Garmin 12 XL)

Le GPS est réglé sur le système géodésique UTM/WGS84 qu'est le même système de l'imagerie Landsat utilisée dans notre travail.

2- Méthodologie pour la détection des changements

Selon ROGAN et CHEN 2004, Le processus de la détection des changements est réalisé avec une démarche comprenant six étapes □

1. Acquisition et prétraitement des données
2. Correction géométriques et radiométriques
3. Normalisation des données
4. Détection des changements
5. Evaluation de l'exactitude des résultats
6. Génération du produit finale

2.1- Acquisition des données

2.1.1- Choix des images satellitaires

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ainsi que dans la planification et la gestion des ressources ; elles sont descriptives et apportent une information spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (POUCHIN, 2001) et spectrale qui permet la caractérisation des objets dans une large bande spectrale. Le processus d'interprétation, qu'il soit visuel ou automatique, transforme les données contenues dans l'image en éléments d'informations attachés à une localisation géographique. Cela permet d'utiliser ces données de télédétection dans un processus de gestion des ressources en les combinant avec des données pluri-thématiques et multi-sources. C'est dans cette intégration des données que le potentiel de développement des applications de télédétection est le plus important.

Selon BARDINET (1994), le choix d'un système de télédétection dans l'étude de l'occupation du sol est crucial, il dépend de la résolution au sol du pixel, du nombre et de l'intervalle des bandes spectrales, du cycle d'enregistrement de données disponibles et de la superficie couverte par une seule image.

Le choix de type des images satellitaires dépend de plusieurs critères et plus particulièrement de la dimension spatiale de la zone d'étude et le nombre des scènes réduites (BENSAID, 2003)

Chaque objet naturel est identifié par sa signature spectrale. Il ne réagit pas de la même façon le long du spectre électromagnétique. L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation du sol est une étape importante pour le choix des canaux TM des scènes Landsat.

L'approche temporelle de suivi des changements de la région de Djelfa que nous envisageons nous conduit à privilégier deux scènes de Landsat 1987 et celle 2009.

Les Deux (02) images Landsat qui ont été utilisée couvrir une période de 22 ans, soit l'image Landsat TM du **20 octobre 1987** et l'image Landsat TM du **01 novembre 2009**, celles-ci ont été choisies puisque leur date d'acquisition est assez proche dans l'année (même saison) pour que les conditions biophysique du terrain soient similaires, et afin d'éviter toute sorte de confusion qui peut provoquer la végétation pérenne (culture céréalière au détriment de la végétation spontanée steppique)

Ces images ont été sélectionnée encore en raison de :

- Son excellente qualité □ un examen de vérification a été faite sur l'absence totale de des voiles nuageux, ou d'ombre
- Couvrent la totalité de la zone d'étude en une seule scène (TM 195/36).

En plus de ces critères de choix des images, notre choix d'utiliser des images provenant du satellite Landsat est basé sur leurs disponibilités gratuites sur une série temporelle, fournie par le site Web libre (Free Data) de Landsat (LANDSAT, 2011).

3- 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, car malgré le géoréférencement de ces images prises de différentes dates, elles présentent toujours des déformations et des distorsions dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de reliefs, technologie du capteur), qui ce traduit par un décalage. Des prétraitements de correction géométrique par l'utilisation de la méthode polynomiale de deuxième degré sont recommandés.

Les lois de déformations sont calculées de point particulier, appelés points amers ou points pseudo-variant, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (MAUREL, 2002).

Un point d'amer est un point pouvant se déterminer le plus précisément possible géographiquement à la fois dans l'image à rectifier et dans l'image de référence. Les points doivent être choisis pour pouvoir être localisés dans les deux images sans ambiguïté et le plus précisément possible : intersection de routes par exemple

4- Normalisation radiométrique

L'étude des images multi-date pour la détection des changements exige que les images obtenues par des différents capteurs et moments soit comparables en termes de caractéristiques radiométriques. Mais à causes de différents facteurs d'acquisition de l'image tels que ; les conditions d'illumination solaire, diffusion et absorption, atmosphérique, les images produites présentent des différences qu'elles doivent être ajustés pour compenser la divergence radiométriques.

La normalisation radiométrique consiste d'utiliser une image comme référence sur laquelle on ajuste les propriétés radiométriques de l'image à corriger pour que les effets indésirables de différentes conditions d'acquisition de prise de vue puissent être minimisées ou éliminées. Cette procédure reste une étape primordiale et essentielle pour toutes études de détection des changements (HALL, 1991 in JENSEN, 2005).

L'avantage de cette procédure c'est de conserver l'état d'origine radiométrique de l'image de référence, ce qui traduit par la réduction les différences numériques entre les deux images qui ont été induites par les disparités dans les conditions d'acquisitions.

Les images ayant été prises à des dates et à des heures différentes, les conditions atmosphériques et d'éclairement étaient différents lors de l'acquisition des deux images. L'objectif est de normaliser une image par rapport à l'autre afin d'obtenir pour l'image à corriger, des teintes semblables à l'image de référence. La normalisation se fera à partir **des pixels de la zone de recouvrement** des deux images. La première image sera l'image de référence tandis que la deuxième sera l'image à corriger.

Le processus est basé sur le calcul de régressions linéaires qui relient les bandes spectrales des images dans la série à celles d'une image de référence. Trois étapes principales sont identifiées :

- a)- Choix de l'image de référence;
- b)- Sélection des cibles invariantes;
- c)- Calcul et inversion des régressions linéaires.

4.1- Choix de l'image de référence

Selon GIRARD et GIRARD (1999), Une image de référence c'est sur laquelle qu'on doit se référer d'appliquée la normalisation, elle doit répondre aux critères suivants :

- Une couverture nuageuse minimale ;
- Un faible pourcentage de pixels saturés ;
- Une large dynamique de radiométrie ;
- Une date d'acquisition proche du milieu de la série.

Ces critères permettent de maximiser le nombre et la diversité de cibles invariantes détectables. L'image de référence que nous avons choisie pour normaliser est celle de l'année 2009 puisqu'elle parait la meilleure qui répondre aux critères cités.

4.2- Création des cibles invariantes

Selon SCHOTT et al., 1988, Les pseudo-invariants sont supposés ne pas avoir de changement significatif entre deux dates d'acquisition. Les différences dans les distributions

des niveaux de gris de ces objets invariants sont supposées être linéaires et sont corrigées statistiquement pour effectuer la normalisation.

La difficulté principale des méthodes de normalisation relative réside dans la détermination des cibles dans la scène dont les réflectances sont presque constantes au cours du temps (Cibles invariantes). Il est efficace de choisir manuellement ces cibles invariantes (SCHOTT et Al., 1988).

La sélection des pseudo-invariants est une technique appliquée avec succès dans de nombreuses études (FURBY et CAMPBELL 2001; YUAN et ELVIDGE 1996). Cette technique implique la collecte de pseudo-invariants cibles qui présentent un minimum de changement spectral à travers le temps pour les images de chaque époque de l'intérêt, et qui sont ensuite utilisées pour calculer une relation de calibrage multi-spatial et/ou multi-temporelles par rapport à une référence image, (FURBY et CAMPBELL 2001; SCHOTT et Al., 1988).

Les objets pseudo-invariants sont spectralement invariants et ont la particularité d'avoir des réflectances stables, sont généralement des cibles artificielles comme le bitume et le béton (BRUCE et HILBERT, 2006)

4.3-Calcul et inversion des régressions linéaires

Les calculs sont réalisés par l'application particulière des transformations des histogrammes des images par la méthode histogramme matching qui consiste à ajuster l'histogramme d'une image à un autre histogramme d'une image de référence. Une table de conversion LUT est créée pour rendre les valeurs des bandes de l'image utilisée à celle de l'image de référence. De cet effet l'image résultante aura une distribution des valeurs semblables à l'image de référence.

5- Détection des changements

Les méthodes et les techniques que nous avons citées dans ce chapitre, permettent de détecter le changement à partir de l'analyse des données multitemporales. Mais il n'existe pas de méthode parfaite, chacune comportant ses avantages et ses inconvénients. Le choix de telle ou telle méthode va dépendre de plusieurs facteurs, en particulier du type d'application envisagé, des caractéristiques des données ; de la nature du changement recherché.... Il arrive souvent, dans les études de détection du changement ; que l'on combine plusieurs méthodes afin de mieux caractériser le changement. Notons qu'il existe d'autres techniques en dehors de celles présentées dans notre travail, mais nous avons préféré d'utiliser la méthode de post-classification qui consiste à la comparaison de deux classifications.

Les bandes spectrales de nos images ont fait l'objet de transformation en néo canaux ACP et NDVI, dont l'avantage est de réduire la redondance des données entre les bandes spectrales et en insistant sur des différentes informations dans les composantes dérivées (LU et al., 2004)

5.1- Indice de végétation de la différence normalisée (*Normalised difference vegetation index, NDVI*)

Le NDVI connaît un taux d'application élevé dans l'étude des couverts végétaux (ROUSE et al., 1974). Il est considéré comme une source importante sur les fonctions végétales, de même que sur l'utilisation du sol (FANG et al., 1998). Cet indice est le plus utilisé. Son emploi est simple et cette transformation est offerte par la plupart des logiciels de traitement d'images.

Le NDVI est lié à l'activité chlorophyllienne. C'est un indicateur de la densité de végétation, il est constitué par une simple combinaison de canaux. Ce traitement abouti à la création d'un néocanal en combinant la réflectance du canal rouge et d'infrarouge selon la formule qui a été proposée par ROUSE et al (1974), et prend la forme exprimée par l'équation suivante :

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

Avec : *PIR* = Canal proche infrarouge Rouge ; *R* = canal rouge

Selon CALOZ et CLAUDE (2001), la création des indices de végétation vise plusieurs objectifs :

- L'estimation de la masse végétale verte recouvrant le sol
- La description de l'état phénologique de la couverture végétale
- L'évolution de la couverture végétale à l'échelle continentale.

Nos deux images de la zone d'étude ont fait l'objet d'une transformation pour la création des indices de végétation. Ces deniers vont être utilisés pour la caractérisation de la couverture végétale et de détecter les changements par l'utilisation de la méthode de post classification.

6- Classification

De nombreuses méthodes ont été développées pour la détection des changements de l'occupation des terres. Les méthodes évoluent rapidement et de nouvelles méthodes sont développées pour répondre au besoin réel des changements rapides et complexes de la surface de la Terre. Plusieurs auteurs ont publié des évaluations des méthodes de détection de changements, par exemple SINGH (1989), LUNETTA et ELVIDGE (1998), MAS (2000), JENSEN (2004) et LU et al., (2004). Dans leur plus récente contribution, LU et al., (2004) divisent les méthodes de détection de changements en six catégories suivantes: (Voir tableau n° 10):

- Méthode algébrique
- Méthode de transformation
- Méthode de classification,
- Méthode avancée,
- Méthode d'approche SIG,
- Méthode d'analyse visuelle

Méthode	Utilisation	Avantage méthode	Inconvénient méthodes	Conditions
Algébrique	algorithme algébrique (soustraction, division ...) et un seuil pour identifier les zones de changements	Simple, réduire les effets atmosphériques et radiométriques	ne donnent aucune information sur la nature des changements, elles exigent un seuillage	exigent l'identification de seuils et le choix de bandes spécifiques pour la détection
Transformation	application des transformations comme l'ACP, Tasseled Cap ou le chi-carré	Plus complexes que les méthodes algébriques elles réduisent les informations redondantes entre les bandes	difficile d'identifier les changements détectés	l'analyste doit posséder une bonne connaissance pour le choix des composantes et des seuils
Classification	comparaison post-classification, l'analyse spectrale et multibandes	réduisent les impacts de l'environnement ; elles fournissent des informations concernant la nature des changements elles produisent une bonne détection ou méthode de détection du maximum de probabilité	exigent beaucoup de temps (sauf la méthode d'analyse spectrale temporelle) ; il est difficile d'identifier les changements.	exigent une réalité de terrain, une grande exactitude de la classification et un nombre et une qualité d'échantillons d'entraînement suffisants.
Avancées	appliquées pour la détection de changement des paramètres biophysiques, en particulier la végétation	fournissent de l'information précise et détaillée sur la nature des changements	sont complexes et non disponibles dans les logiciels ; exigent des mesures in situ	exigent le développement de modèles et d'estimation des paramètres biophysiques - l'identification de composantes spectrales homogènes - seuils adéquats ;
Approche SIG	qui utilisent les données de différentes sources, telles que les cartes topographiques et thématiques :	ces approches permettent d'insérer des données auxiliaires pour l'analyse et l'interprétation des résultats ; elles permettent la mise à jour directe dans un SIG	Potentiellement l'exactitude des résultats finaux de la détection de changements moindre (données différentes sources), l'exactitude globale de la détection des changements diminue ;	elles exigent une bonne précision géométrique des cartes utilisées
Analyse visuelle	d'interprétation visuelle	permettent d'incorporer la connaissance de l'analyste ; elles permettent d'analyser deux ou trois images à la fois ;	ne fournissent pas d'informations détaillées sur les changements ; dépendent du savoir-faire et du savoir de l'analyste ; exigent beaucoup de temps ; mise à jour difficile	exigent un bon savoir-faire de l'analyste et une familiarisation avec la zone d'étude

Tableau n° 10: Les différentes méthodes de la détection des changements (selon LU et al., 2004)

Après avoir exposé les méthodes de détection des changements existantes dans la littérature, nous avons décidé de combiner la méthode de post-classification par l'utilisation des néo-canaux dérivés du traitement d'ACP et de transformation du NDVI, et la méthode d'analyse visuelle.

Ces deux méthodes ont été choisies par leurs simplicités qui permettent l'obtention de l'information sur la nature des changements, ainsi que leurs exigences comme la vérité de terrain et le choix des échantillons d'entraînement pour valider la classification sont possible à réaliser.

7- Application de la méthode de détection des changements choisis

7.1- Méthode d'analyse visuelle

Cette méthode repose sur la comparaison visuelle directe des images prises à plusieurs dates avec la composition colorée RGB, dans l'hypothèse où ces images ont subi le même prétraitement et sont corrigées en particulier des effets atmosphériques. L'analyse visuelle des images satellitaires est une étape d'aide pour l'interprétation, les critères d'interprétation sont définis par le contraste, la teinte, les formes, etc.

L'inconvénient de cette méthode de comparaison visuelle ne donne pas des statistiques sur les zones affectées ou non par le changement, mais l'interprétation visuelle de multi-temporelle des images en couleur composite est précieuse pour l'analyse qualitative de changement d'occupation du sol.

Dans notre étude, nous avons utilisé cette méthode pour consolider la pertinence de la méthode de post classification utilisée.

7.2- Classification supervisée

La classification supervisée nécessite l'intervention de l'expert qui doit définir les thèmes qu'il juge importants et caractéristiques du milieu étudié. Il est indispensable de se rendre sur le terrain pour le choix d'échantillons d'apprentissage et de vérification de l'occupation du sol, ce qui donne lieu, souvent, à plusieurs sorties sur le terrain.

Plusieurs missions de reconnaissance de terrain ont été effectuées afin de définir les grands thèmes constituant notre zone d'étude, nous avons pu sélectionner sept (07) grands thèmes d'occupation du sol sur lesquelles nous avons effectué une analyse thématique du milieu pour visualiser les changements globaux produits.

Selon la thématique de l'étude spatio-temporelle d'occupation du sol et la résolution de la scène TM de Landsat de 30m utilisée, 07 principales typologies d'occupation du sol ont été retenues :

1. Forêt et reboisement
2. Dunes
3. Voiles sableux
4. Bâtis et infrastructures
5. Parcours
6. Sol nus
7. Agriculture

La dite classification s'est déroulée sous le logiciel de traitement d'image ENVI 4.7 en trois (03) phases essentielles, qui sont :

a- La sélection des échantillons de parcelles d'entraînement (*Roi : Region of Interest*)

La définition des échantillons d'entraînement est faite sur la base de la composition colorée selon les thèmes d'occupation du sol. Cette étape a été suivie par une étude statistique (calcul de l'indice de Kappa) pour estimer la qualité de ces zones d'entraînement choisies.

Création des néo-canaux :

Les images enregistrées par Landsat dans les différentes longueurs d'onde possèdent des informations redondantes d'un canal à l'autre (DESJARDINS, 2000), Dans ce contexte et afin d'éliminer cette redondance entre les différentes bandes spectrales, nous avons appliqués une transformation de type linéaire qui associée à l'analyse des composantes principales (ACP).

Les images enregistrées par Landsat dans les différentes longueurs d'onde possèdent des informations redondantes d'un canal à l'autre. L'ACP est une technique qui consiste à extraire des images cette part d'information qu'elles ont en commun. Elle revient en fait à résumer l'information contenue initialement dans les canaux de départ. En règle générale, seuls les deux premiers canaux issus du traitement par ACP sont intéressants et ils résument déjà une part importante de l'information.

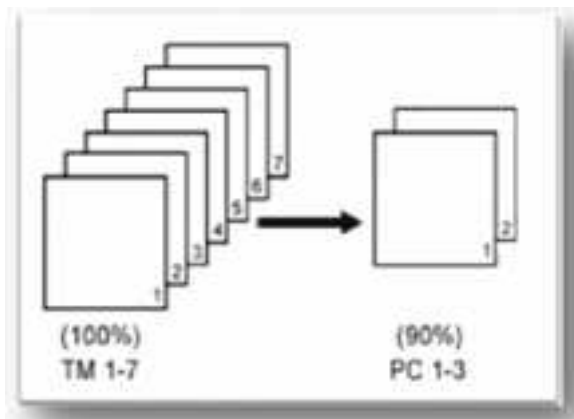


Figure n° 20 : Concentration de l'information dans une ACP

Souvent, la dernière composante de l'ACP ne possède que très peu d'information originale. Elle peut être remplacée par la bande NDVI.

b- Le choix et application de l'algorithme de classification

Une classification supervisée a été effectuée pour les deux images en utilisant l'algorithme du maximum de vraisemblance (Likelihood) puisque c'est l'algorithme le plus utilisé dans les études de classification (GIRARD et GIRARD 1999). Cette méthode est basée sur la probabilité qu'un pixel est semblable à une classe donnée en se basant sur les critères statistiques prédéterminé par la sélection des zones d'entraînements (ROI) fixées par le superviseur.

8- Evaluation de l'exactitude des résultats

Pour évaluer la performance de cette classification, en estimant le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test, une matrice d'erreur a

été calculée pour évaluer de la précision globale des résultats de la classification par classe thématique.

Pour ce faire, des missions du terrain d'échantillonnage de repérage ont été menées sur les différents types d'occupation du sol de notre zone d'étude, environ 40 points par thème ont été récoltés.

Ces missions du terrain s'effectuent pour objectif de :

- La localisation du point de vérification à l'aide d'un GPS qui délivre les coordonnées géographiques (Longitude et Latitude)
- La sélection de la nature de l'occupation du sol.

Le système géodésique WGS 84 est le système natif commun du GPS et à l'imagerie Landsat qui a été utilisé dans notre travail. La date des sorties sur terrain est identique à celle des prises de vue.

9- Génération du produit final

Selon Lu et Al. (2004) Une bonne étude sur la détection des changements devrait fournir les informations suivantes:

1. Superficie et le taux de changement;
2. Distribution Spatiale des changements;
3. Trajectoires de changement de l'occupation du sol ;
4. Evaluation de la précision de la détection des changements.

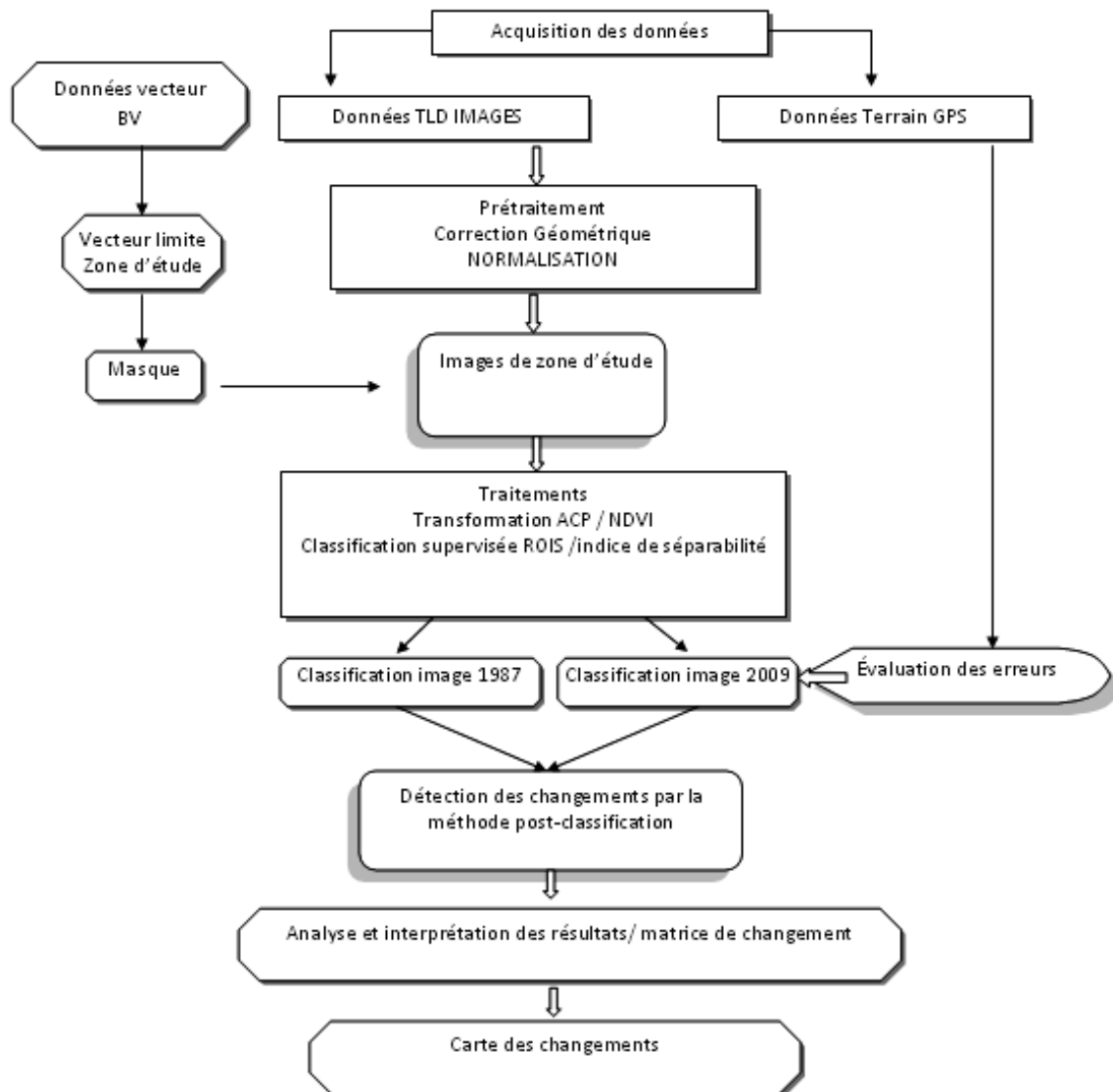


Figure n° 21 : Organigramme méthodologiques de différentes étapes de l'étude

Chapitre IV : Application des résultats

Introduction

Nous avons vu dans le premier et le troisième chapitre les techniques permettant la détection des changements et l'occupation spatio-temporelle à travers les différentes méthodes d'analyses. Grâce à la répétitivité d'acquisition des données de la télédétection spatiale, l'analyse des images multidates offre une dimension supplémentaire aux applications potentielles de la télédétection.

Ce chapitre regroupe les résultats de différentes opérations de prétraitements et de traitements effectués sur les deux images afin d'étudier et d'évaluer l'évolution spatio-temporelle de l'occupation des sols au sein de notre zone d'étude.

1- Prétraitements

1.1- Correction géométrique

Pour ramener les deux images dans un même référentiel spatial, nous avons lancé une correction géométrique à l'aide de la fonction Selection 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 42 points amers sur l'image de l'année 1987 (Voir figure n° 22 et 23 et annexe n° 04).

Ces opérations sont destinées aussi bien à corriger les déformations systématiques dues à la prise de vue, qu'à rendre les images superposables.

Afin d'estimer la précision de la correction géométrique, nous nous sommes appuyés sur l'analyse des erreurs résiduelles entre les valeurs obtenues (image 1987) et les valeurs réelles de l'image de référence (image 2009).

Le paramètre RMS (*Root Mean Square*, erreur moyenne quadratique) indique la précision du géoréférencement et donc sa qualité. Plus cet indicateur est proche de 0 plus le géoréférencement est meilleur. (BOUSSOUAR, 2004).

Une erreur moyenne résiduelle (RMS) est calculée. Pour les zones semi-arides à végétation éparse, elle doit être inférieure à 0.5 pour que la correction géométrique soit acceptable (TOWNSHEND et al. 1992). Nous devons vérifier la précision de cette correction en interprétant l'erreur moyenne résiduelle (RMS) de l'ensemble des points choisis. Elle est de l'ordre de 0.26. Cette erreur est donc inférieure au pixel ce qui nous conforte sur la qualité de la rectification géométrique appliquée. Cette erreur est suffisamment faible pour permettre d'assurer une bonne correction géométrique, les pixels avec les mêmes coordonnées correspondront bien au même site, d'une image à l'autre.

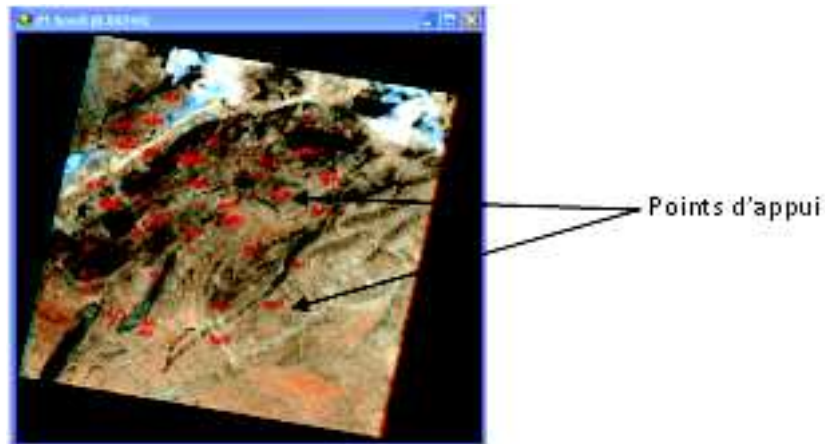


Figure n° 22: Sélection des points d'appui sur la scène 195/36 de l'année 1987



Figure n° 23 : L'erreur quadratique moyenne (RMS) image 1987

1.2- Normalisation Radiométrique

Dans les pays en voie de développement, les méthodes déterministes de correction radiométrique ne sont pas opérationnelles faute de station d'acquisition des propriétés optiques de l'atmosphère (SEGUIS et *al.*, 1997) ; ce qui ne permet pas de disposer des données sur les propriétés atmosphériques (teneur en gaz et en aérosols) au moment de l'acquisition de l'image qui sont nécessaires pour estimer les effets atmosphériques de dispersion et d'absorption, afin d'éviter le besoin à la fois de codes de transfert radiatif et des propriétés optiques de l'atmosphère qui sont difficiles à acquérir en particulier pour des données historiques. Beaucoup d'investigateurs ont eu recours à la normalisation radiométrique relative qui n'exige pas de données atmosphériques et tend à minimiser uniformément les effets de changement des conditions atmosphériques et solaires, par rapport à une image de référence.

1.2.1- Démarche adoptée pour la normalisation

Pour ce faire, nous avons fait appel au logiciel de PCI Géomatica 9V pour effectuer cette étape ; cette manipulation passe par plusieurs étapes ;

1^{ère} Etape ; Importation de deux images

Dans « utility », la fonction « import to PCIDSK » permet d'importer tout type de fichier lisible par PCI, dans le format « .pix » propre au logiciel

2^{ème} Etape ; Création des zones de recouvrement

Dans cette étape, nous avons créé une couche BitMap sur la quelle nous avons sélectionné des polygones représentant les cible pseudo-invariantes

3^{eme} Étape Application d'histogram matching (histogramme d'égalisation)

On a effectué cette étape d'égalisation des histogrammes par la réalisation de l'algorithme « Match » qui se trouve dans « *Algorithme librarian* » de PCI. Le match va nous produire des tables de conversion « *Look Up Table= LUT* » avec lequel il sera possible de rendre les valeurs des bandes de l'image utilisée à celle de l'image référence. Il s'agit ici de rester en valeur de niveau de gris mais d'ajuster les histogrammes des différentes bandes de l'image à corriger (1987) afin qu'elles aient la même radiométrie apparente avec l'image de référence (2009). (Voir figure n° 24 et 25)

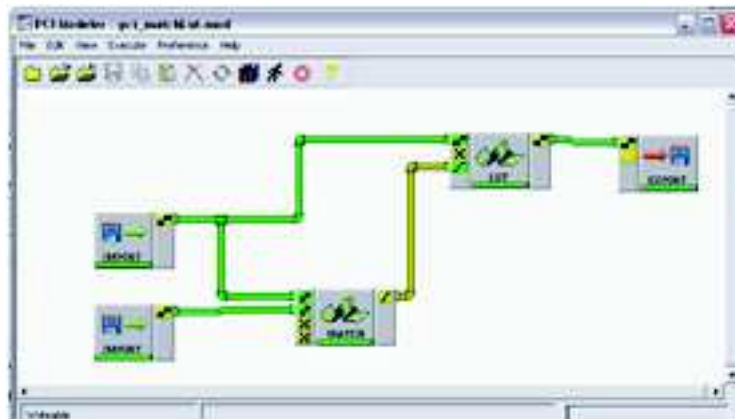


Figure n° 24 □ Différentes étapes de procédure d'histogram matching

Afin de bien observer l'impact sur l'image corrigée, nous avons affiché les résultats obtenus sans aucun rehaussement dans la fenêtre de visualisation de Geomatica PCI. Ensuite, nous avons affiché l'image corrigée avec un rehaussement linéaire dans la fenêtre de visualisation du logiciel. Pour comparer les deux rehaussements de façon efficace, nous avons effectué un rehaussement linéaire à l'image de référence et puis on a sauvegardé la *LUT* de ce rehaussement. Nous allons ensuite l'appliquer aux bandes de l'image corrigée. L'application d'un rehaussement à chaque image non corrigée donne une impression qu'elles sont similaires alors que c'est simplement leur rehaussement relatif qui étend les valeurs originales de niveau de gris sur la dynamique radiométrique disponible de l'écran (c-à-d 8 bits ou 256 niveaux de gris). C'est pourquoi il est essentiel de sauvegarder le rehaussement original.

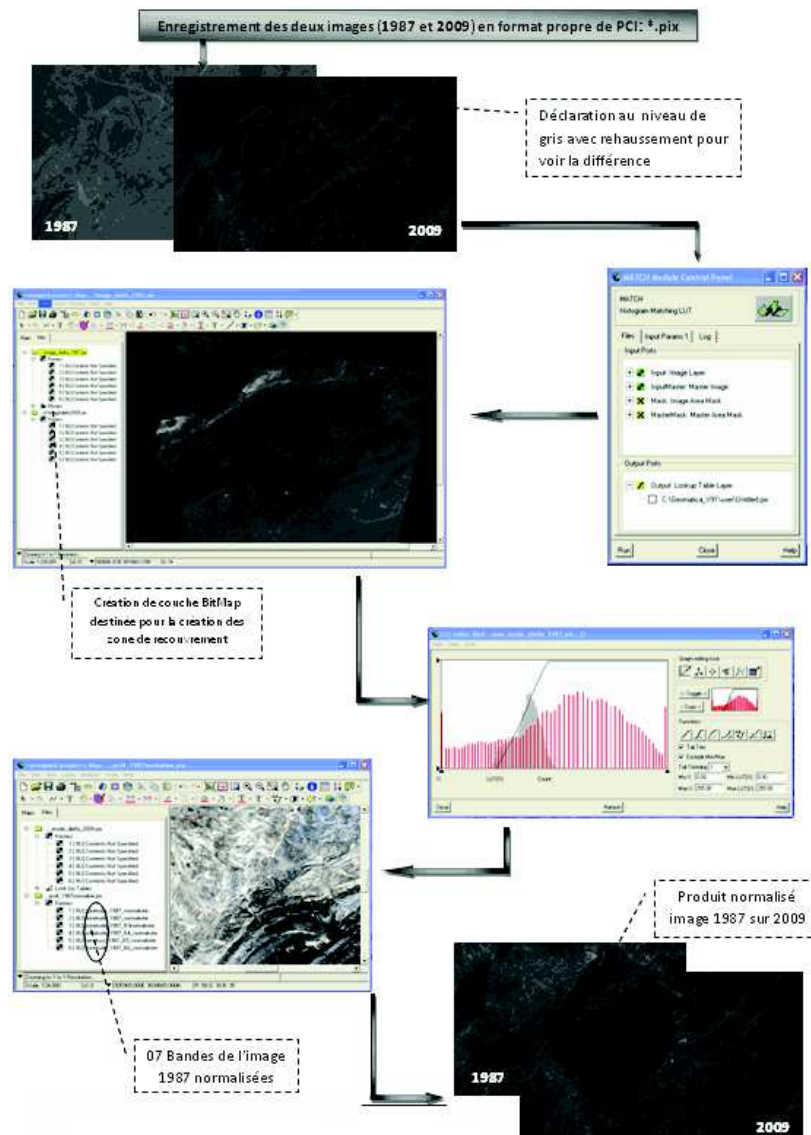


Figure n°25 □ Schéma général de la normalisation de l'image 1987

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) et (DUMOUCHEL, 2003). Nos deux images vont subir un masque géométrique pour limiter la zone d'étude. L'utilité de l'application du masque sur les images réduit le temps du traitement des données (Voir figure N° 26).

Notre masque a été appliqué sur les deux images (1987 et 2009) grâce à un fichier vectoriel sous format *.evf qui correspond à la délimitation de la zone d'étude de sous bassin versant de oued EL Hadjia-Djelfa. 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 de « 1 » aux pixels situés à l'intérieur des limites incluses. 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 ce qui réduit le temps dans le traitement des données.

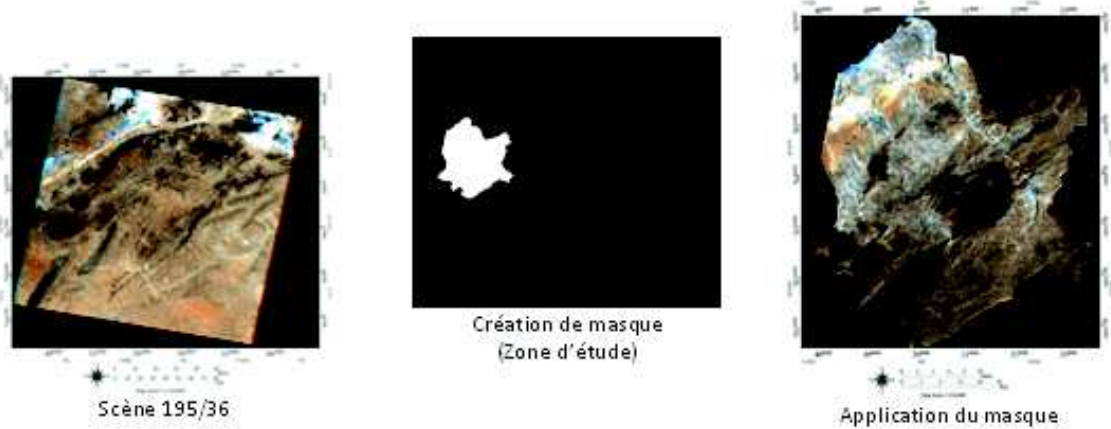


Figure n° 26 : Création/application du masque de la zone d'étude

2- Les traitements

2.1- Analyse statistique des histogrammes des images

L'historgramme des canaux permet d'avoir une idée sur la réflectance. Le logiciel ENVI permet d'obtenir l'historgramme des canaux et les valeurs minimales, maximales et moyennes de chaque canal. (Voir figure n° 27 et 28)

2.1.1- Analyse de l'historgramme de l'image 2009

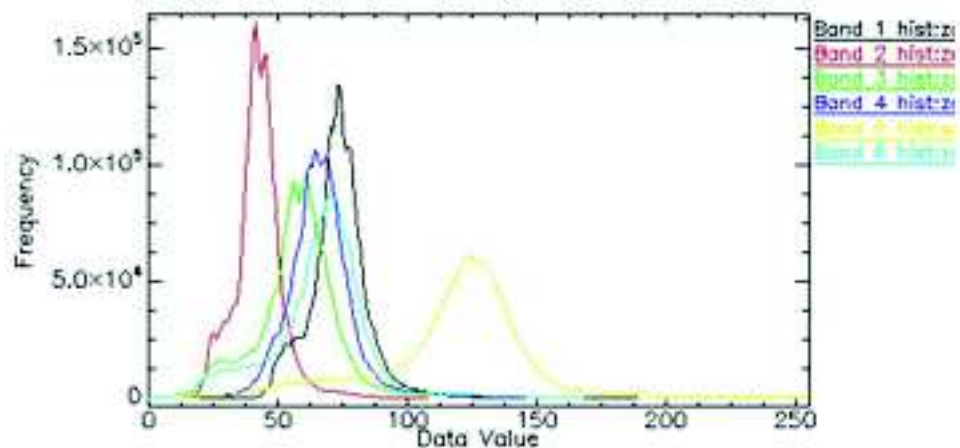


Figure n°27 : Historgramme de l'image de la zone d'étude année 2009

Tableau n°11 : Résultats statistiques obtenus par l'historgramme des canaux de l'image 2009.

Bandes	Min	Max	Moyenne
Band 1	0	189	72,98
Band 2	0	108	42,23
Band 3	0	156	57,50
Band 4	0	152	66,11
Band 5	0	255	117,89
Band 6	0	168	65,59

L'analyse de l'histogramme des canaux de l'image 2009 révèle les valeurs (Min, Max, Moy). Les valeurs maximales de la réflectance varient dans une fourchette de 108 à 255 et les moyennes de 42.23 à 117.59.

2.1.2- Analyse de l'histogramme de l'image 1987

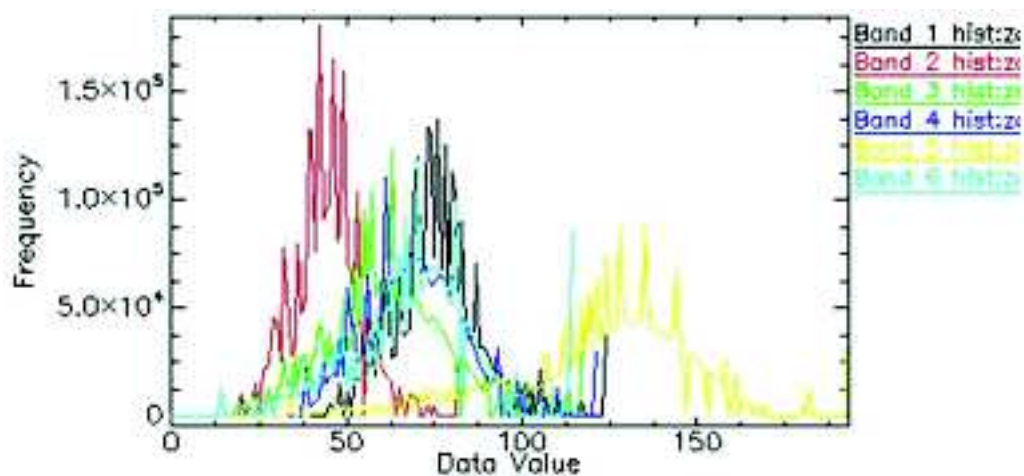


Figure n°28 : Histogramme de l'image normalisée de la zone d'étude année 1987

Tableau n°12 : Résultats statistiques obtenus par l'histogramme des canaux de l'image 1987.

Bandes	Min	Max	Moyenne
Band 1	0	124	75,69
Band 2	0	82	44,55
Band 3	0	117	61,41
Band 4	0	121	69,43
Band 5	0	193	123,27
Band 6	0	114	68,73

D'après les résultats statistiques obtenus par l'histogramme des canaux de l'image 1987 de la zone d'étude, nous avons constaté que les valeurs maximales de la réflectance varient dans une fourchette de 82 à 193, tandis que les moyennes de 44.55 à 123.27

2.2- Calcul d'Indice de végétation de la différence normalisée (Normalised difference vegetation index, NDVI)

Cet indice est le plus utilisé, son emploi est simple et cette transformation est offerte par la plupart des logiciels de traitements d'images. Numériquement, le NDVI prend des valeurs comprises entre -1 et +1 (CALOZ et COLLET, 2001).

Dans un milieu semi aride similaire que le notre, VOLCANI et al. (2005) ont utilisé l'NDVI pour caractériser la végétation. Nous avons calculé L'NDVI des deux images par l'utilisation du transformateur NDVI du logiciel ENVI. Deux images d'NDVI ont été produites pour l'année 1987 et l'année 2009 (Voir figure n°29)

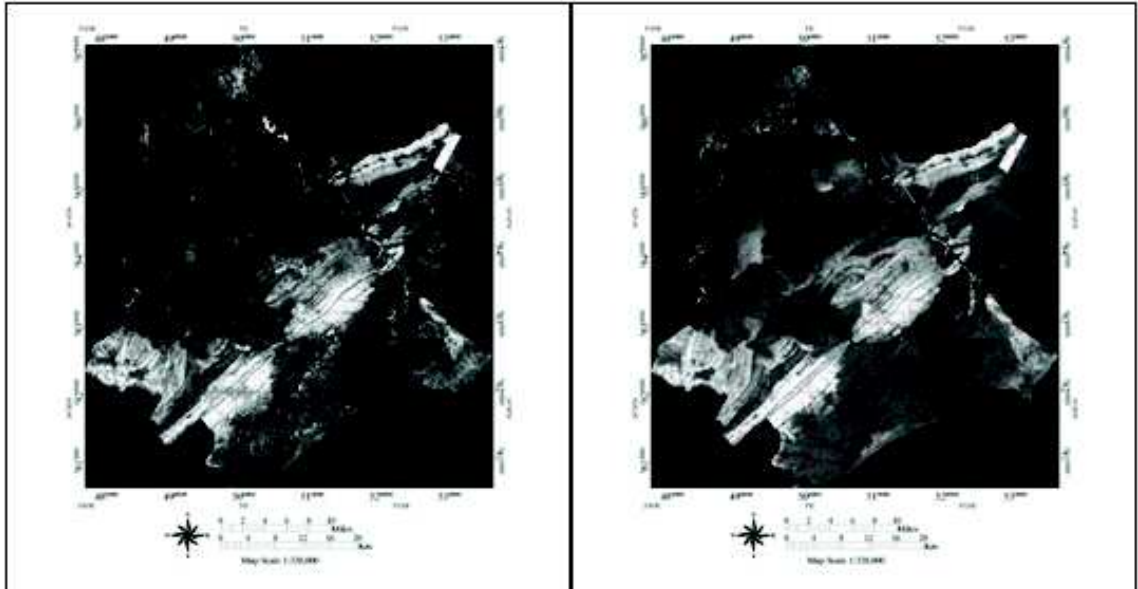


Figure n°29 : NDVI de la zone d'étude 2009 NDVI de la zone étude 1987

Le NDVI rend compte de la densité du couvert végétal de la zone d'étude par des valeurs élevées de l'indice (tons de gris clairs) et, à l'opposé, les parcelles de sol nu par des valeurs quasi nulles (tons noirs).

La première lecture des deux images de NDVI, nous a permet de tirer les remarques suivantes :

- Des fortes valeurs de NDVI pour des sols à recouvrement végétal élevé correspondant aux forêts qui se localisent au centre de notre sous bassin, ce qui correspond aux forêts de Sénalba de Djelfa.
- Des valeurs de NDVI moyennes pour des sols à recouvrement végétal moyen correspondent aux terrains des parcours.
- Des valeurs de NDVI faible pour des zones dénudées à comportement désertique qui se trouvent généralement dégradées au niveau du cordon dunaire.
- Le NDVI de l'année 2009 montre un degré de végétation élevé par rapport à l'image 1987.

Les résultats statistique de l'histogramme de l'indice de végétation de la zone d'étude pour :

L'image 2009

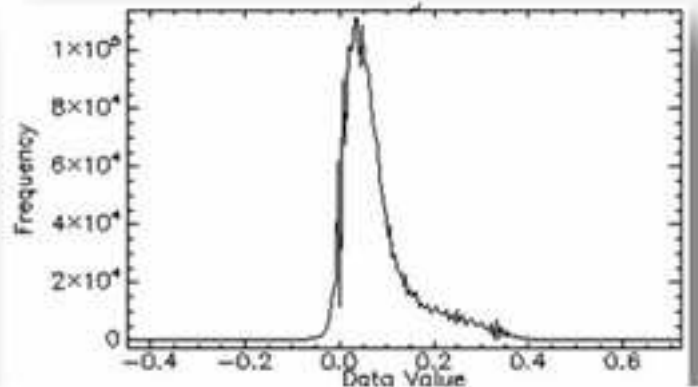


Figure n° 30: Histogramme NDVI 2009

	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Bande 1 NDVI image 2009	-0.448276	0.722222	0.080813	0.076572

Tableau n° 13: Statistique de l'NDVI de l'image 2009

La valeur minimale de NDVI est de -0.448 tandis que la valeur maximale est de 0.722 avec une moyenne des valeurs de 0.080

L'image 1987

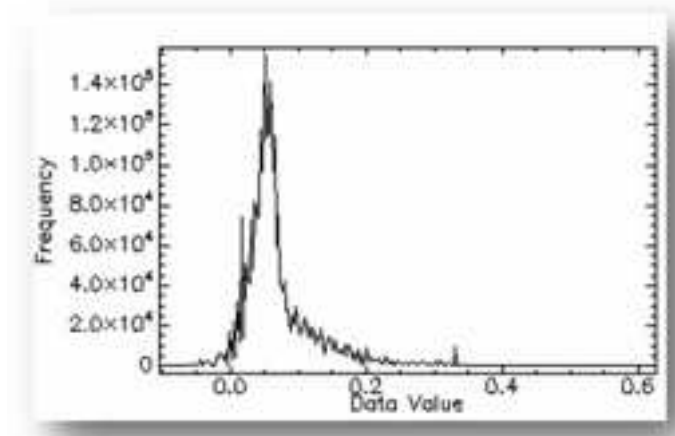


Figure n° 31: Histogramme NDVI 1987

Tableau n° 14: Statistique de l'NDVI de l'image 1987

	Min	Max	moyenne	Ecart type
Band 1 NDVI image 1987	-0.103774	0.626016	0.071220	0.054509

La valeur minimale de NDVI est de -0.103 tandis que sa valeur maximale est de 0.626 avec une moyenne des valeurs de 0.071

Pour une bonne caractérisation et exploitation de l'information spatiale du produit de NDVI par l'utilisation de l'ENVI, nous avons effectué une classification de tranche de densité (*Density Slice*) en se référant au plage de graduant de tranchage de densité des valeurs de l'NDVI décrit par VOLNANI et al. (2005) appliquée en zone semi aride.

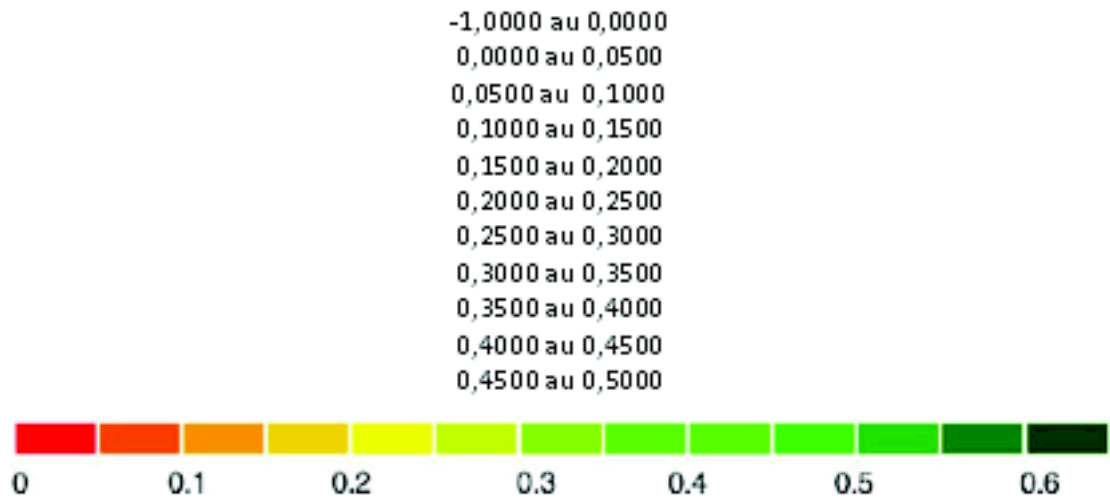


Figure n°32 : Plage graduant de tranche de densité proposée par VOLCANI et al. (2005)

Cette échelle de couleur adaptée pour la visualisation de l'NDVI s'étale du vert sombre jusqu'au rouge vif. La végétation saine et dense occupe les fortes valeurs de l'NDVI et prend la couleur vert sombre. La dégradation de cette dernière jusqu'à son absence se manifeste par une dégradation des nuances de l'NDVI du vert sombre au rouge vif.

L'application de la classification de la tranche de densité sur le produit de l'NDVI, nous a donné le produit suivant (figure n°33 et 34 et Tableau n°15 et 16):

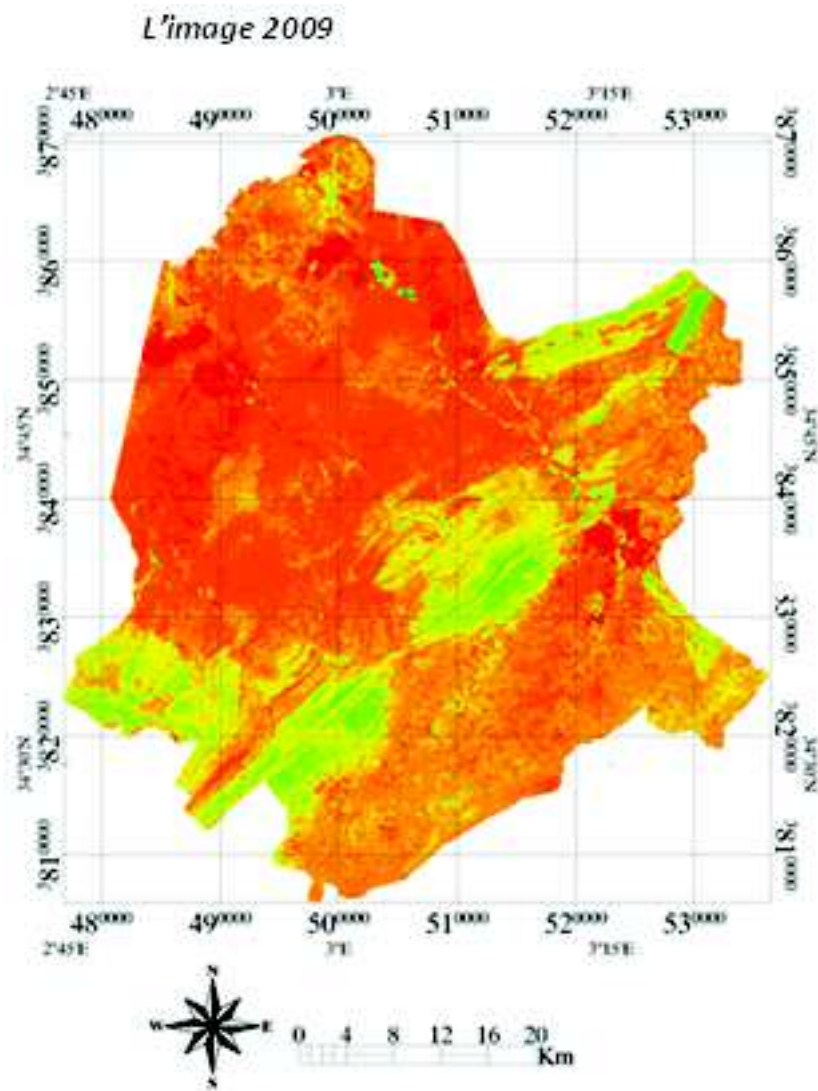


Figure n° 33: image NDVI image 2009

Classe	NDVI	Total pixel	% classe NDVI	Niveau NDVI
1	-1 au 0	80462	3,153%	
2	0,0 au 0,05	994936	38,991%	
3	0,05 au 0,1	805605	31,571%	
4	0,1 au 0,15	294693	11,55%	
5	0,15 au 0,2	139084	5,451%	
6	0,2 au 0,25	99416	3,896%	
7	0,25 au 0,3	74537	2,921%	
8	0,3 au 0,35	42880	1,680%	
9	0,35 au 0,4	15461	0,606%	
10	0,4 au 0,45	3445	0,135%	
11	0,45 au 0,5	552	0,022%	
12	0,5 au 1	634	0,025%	
	Total	2551705		

Tableau n°15 : Résultats de tranche de densité (Density slice) de l'image 2009

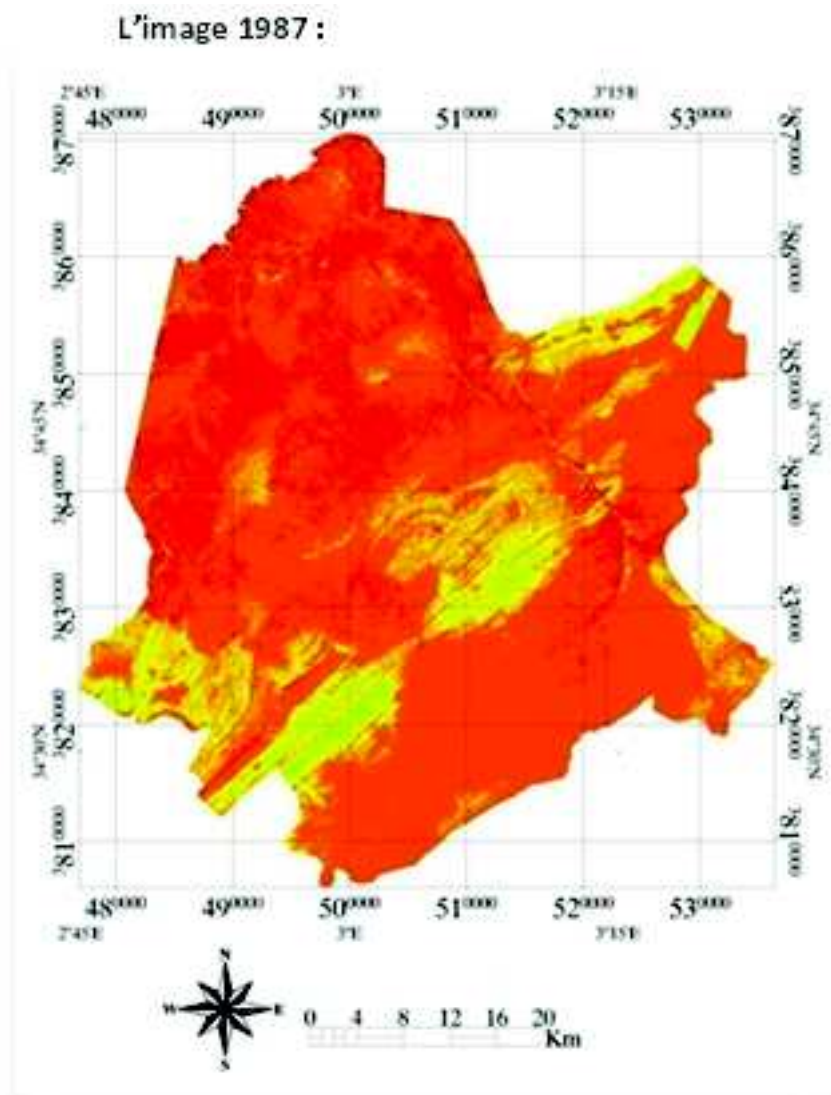


Figure n° 34 : image NDVI image 1987

Classe	NDVI	Total pixel	% classe NDVI	Niveau NDVI
1	-1 au 0	349254	13,687%	
2	0,0 au 0,05	1622405	63,581%	
3	0,05 au 0,1	237101	9,292%	
4	0,1 au 0,15	141749	5,555%	
5	0,15 au 0,2	94501	3,703%	
6	0,2 au 0,25	73466	2,879%	
7	0,25 au 0,3	28068	1,100%	
8	0,3 au 0,35	4320	0,169%	
9	0,35 au 0,4	737	0,029%	
10	0,4 au 0,45	76	0,003%	
11	0,45 au 0,5	20	0,001%	
12	0,5 au 1	8	0,000%	
	Total	2551705	100,000%	

Tableau n° 16 : Résultats de tranche de densité (Density slice) de l'image 1987

Pour mieux interpréter les résultats de la tranche de densité des deux images (1987 et celle de 2009), nous avons préféré de les représenter sous forme du graphe suivant :

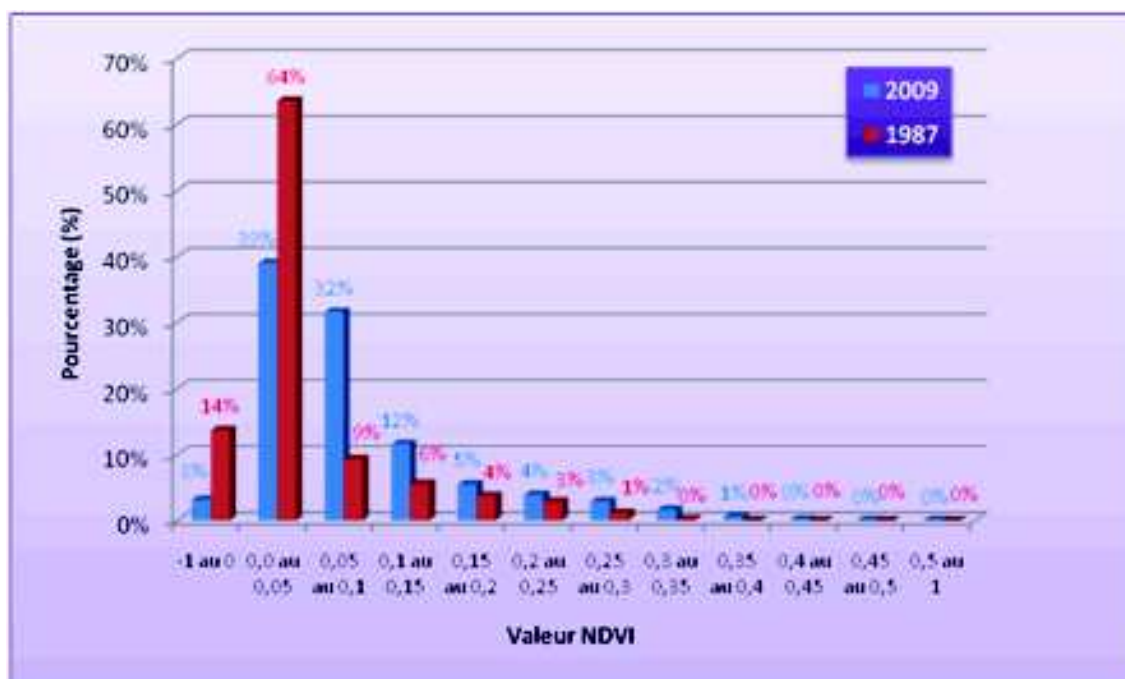


Figure n° 35: Valeur de l'NDVI selon la tranche de densité (image 1987 et 2009)

L'analyse de la tranche de densité de l'NDVI des deux images (1987 et 2009), nous a permis de dégager les remarques suivantes:

Les valeurs de NDVI apparaissent nettement différentes de l'année 2009 par rapport à celle de l'année 1987, 78% des valeurs de NDVI de l'année 1987 sont réparties dans l'intervalle -1 au 0.05, alors que 83% des valeurs de NDVI de l'année 2009 sont réparties

dans l'intervalle 0 à 0.15. Ce qui nous permet de dire que les valeurs de NDVI de l'année 1987 sont plus faibles que celles observées pour l'année 2009,

Selon GIRARD et GIRARD (1999), lorsqu'une surface présente un indice de végétation élevé, cela indique généralement une surface où 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 on peut dire que le couvert végétal de l'année 2009 est plus vigoureux que l'année 1987.

Pour mettre ces résultats de NDVI en valeur, on va essayer de les confrontés avec les données climatiques de précipitations de 12 mois qui précèdent la prise de vue des deux images d'études afin de trouver des éléments de réponse sur dynamique d'évolution spatio-temporelle de la végétation.

Tableau n° 17: Précipitation de 12 mois précédente la prise de vue de l'image 1987 et 2009

MOIS	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sep.	Oct.	Annuelle
P(mm) 1986-1987	46	6.6	58.5	34.4	13.6	22.7	12.4	21.8	41.4	3.1	3.7	8.6	272.80
P(mm) 2008-2009	9.8	24	72.2	44.0	47.6	54.5	12.3	10.7	15.3	0.9	68.7	4.5	364.50

Source : ONM de Djelfa

D'après le tableau des précipitations annuelle des deux années de l'étude, nous remarquons que l'année 2009 est plus pluvieuse avec une précipitation annuelle de 364.50 mm qui est supérieure d'une part, à la précipitation de l'année 1987 de 91.7 mm, et de la moyenne annuelle calculée sur 32 ans (1975-2009) de 322.68 mm/an avec une différence de 65.22 mm, ce qui peut s'expliquer par les valeurs élevées de le NDVI.

La précipitation annuelle ressort comme 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 une aide à la classification d'une image lors du choix de 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.

3- Détection du changement

3.1- Choix des zone d'entraînement : (*ROI : region of interest*)

Les zones d'entraînement appelées aussi zones d'apprentissage (*ROI*) nécessaires pour l'application des méthodes de classification assistée, doivent être choisies de tailles suffisantes (30 pixels au moins, et de préférence plus de 100 (Gérard et Gérard, 1999) pour 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.

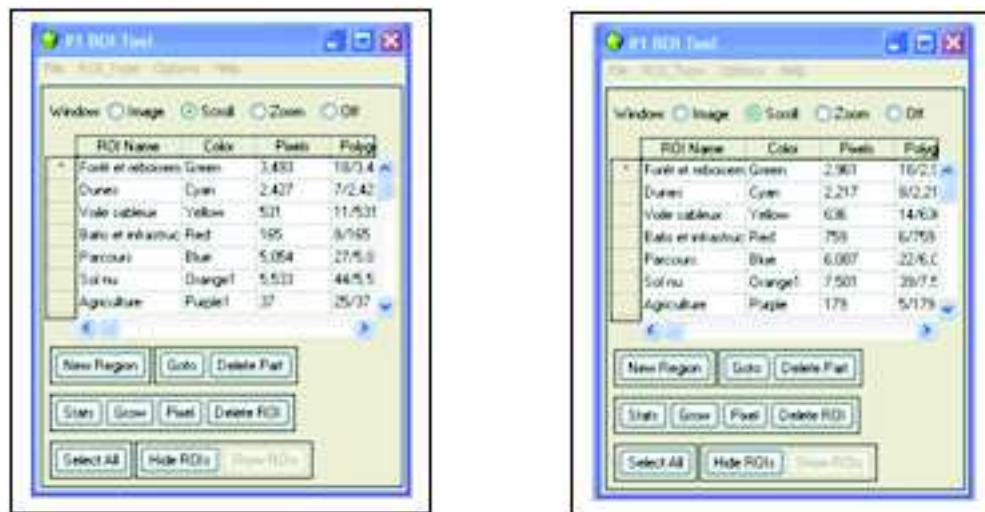


Figure n°36 : ROI choisies de l'image 1987 et l'image 2009

Les 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. Nous remarquons ici que notre échantillonnage présente cette qualité, ce qui sûrement va influencer positivement sur la qualité de la classification supervisée (Voir figure n° 36).

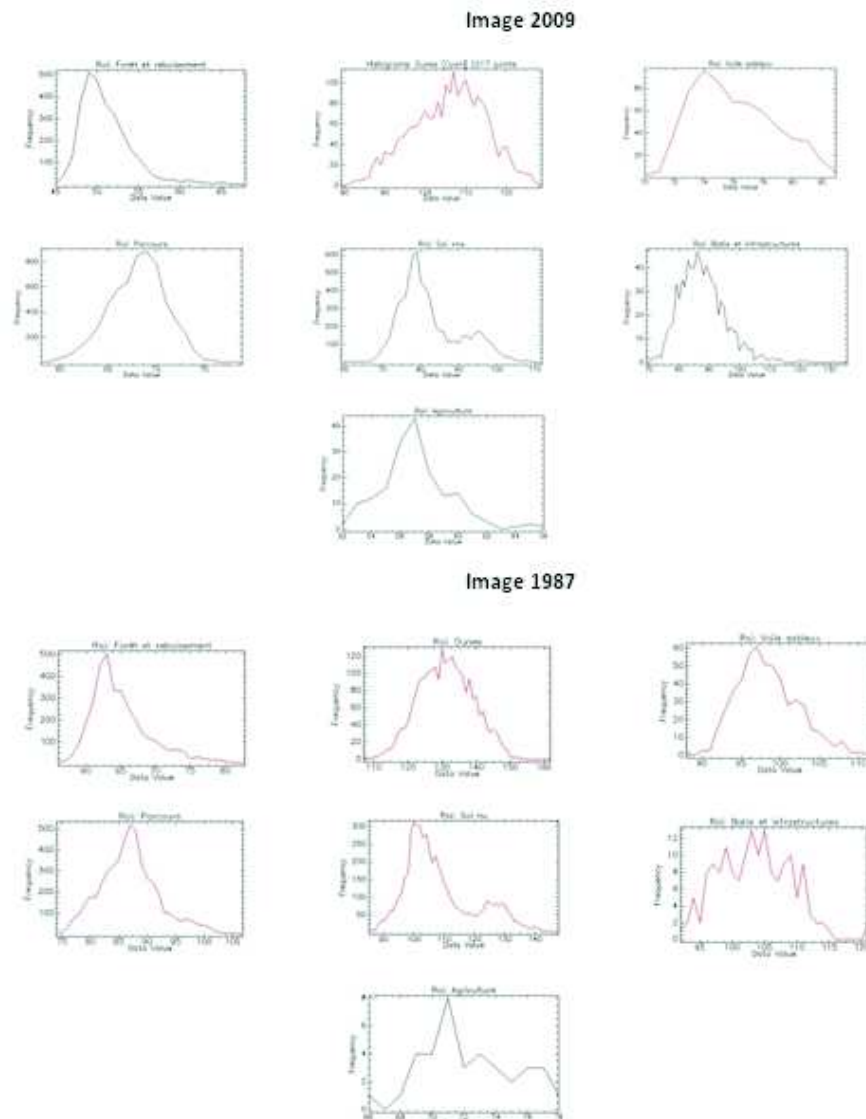


Figure n° 37: Représentations graphiques des différentes classes des zones d'entraînement de l'image 1987 et 2009

3.2- Séparabilité des classes et Qualité des zones d'intérêts (ROI ; *Region of interest*)

Dans le but d'approfondir notre analyse et notre évaluation sur la qualité des zones d'entraînements (ROI; *Region of interest*), nous avons calculé l'indice de séparabilité entre les différentes classes à l'aide de la fonction « *ROI separability* » dans l'ENVI. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés à la mesure de la distance. Nous avons adopté la distance de Jeffries-Matusita (ou la distance de *Bhattacharya*) qui a l'avantage d'être utilisée couramment en télédétection. En effet, cette distance est reliée directement à la probabilité d'erreur de classification dans la méthode *Bayésienne* (PRATT, 1991 in CHIKHAOUI et Al., 2007).

Les distances entre les classes sont reportées dans des matrices de séparabilité. Les formulations de la distance de Jeffries-Matusita et de la divergence transformée, pour des classes spectrales suivant des distributions gaussiennes des pixels de même classe.

L'indice de séparabilité de cette mesure est compris entre 0 et 2. De 0 à 1, la séparabilité n'est pas significative, de 1 à 1.9, la séparabilité va de faible à moyenne et de 1.9 à 2, la séparabilité est excellente (RICHARDS, 1981). Les moyennes des classes sont assez distantes l'une de l'autre, et les variances sont assez réduites pour que le risque de confusion de la classe à laquelle appartiendrait un pixel soit moindre.



Figure n°38: Indice de séparabilité des zones d'intérêts image 2009

Après une lecture sur les résultats de la figure ci-dessus, nous avons remarqué que la classe des forêts et reboisement représente une bonne séparation avec les autres classes, soit aucun risque de confusion; la même remarque est juste pour la classe des dunes. Les classes en rouge présentent une faible séparabilité avec les autres classes. Quand la distance spectrale approche de la distance minimale, la discrimination des deux classes devient plus difficile. La distance spectrale est minimale entre:

- Parcours et sol nu: probablement due à l'état des parcours dégradés (couvert végétal faible) qui donne la même réponse spectrale avec le sol nu.
- Bâti/infrastructure et sol nu: infrastructure (route peut se comporter comme sol nu).



Figure n° 39 : Indice de séparabilité des zones d'intérêts image 1987

On voit clairement dans la figure n° 39, que notre échantillonnage pour l'image 1987 présente une bonne séparabilité entre les classes, sauf pour la classe du sol nu qui présente une séparabilité moyenne proche de 1.9 avec parcours, dunes et bâtis et infrastructure et est due:

- Parcours se confondent parfois avec les sols nus dans le cas des parcours dégradés à taux de couverture faible.
- Bâti et infrastructure comme les pistes se confondent avec les sols nus.
- Dunes se confondent parfois avec les sols nus probablement dans les régions de transition sable parcours

3.3- Choix des bandes

Pour une scène donnée, plusieurs bandes spectrales sont disponibles, il faut généralement sélectionner les canaux ayant une forte dynamique pour les phénomènes que l'on veut détecter. Pour cela, il est nécessaire d'étudier les histogrammes des valeurs des canaux pour les zones d'apprentissage retenues. Parmi ceux-ci, on conseille de ne retenir que ceux qui sont peu corrélés entre eux de façon à disposer d'un maximum d'informations (GIRARD et GIRARD, 1999).

Pour éviter la redondance produite entre les bandes spectrales, nous avons appliqué une transformation de ces bandes par la création de néo-canaux décorrélés par ACP.

En effet, l'ACP est une transformation basée sur les vecteurs propres (*eigenvectors*) orthogonaux de la matrice de covariance (tableau n°18) produite d'un groupe de pixels pour l'ensemble des canaux spectraux de l'image initiale. Le résultat montre que les trois premières composantes principales expliquaient l'essentiel de la variance des bandes informatives pour chaque image. Les zones d'un même thème dans ces composantes sont donc plus homogènes.

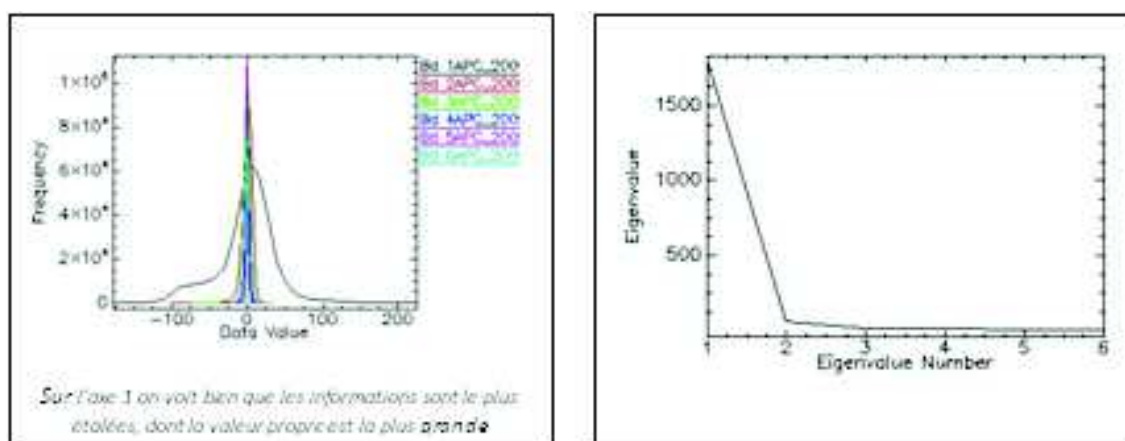


Figure n° 40 : Histogramme de l'ACP de l'image 2009

Tableau n° 18 : Valeurs propres des images 2009 et 1987 par axes d'ACP

	Image 2009		Image 1987	
	Valeur propre (<i>Eigenvalue</i>)	%	Valeur propre (<i>Eigenvalue</i>)	%
Band 1	1551,13126	95,129%	1789,4151	95,339%
Band 2	45,514568	2,791%	60,035013	3,199%
Band 3	20,668198	1,268%	13,647806	0,727%
Band 4	9,167531	0,562%	9,479287	0,505%
Band 5	3,395235	0,208%	3,461419	0,184%
Band 6	0,670701	0,041%	0,867846	0,046%
Total	1630,54749	100%	1876,90647	100%

On voit clairement que l'axe1 pour les deux images (1987 et 2009) est le plus pertinent car il porte le maximum d'information (95.129% pour 2009 et 95.339% pour 1987), si l'on garde les deux premiers axes ACP1 et ACP2, on conserve à peu près toute l'information (95.129 % + 2.791% = 97.920% pour l'année 2009 et 95.339 % + 3.199% = 98.538% pour l'image 1987), et on n'en perd guère plus de quelques pour mille.

Tableau n° 19: Corrélation entre bande APC image 2009 (Les mêmes résultats ont été obtenus pour l'image 1987)

Corrélation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1.000000					
Band 2	-0.000000	1.000000				
Band 3	-0.000000	-0.000000	1.000000			
Band 4	0.000000	-0.000000	0.000000	1.000000		
Band 5	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	1.000000	
Band 6	0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	1.000000

Le tableau ci-dessus montre une parfaite décorrélation entre les néo canaux d'ACP, ce qui permet d'éviter toute sorte de redondance qui peut provoquer des confusions entre les classes.

L'avantage de la composition principale est de réunir, dans trois canaux, la très forte majorité des informations. Souvent, la dernière composante ne possède que très peu d'informations originales (DESJARDINS, 2000). on remarque que cette dernière ne contient que 1.35% d'information, il paraît plus pertinent si en effectuant une substitution de cette composante par une bande NDVI.

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) et l'indice NDVI réduit les effets d'éclairement ou de pente sur la réflectance des couverts végétaux (BONN, 1996) et permet de mieux séparer la végétation (forêts, cultures) des sols nus et des surfaces urbanisées.

3.4- Post classification:

Une classification dirigée basée sur la méthode du maximum de vraisemblance (Likelihood), a été utilisée sur les deux images (1987 et 2009) en utilisant les néo canaux calculés (ACP1, ACP2 et NDVI). Selon les polygones d'entraînement repérés géographiquement sur nos images, le classifieur de l'algorithme de vraisemblance fait ressortir les thèmes suivants:

1. Forêt et reboisement
2. Dunes
3. Voiles sableux
4. Bâtis et infrastructures
5. Parcours
6. Sols nus
7. Agriculture

4- Estimation de la précision de l'interprétation des images

La contrainte majeure souvent identifiée pour analyser les changements de l'occupation du sol est la disponibilité des données à utiliser. Dans de nombreuses institutions, quand ces données existent, elles sont obsolètes ou manquent de précision parce que n'ayant pas

subies de test de qualité. Aussi, la précision des données générées lors de l'analyse des documents de base est aussi un facteur limitant qui biaise les résultats de l'occupation du sol (NELSON, 2000 in MAMA et OLOUKOI, 2003).

Les erreurs des traitements numériques de classification proviennent essentiellement des interactions entre la structure spatiale du paysage considéré, de la résolution du capteur, de l'algorithme du prétraitement de l'image et des procédures de classification (STORY et CONGALTON, 1986 in MAMA et OLOUKOI, 2003).

En vue d'évaluer la précision de la classification supervisée de l'occupation du sol réalisée pour l'image Landsat 2009, des sorties sur terrain de validation de la classification ont été effectuées. La démarche de ces sorties consiste à établir un certain nombre de relevés GPS de vérité de terrain pour chaque classe d'occupation du sol afin de déterminer le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone de classe. Cette étape a été réalisée selon la procédure décrite par MAMA et OLOUKOI, (2003):

- Les relevés GPS ont été réalisés de manière à ce que les points récoltés sur le terrain soient définis proportionnellement à la taille de la classe;
- Pour tenir compte de la diversité des classes, un minimum de 15 points de relevés est déterminé pour chacune des classes de grande taille ou présentant de grandes variabilités et un minimum de 3 points pour les autres classes de l'occupation du sol qui au contraire des premières prêtent peu à des confusions;
- Un total de 253 points a été défini pour l'ensemble de la zone d'étude (image 2009)
- Au niveau de chaque classe, les points relevés sont autant que possible dispersés sur l'ensemble de la zone d'étude;
- La précision de la localisation des points est obtenue à l'aide du GPS Garmin 12Xls qui favorise une précision de l'ordre de 10 m;

Les méthodes conventionnelles d'évaluation de la précision thématique d'une carte ont été employées. Il s'agit de la matrice d'erreur et de l'indice Kappa (CONGALTON, 1991 in CHALIFOUX S. et *al.*, 2006 et PONTIUS (2000) in MAMA et OLOUKOI, (2003). La matrice d'erreur donne une évaluation de la précision globale de la cartographie et des résultats de classification pour chacune des classes thématiques. L'indice de kappa évalue dans cette matrice l'accord entre les résultats obtenus (carte) et la vérité sur le terrain (BD). Il s'étend de 0 à 1 et il se divise en cinq catégories:

- Accord très faible de 0 à 0.20;
- Accord faible de 0.21 à 0.40;
- Accord modéré de 0.41 à 0.60;
- Accord substantiel de 0.61 à 0.80;
- Accord presque parfait de 0.81 à 1.

L'indice kappa (équation 1) est exprimé en terme de précision globale observé (équation 02) et de précision prévue (équation 3)

$$K = \frac{a-b}{1-b} \quad (1)$$

$$a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_c} X_{ii} \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N_c} (X_{+i} \cdot X_{i+}) \quad (3)$$

Dont ;

Nc = Nombre de classes

N = Nombre total d'observations

X_{ii} = Nombre d'observations dans la colonne i ligne i (diagonale de la matrice)

X_{+i} = Total des observations dans la colonne i (total à droite dans la matrice)

X_{i+} = Total des observations dans la ligne i (total en bas de la matrice)

Tableau n° 20: Matrice d'erreur pour l'évaluation de la précision de la classification.

Points de contrôle de terrain									
	FR	DV	VS	PS	SN	BI	AGR	Total	Précision
FR	40	0	0	1	0	0	0	41	97,56%
DV		43		0	1	0	0	44	97,73%
VS		1	33		5			39	84,62%
PS				38	2			40	95,00%
SN			2		46			48	95,83%
BI		1	1		2	10		14	71,43%
AGR							27	27	100,00%
Total	40	45	36	39	56	10	27	237	93,6%
Précision pour l'utilisateur (%)	100%	95,55%	91,7%	97,43	82,14%	100%	100%		
Erreur d'excédents (%)	0	4,45%	8,3%	2,57%	17,86	0%	0%		
Précision globale de la cartographie								0,936759	
Indice de Kappa								0,924853	
FR: Forêts et reboisement, DV: Dunes vives, VS: Voiles sableux, PS: Parcours steppiques, BI: Bâti et infrastructures, SN : Sols nus et AGR : Agriculture									

Tableau n° 20: Matrice d'erreur pour l'évaluation de la précision de la classification.

5- Analyse de la matrice d'erreur

Il ressort de cette analyse qu'aux 253 points contrôlés sur le terrain, 237 points correspondent aux classes auxquelles ils avaient été attribués. Cela génère une précision globale de cartographie pour l'ensemble de la zone d'étude à **93.67%**. L'indice de Kappa a été évalué à **92.48%**.

D'après PONTIUS (2000) in MAMA et OLOUKOI, (2003), dans une étude de l'occupation du sol, lorsque l'indice de kappa évalué dans les opérations de classification

est compris entre 50 et 75%. La classification adoptée est valable et les résultats peuvent être judicieusement utilisés.

Les résultats de l'analyse de fiabilité sont présentés dans les tableaux n° 20 et 21. Ces tableaux montrent, pour chacune des classes, le niveau de fiabilité moyen et les principales confusions observées. La majorité des confusions apparaissent entre les classes négligées dans le processus de cartographie, qui ne représentent que de petites superficies sur le territoire d'étude, et les classes surévaluées.

Classe	Erreur d'omission (%)		Erreur de confusion (%)		précision
Forêts et reboisement	41-40/15	2,27	40-40/40	0,00	97,56
Dunes	44-43/44	2,27	45-43/45	4,44	97,73
Voiles sableux	39-33/39	15,38	36-33/36	8,33	84,62
Parcours	40-38/40	5,00	39-38/39	2,56	95,00
Sols nus	48-46/48	4,17	56-46/56	17,86	95,83
Bâtis et infrastructures	14-10/14	28,57	10-10/10	0,00	71,43
Agriculture	27-27/27	0,00	27-27/27	0,00	100,00
Total d'erreur	6,40%		6,40%		237/253=93,6%

Tableau n° 21 : Erreur d'omission et confusion

Comme on le présente sur le tableau 21, certaines classes d'occupation du sol sont classifiées avec plus de précision que d'autres. La plus faible précision a été observée au niveau de la classe Bâtis et infrastructure. Les erreurs de confusion et d'omission ont été déterminées pour chaque classe de l'occupation du sol et se trouvent présentées sur le tableau 23. Les erreurs d'omission et de confusion intervenues dans la classification ont été évaluées à 6.4 %. Les erreurs d'omission les plus élevées ont été enregistrées au niveau des classes de Bâtis et infrastructure (28 %) et de celles de voiles sableux (15.38 %).

Par contre, des erreurs de confusion ont été enregistrées au niveau de la classe sol nus avec une valeur de 17.86 %, La plus faible valeur de l'erreur de confusion concerne la classe forêts et reboisement (1,1 %).

Il ressort de l'analyse que les erreurs de confusion et d'omission qui ont une valeur faible de l'ordre de 6.4%, ne nécessitant pas un regroupement de classe d'occupation du sol.

On constate globalement une bonne correspondance entre la cartographie issue de la classification de données satellitales avec les observations de terrain.

6- Analyse des résultats de la classification supervisée

La classification supervisée effectuée, nous a fourni deux cartes d'occupation du sol, une pour l'année 2009 et l'autre pour l'année 1987, ainsi des statistiques d'occupation pour chaque année.

Ces deux 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 :

Pour l'année 1987 :

La lecture des statistiques du tableau n°22 et les présentations de la figure n°41 et n° 42 qui illustrent les pourcentages des surfaces d'occupation du sol de l'image 1987 traduit les remarques suivantes :

La plus grande surface est occupée par les sols nus soit 48.35% répartie sur la totalité de notre zone d'étude sauf les massifs forestiers situés au centre et qui ne sont pas touchés par cette occupation. La deuxième entité en matière de superficie occupée concerne les parcours avec un pourcentage d'occupation de 23.50% soit 53963 ha, la répartition spatiale des parcours se situe dans la partie sud et sud ouest de la zone d'étude et parfois sur les terrains limitrophes et inter-forêts), ils sont constitués principalement d'alfa et d'armoise.

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% avec une superficie de 32319 ha

La partie supérieure de la zone d'étude est caractérisée par une formation sableuse formant le cordon dunaire constituée des dunes avec un pourcentage d'occupation de 3.36% (soit 7706 ha) et des voiles sableux qui sont généralement des formations sableuses entourant les dunes avec un pourcentage de 8.99% (soit 20642 ha).

Les autres formations ne couvrent qu'une petite superficie telle que l'agriculture qui est très limitée aux bordures des oueds avec un pourcentage de 0.42% (soit 973 ha) et le bâtis et infrastructure avec un pourcentage de 1.32% (soit 3020 ha), représenté principalement par la ville de Djelfa, Ain Maabed et Zaafrane et les routes et pistes.

Tableau n°22 : Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 1987

Classes	Nombre de pixel	%	Superficie km	Superficie ha
Forêts et reboisements	327360	14,07%	323,19	32319
Dunes	85625	3,36%	77,06	7706
Voile sableux	229350	8,99%	206,42	20642
Bâtis et infrastructures	33000	1,32%	30,20	3020
Parcours	585991	23,50%	539,63	53963
Sols nus	1224889	48,35%	1110,31	111031
Agriculture	65490	0,42%	9,73	973
Total	2551705	100%	2297	229700

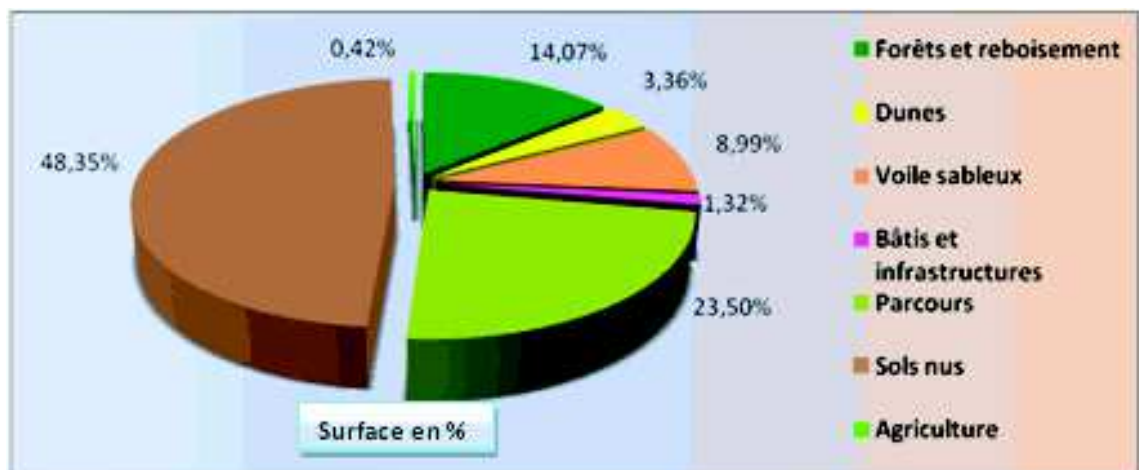


Figure n° 41: Répartition spatiale des surfaces des unités d'occupation du sol 1987

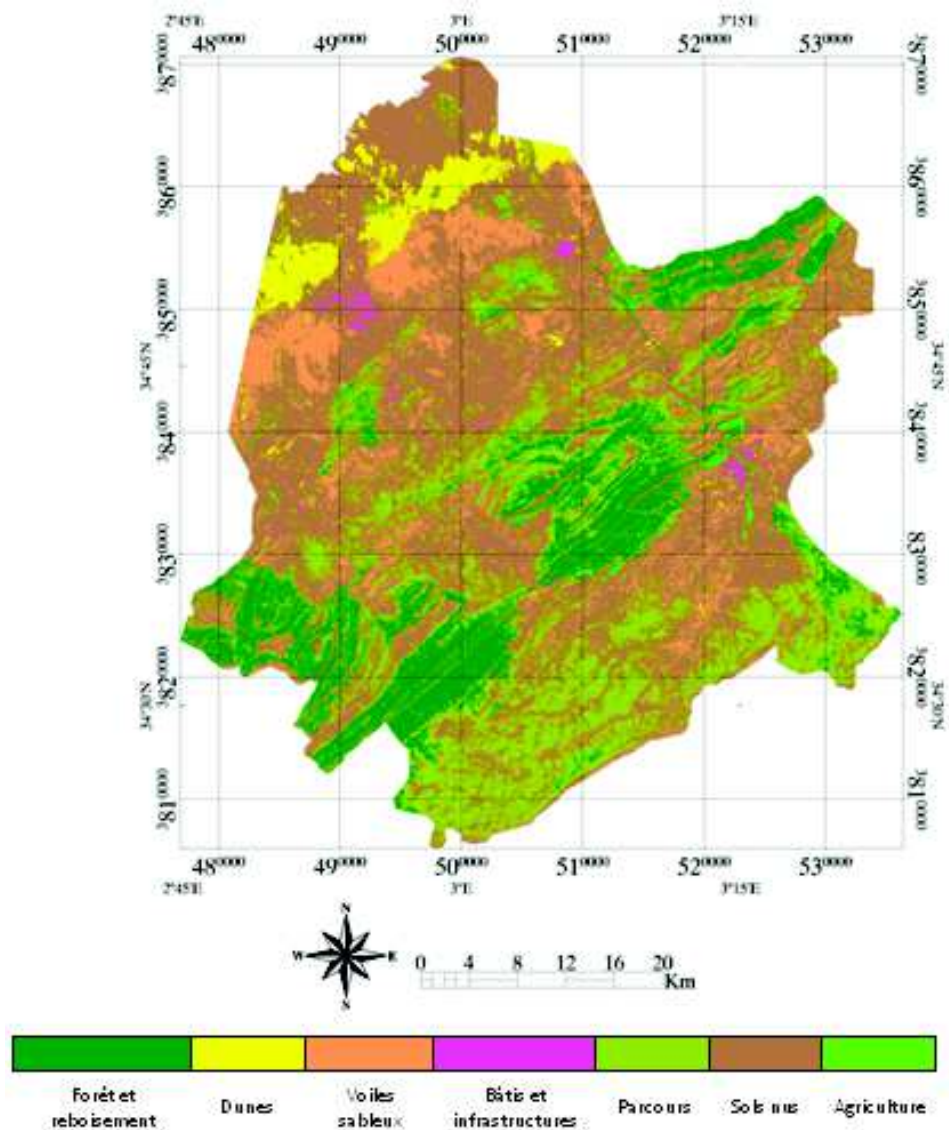


Figure n° 42: Classification image 1987 (ACP1, ACP2 NDVI)

· Image 2009 :

La situation des entités d'occupation du sol à une échelle globale de l'image 2009 est similaire à celle de l'année 1987, les différences essentielles de l'image 2009 résident dans la progression ou la régression de ces entités par rapport à l'image de 2009.

L'analyse des résultats de la classification de l'image 2009 présentés dans le tableau n°23 et les figures n° 43 et n° 44, nous permet de dégager les remarques suivantes :

- La formation forestière occupe toujours la partie centrale de la zone d'étude sur la chaîne montagneuse des monts des Ouleds Nail avec un pourcentage de 12.83% soit 29490 Ha
- Les parcours steppiques occupent un pourcentage de 30.15% (soit 70322 ha)
- Les sols nus avec un pourcentage d'occupation de 46.63% (soit 107113 ha)
- Les dunes avec un pourcentage de 2.64% (soit 6070 ha)
- Les voiles sableux occupent un pourcentage de 3.57 % (soit 8201 ha)
- Les bâtis et infrastructure occupent un pourcentage 3.15% de (soit 7249 ha)
- L'agriculture occupe un pourcentage 0.54% de (soit 1255 ha)

Tableau n° 23 : Répartition spatiale des classes d'occupation de l'image 2009

Classes	Nombre de pixel	(%)	Superficie (km)	Superficie (ha)
Forêts et reboisement	327599	12,838%	294,9	29490
Dunes	67432	2,643%	60,7	6070
Voile sableux	91102	3,570%	82,01	8201
Bâtis et infrastructures	80526	3,156%	72,49	7249
Parcours	781198	30,615%	703,22	70322
Sols nus	1189904	46,632%	1071,13	107113
Agriculture	13944	0,546%	12,55	1255
Total	2551705	100%	2297	229700

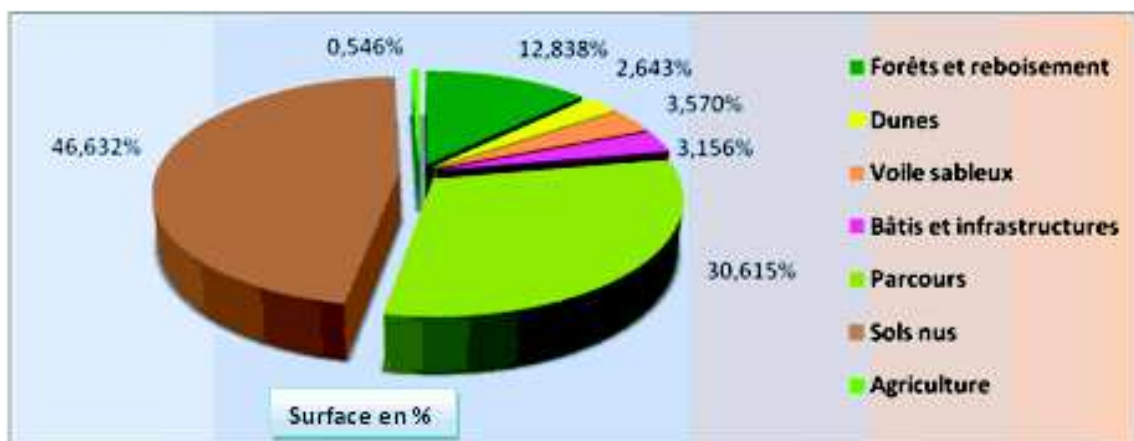
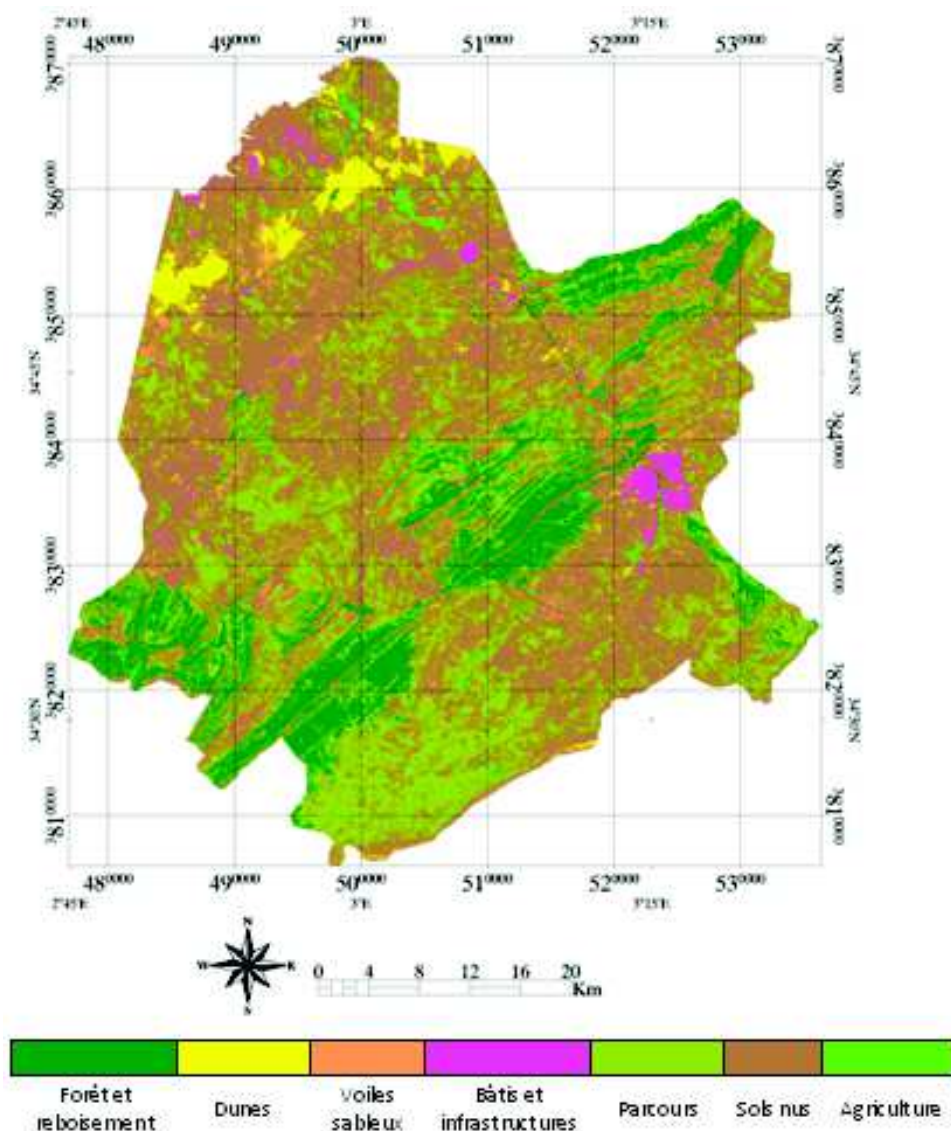


Figure n°43: Répartition spatiale des surfaces des unités d'occupation du sol 2009



7 - Comparaison d'occupation entre l'année 1987 et 2009

Les résultats des deux classifications de détection de changement de l'année 2009 et de l'année 1987 présentent un grand changement sur toutes les entités étudiées. Dans cette partie, on va 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 du graphique et du tableau de l'évolution temporelle montre :

- La formation sableuse avec ces deux types dunes et voiles sableux a connu une diminution très considérable en matière de la surface occupée entre la date de 1987 et 2009. Les dunes ont diminué de 1636 ha soit 21.23 % de la superficie de l'année 1987, et les voiles sableux ont aussi diminué de 12441 ha avec un pourcentage de 60.28 de l'année de 1987.
- L'agriculture occupe une superficie très restreinte dans notre zone, malgré l'augmentation de la superficie de l'agriculture pour l'année 2009, avec un pourcentage de 22.47% , la superficie est de 282 ha.
- La formation forestière, qui comprend les forêts naturelles et les reboisements, est caractérisée par une dégradation importante ; elle recule d'une superficie de 2829 ha, soit d'un pourcentage de 8.75 par rapport a la date de 1987.
- Les parcours présentent une progression considérable par une superficie de 16359 ha soit avec un pourcentage de 23.26% de la superficie de l'année de 1987.
- Les sols nus ont connu une petite diminution de l'ordre de 3918 ha soit une pourcentage de 3.52% par rapport a l'année 1987.
- Enfin, le Bâti et les infrastructures qui ont connus une importante augmentation avec un pourcentage de 58.33%, et ça malgré ses occupations minimales au sein de nôtre zone d'étude.

Tableau n° 24 : Evolution des surfaces des unités d'occupation du sol durant les deux dates 1987 et 2009

Classe	1987		2009		Evolution	
	%	Ha	%	Ha	% (*)	Ha
Forêts et reboisement	14,07%	32319	12,84%	29490	-8,75%	-2829
Dunes	3,36%	7706	2,64%	6070	-21,23%	-1636
Voile sableux	8,99%	20642	3,57%	8201	-60,28%	-12441
Bâti et infrastructures	1,32%	3020	3,16%	7249	139,98%	4229
Parcours	23,50%	53963	30,61%	70322	30,29	16359
Sols nus	48,35%	111031	46,63%	107113	-3,55%	-3918
Agriculture	0,42%	973	0,55%	1255	29,04%	282
Total	100%	229700	100%	229700		0

*le pourcentage de l'évolution est proportionnel, s'il s'agit d'une régression de la surface, il est calculé par rapport à l'année d'observation (2009) et s'il s'agit d'une évolution, il est calculé par rapport à l'année de référence (1987).

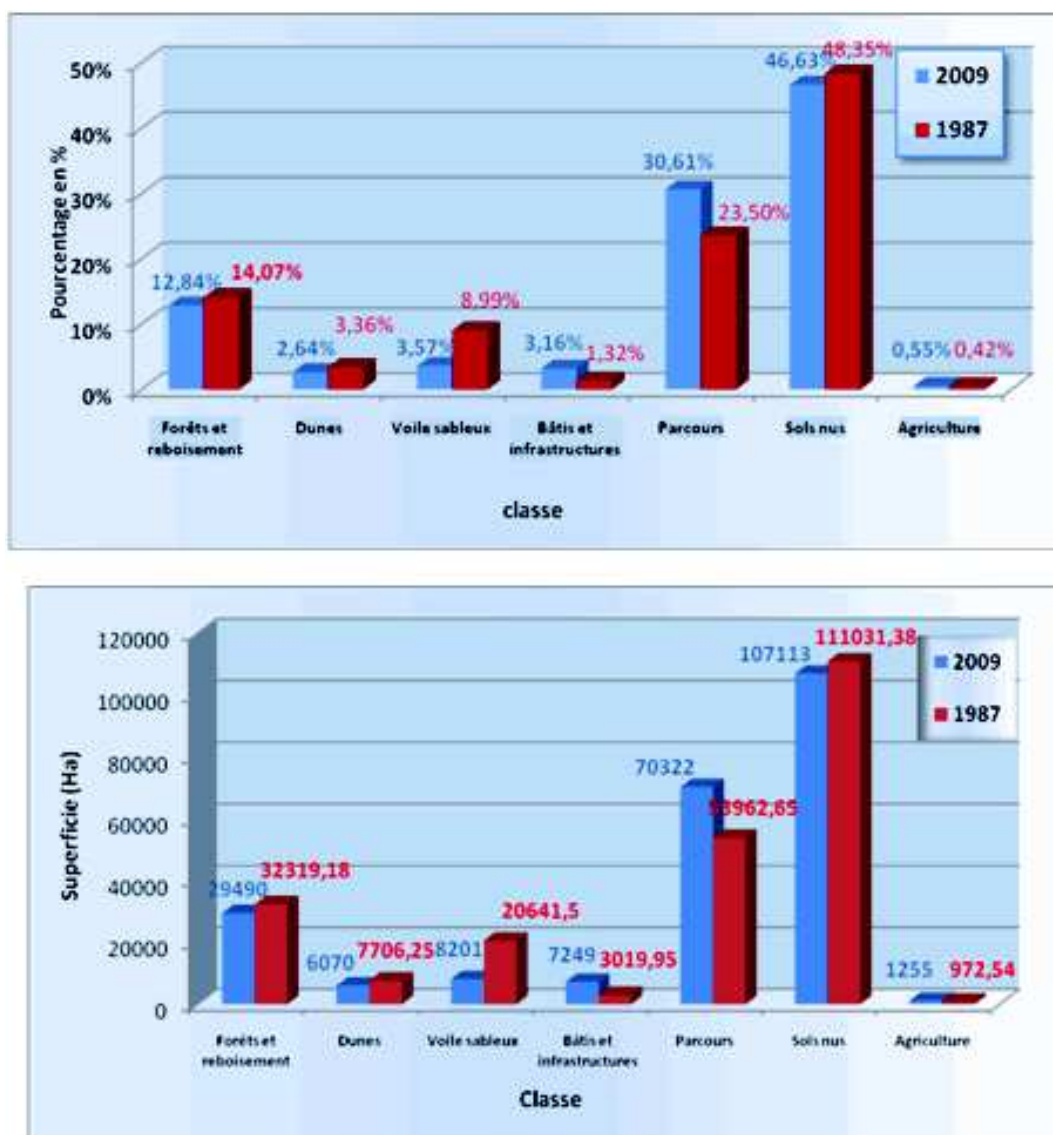


Figure n°45 : Evolution des entités d'occupation du sol durant les deux années 1987 et 2009 (en pourcentage et en Ha)

7.1- Interprétation des résultats :

Pour pouvoir analyser nos résultats de suivi et d'évolution de l'occupation des sols dans notre zone d'étude, nous essayons de mettre en évidence tous les facteurs physiques et anthropiques qui peuvent exercer un impact sur la régression ou l'évolution du changement.

En effet, les observations du tableau n°24, Figure n° 45 représentant l'évolution des surfaces des unités d'occupation de sol sur les dates 1987 et 2009 révèlent que :

Notre zone d'étude a subi des changements importants qui se manifestent par une réduction du couvert forestier, des formations sableuses et des sols nus d'une part, et d'autre part une évolution de la superficie des parcours, agriculture, bâtis et infrastructures.

- La superficie forestière a enregistré une diminution considérable de l'ordre de 2829 ha (8.75%) causée principalement par (Voir figure n° 46) :

* les coupes illicites des arbres du pin d'Alep à usage de pied droit au niveau des chantiers d'urbanisation ;

* les labours illicites pratiqués en lisière de forêts par la population riveraine pour gagner des terrains d'une année à l'autre au détriment du couvert forestier.

* les incendies de forêts ont eu un effet néfaste sur le couvert forestier; notre zone d'étude n'échappe pas à ce phénomène qui a réduit la superficie forestière.

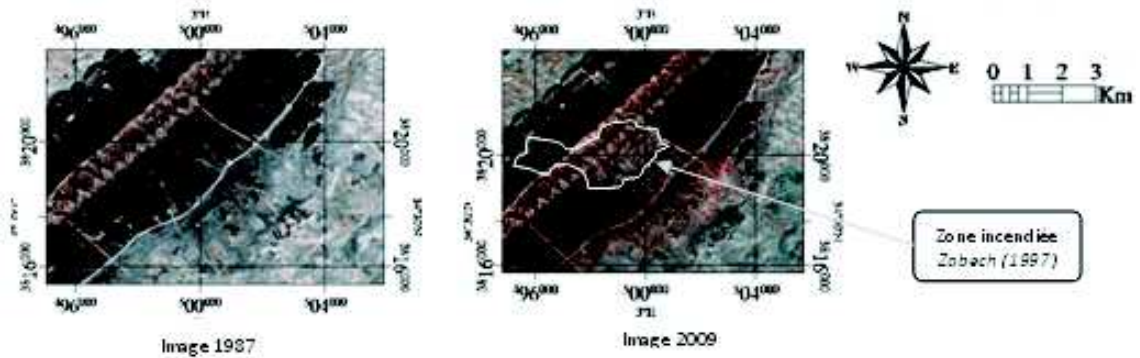


Figure n° 46 : Dégradation du couvert forestier par les incendies (Région du Zabech-Forêt de Sénalba Gharbi de Djelfa)

La sécheresse:

La sécheresse qui sévit dans la région durant les débuts des années 2000 (Voir Figure n° 47) a eu des conséquences néfastes sur le couvert forestier, 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 morts sur pied des sujets des peuplements âgés et des jeunes reboisements .

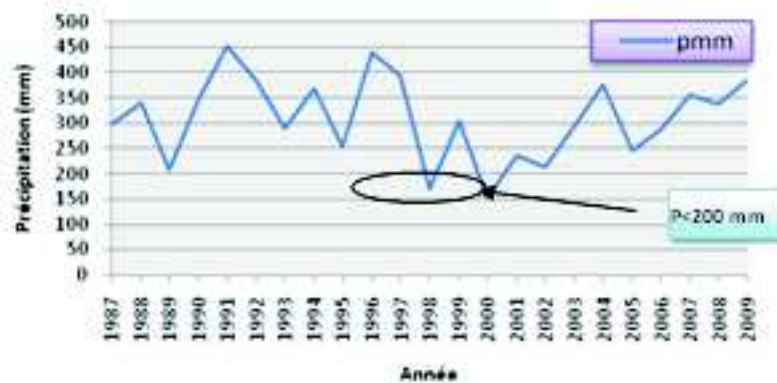


Figure n° 47 : Précipitation annuelle de 1987 à 2009

Parcours :

La superficie des parcours a connu une importante augmentation de l'ordre de 23.26% par rapport à l'image de l'année 1987 soit une superficie de 16359 ha, ça est due probablement à la quantité importante de pluie qui a été reçue par la région durant l'année 2009 (389 mm) et qui a contribué directement sur le développement de ce couvert végétal. Généralement les parcours steppiques ont un avantage de profiter des quantités importantes de pluie qui tombent dans l'année pour se régénérer et avoir un bon recouvrement contrairement aux

formations forestières qui nécessitent une longue période pluvieuse pour qu'elles soient vigoureuses surtout dans les jeunes reboisements.

· Sols nus

La plus grande surface de notre zone d'étude est constituée de sols nus pour les deux dates de 1987 et 2009, cette classe n'a pas connu une grande différence par rapport à son importance, elle est réduite de 3.52%, mais ça n'empêche pas de remarquer que les sols nus sont des terrains labourés illicitement par les agropasteurs de la région pour satisfaire les besoins de leurs cheptels, ce qui accentue la dégradation des écosystèmes steppiques. Cette pratique de défrichement et labours se concentre surtout sur les terrasses, glacis et les dayas de la partie nord et sud-est de la zone d'étude au détriment des parcours.

· Formations sableuses:

Sur la partie nord, de notre zone d'étude, s'étend un long cordon dunaire formé de deux formations sableuses distinctes, les résultats de détection de changement montrent une grande variation spatio-temporelle d'occupation du sol :

Dunes vives : cette formation qui est centrée sur le cordon dunaire, montre une réduction de superficie de l'ordre de 21.23% à l'année 2009 par rapport à l'année 1987. Cette diminution est due à l'attention particulière de l'état en matière de lutte contre la désertification par la réalisation des projets de fixation des dunes surtout les dunes qui se situent près des infrastructures comme les agglomérations de Zaafrane et d'El Mosrane et la route nationale n° 01. Les travaux de fixation des dunes consistent à ériger des obstacles de forme carrée dans le sable, capables à la fois de diminuer la vitesse des vents et de réduire les déplacements du sable, en matière plastique où en fascines de Pin d'Alep ; à l'intérieur de ses carrés on plante des espèces psammophytes principalement le *Tamarix articulata* qui s'adapte au milieu dunaire. A titre d'exemple la conservation des forêts de la wilaya de Djelfa, depuis 1981 a pu réaliser 2200 ha de fixation des dunes.

Impacts	action	Années	Volume traité
Zaafrane	Fixation des dunes	1987	400
zaafrane	Fixation des dunes	1991	300
zaafrane	Fixation des dunes	1991	500
zaafrane	Fixation des dunes	1991	100
Zaafrane	Fixation des dunes	1992	200
Zaafrane	Fixation des dunes	1993	500
El mesrane	Fixation des dunes	2003	200
Total			2200

Tableau n° 25: Bilan de fixation des dunes au niveau du cordon dunaire de 1987 à 2009

Source : Conservation des forêts de Djelfa

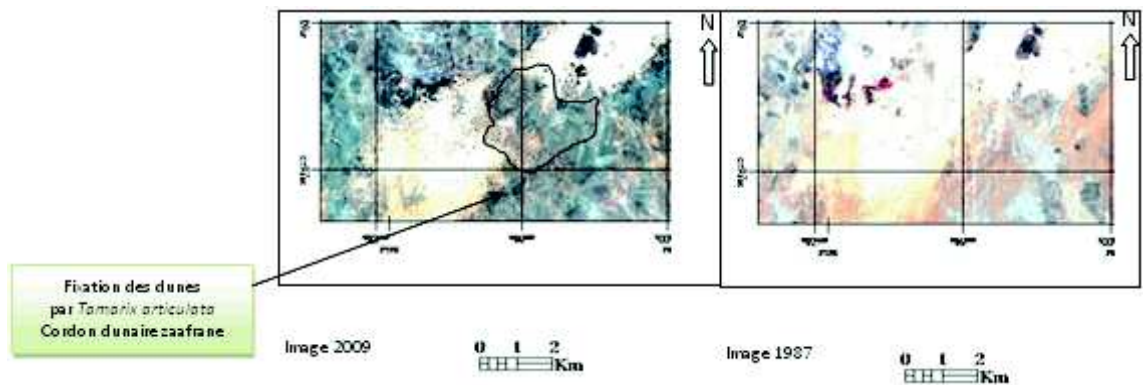


Figure n°48: Travaux de Fixation des dunes vives au niveau du cordon dunaire

Voiles sableux: sont des formations sableuses de petits épaisseurs qui se développent en bordure du cordon dunaire et qui se différencier des dunes par leurs faibles épaisseurs, nos résultats en matière d'occupation du sol, montrent une diminution très significative de l'ordre de 58.33% d'occupation de l'année 2009 par rapport à l'image 1987, cette diminution est due essentiellement aux travaux de plantation pastorale effectué par le HCDS et la conservation des forêts pour cerner le problèmes d'accumulation sableuses qui menace à la fois les terres des parcours ainsi les infrastructure de base notamment les deux routes nationales 01 et 01A. Les plantations pastorales sont faites au niveau de ces zones à base d'*Atriplex canescens* qui supporte à la fois la sécheresse et les sols sableux et salés et ont une bonne valeur alimentaire et appétibilité (Le HOUEROU, 1975).

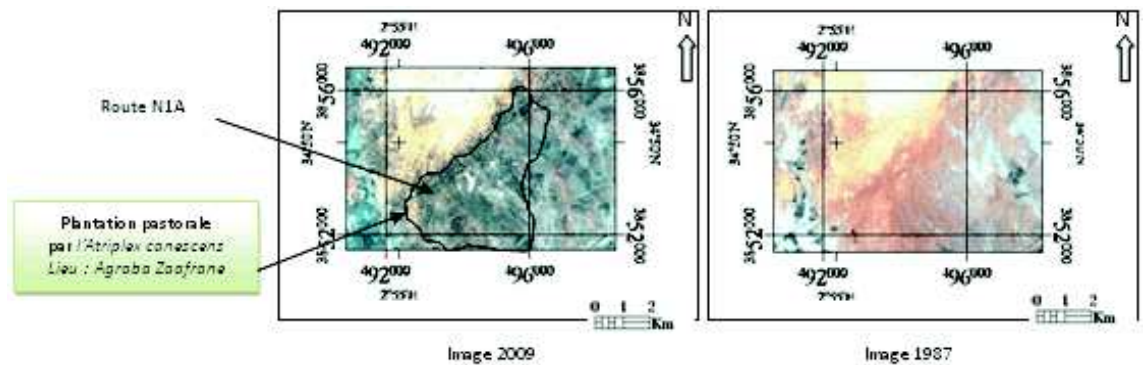


Figure n° 49 : Travaux de plantation pastorale en lisière du cordon dunaire (sur les voiles sableux)

Bâties et infrastructures :

La superficie du bâtis et infrastructures de notre zone d'étude qui comprend les communes de Djelfa, de Zaafrane et d'Ain Maabed a connu une très importante évolution estimée à 1.4 fois par rapport à l'année de référence 1987, ça est due principalement au nombre de la population qui a aussi connu une évolution considérable de l'ordre de 329% (Voir tableau n° 26).

Tableau n° 26 : Recensement de la population de la zone d'étude

	Recensement 1987	Recensement 1998	Recensement 2008
Zone étude	99 447	164 727	327 907
Ville de Djelfa	84 207	138 679	289 226
% d'évolution		165,64%	329,73%

Source DPAT de Djelfa

· Agriculture :

L'agriculture de notre zone d'étude occupe une superficie très restreinte et se limite aux bordures des oueds, cette classe a connu une augmentation de 22.47 % soit 282 ha, mais la classe d'agriculture reste une superficie très négligée avec un taux de 0.6% de la surface globale de la zone d'étude.

7.1- Matrice de changement

Le croisement des couches d'occupation des sols de 1987 et 2009 a permis de générer une matrice de changement expliquant les grandes mutations d'occupation des sols entre ces deux dates et une carte de changement (voir tableau n° 29 et 30).

La matrice de changement joue deux rôles pertinents dans la détection de changement d'occupation des sols, le premier rôle c'est de calculer la superficie de chaque unité qui a subi le changement de l'année d'observation par rapport à l'année de référence, et le deuxième rôle c'est de faire ressortir la transformation des unités à une autre pour les deux dates d'étude, ce qui permet la compréhension de la dynamique globale intervenue au sein des unités par rapport à une période de référence donnée.

		1987							Total classe
		FR	DV	VS	BI	PS	SN	AGR	
2009	Forêt et reboisement	78,542	0,278	0,116	0,986	5,524	0,629	35,471	100
	Dunes	0,005	51,436	1,464	0,62	0,064	1,57	0,509	100
	Voile sableux	0,032	7,675	16,613	0,057	0,294	3,604	0,676	100
	Bâtis et infrastructures	0,599	2,485	0,7	48,979	1,809	3,822	1,897	100
	Parcours	15,737	4,821	18,172	24,11	61,953	24,105	18,101	100
	Sol nus	4,342	33,259	62,792	24,652	29,825	65,781	29,558	100
	Agriculture	0,744	0,046	0,143	0,596	0,532	0,489	13,789	100
	Total classe	100	100	100	100	100	100	100	0
	Class Changes	21,458	48,564	83,387	51,021	38,047	34,219	86,211	0
Différence image	-8,773	-21,247	-60,278	139,982	30,29	-3,549	29,039	0	

FR: Forêts et reboisement, DV: Dunes vives, VS: Voiles sableux, PS: Parcours steppiques, BI: Bâtis et infrastructures, SN : Sols nus et AGR : Agriculture

Tableau n° 27 : Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude de 1987 à 2009 exprimée en %

		1987							
		FR	DV	VS	BI	PS	SN	AGR	Total classe
2009	Forêt et reboisement	25384,14	21,42	24,03	29,79	2980,71	698,85	344,97	29483,91
	Dunes	1,62	3963,78	302,13	18,72	34,38	1743,3	4,95	6068,88
	Voile sableux	10,35	591,48	3429,18	1,71	158,67	4001,22	6,57	8199,18
	Bâtis et infrastructures	193,5	191,52	144,45	1479,15	976,32	4243,95	18,45	7247,34
	Parcours	5086,08	371,52	3750,93	728,1	33431,31	26763,84	176,04	70307,82
	Sol nus	1403,19	2563,02	12961,26	744,48	16094,16	73037,79	287,46	107091,36
	Agriculture	240,3	3,51	29,52	18	287,1	542,43	134,1	1254,96
	Total classe	32319,18	7706,25	20641,5	3019,95	53962,65	111031,38	972,54	0
	Class Changes	6935,04	3742,47	17212,32	1540,8	20531,34	37993,59	838,44	0
	Différence image	-2835,27	-1637,37	-12442,32	4227,39	16345,17	-3940,02	282,42	0

FR: Forêts et reboisement, DV: Dunes vives, VS: Voiles sableux, PS: Parcours steppiques, BI: Bâtis et infrastructures, SN : Sols nus et AGR : Agriculture

Tableau n° 28 : Matrice de changement d'occupation des sols de la zone d'étude de 1987 à 2009 exprimée en Ha.

Les résultats de la matrice de changement générée montre que : (voir tableau n° 27 et 28)

- La classe forêts et reboisements a conservé 78.54 % (25384.14 ha) de leur superficie inchangée, les principales unités dérivées étant le parcours avec une superficie de 15.73 % soit 5086.08 ha et les sols nus avec un taux de 4.3% soit 1403.19 ha. Par contre cette diminution de superficie de la classe forêts et reboisements a été récupérée partiellement par la transformation de l'unité des parcours avec une superficie de 2980,71 ha et l'unité des sols nus avec une superficie de 968.85 ha, en notant que cette classe présente le taux le plus stable de toutes les unités étudiées.
- La classe des dunes a subi une forte dynamique, elle ne garde que 51.43 % de sa superficie soit 3963.78 ha, ce changement ayant eu lieu a conduit à la transformation de cette unité d'occupation des sols en classe des sols nus avec un taux de 33.25% soit 2563.02 ha et en unité de voile sableux avec 7.67 % soit 591 ha. Par contre, la classe des sols nus aussi a été transformée en dunes avec une superficie de 1743 % et les voiles sableux avec une superficie de 302.13 ha.
- Les voiles sableux ont aussi connu une très grande dynamique de transformation, seulement 16.61% de sa superficie reste sans changement. les grandes transformations sont vers les sols nus avec un taux de 62.79 % soit 12961.26 ha et parcours 18.17% soit 3750.93 ha. Cette classe est la plus dynamique en matière de changement.
- La classe de bâtis et infrastructures a conservé 48.97% de sa superficie soit 1479 Ha, le reste a été transformé en sols nus avec un taux de 24.65 soit 744.48 ha et en parcours 24.11% soit 724.10 ha, en contre partie cette unité a bénéficié de nouvelles superficies au détriment de : 193.5 ha de la classe des forêts et reboisement, 191.25 ha de la classe des dunes , 144 ha de la classe des voiles sableux, 976 ha de la classe des parcours, 4243 ha de la classe des sols nus et de 15 ha de la classe de l'agriculture.
- Les parcours ont affiché une résilience au changement sur 61.95% de leur superficie, soit 33431.31 ha, le reste qui est de l'ordre de 38% a été transformé en unité des sols nus avec une superficie de 16094.16 Ha et en unité des forêts et reboisements avec une superficie de 2980,71ha

- La classe des sols a maintenu 65.78% de sa superficie initiale, soit 73037.79 ha, une grande partie de sa superficie a été mutée en parcours avec une superficie de 26763.84 ha, en classe bâtis et infrastructure avec une superficie de 4243.95 ha et en classe des voiles sableux avec superficie de 4001.22 Ha.
- L'agriculture avec sa superficie négligeable pour les deux date d'étude qui est de l'ordre de 0.5% de la superficie totale de la zone d'étude, présente un taux non changé de 13.7% soit 134 ha, le reste a été transféré en classe des forêts et reboisements avec une superficie de 344.97 ha, en classe des sols nus avec une superficie de 287.46 ha et en classe de parcours avec une superficie de 176.04 ha.

7.3- Interprétation des résultats de la matrice des changements

D'après les résultats fournis par la matrice des changements nous avons constaté que toutes les unités d'occupations des sols étudiées entre les deux dates subissent une dynamique de changement sous l'impulsion d'un ou plusieurs facteurs.

- 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 anthropiques (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 est due essentiellement aux travaux de reboisement réalisé dans cette époque par les services des forêts sur des assiettes de parcours et de sols nus. Mais, malheureusement ce qui est perdu n'est pas supérieur ou égal à qu'est gagné !
- La classe des dunes présente une grande dynamique de transition en classe des sols nus et des voiles sableux grâce à la nature du milieu dunaire qui est constitué principalement 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.
- Les voiles sableux présentent un grand taux d'instabilité et subissent des changements de l'ordre de 84% et ça est due à sa nature, qui est formée principalement de placages de sable peu épais (OLDACHE, 1988). Ils sont transformés sous l'action des vents en sols nus (62.79%) ou en parcours (18.17%) grâce l'intervention de l'Etat en matière de plantation pastorale (Plantation des Atriplex).
- La classe bâtis et infrastructure occupe un faible pourcentage dans la zone d'étude, mais elle présente une perte de superficie de l'ordre de 744 ha vers les sols nus ; en même temps, elle progresse sur un autre sol nu avec une superficie de 4243.95 ha, ça est du essentiellement à l'évolution des villes notamment la ville de Djelfa et les nouvelles infrastructures (Routes et pistes) qui sont créés de nouveau.
- La classe des parcours a changé de 38.04%. cette classe a été mutée vers les sols nus avec une superficie de 16094.16 ha. Ça est du probablement aux défrichements et aux labours illicites effectués par les agropasteurs dans le but d'assurer un aliment pour leurs cheptels, et de 2980 ha de superficie en forêt grâce aux travaux de reboisement effectués sur cette classe.
- La classe des sols nus est apparue comme la deuxième classe la plus stable avec un pourcentage de 65.78% (soit 73037.79 ha). plus de 24 % de cette classe soit

26763.84 ha ont été converti en parcours grâce à l'augmentation de la pluviométrie de l'année qui semble entraîner une amélioration du couvert végétal steppique.

La classe de l'agriculture présente une grande dynamique de changement malgré sa très petite surface d'occupation, elle se développe de façon anarchique car ne constitué pas la vocation de la région.

7.4- Produit final (carte des changements)

Le croisement des deux cartes d'occupation du sol de l'année 1987 et l'année 2009 mène à la production deux cartes de synthèse résumant le changement au sein de notre zone d'étude.

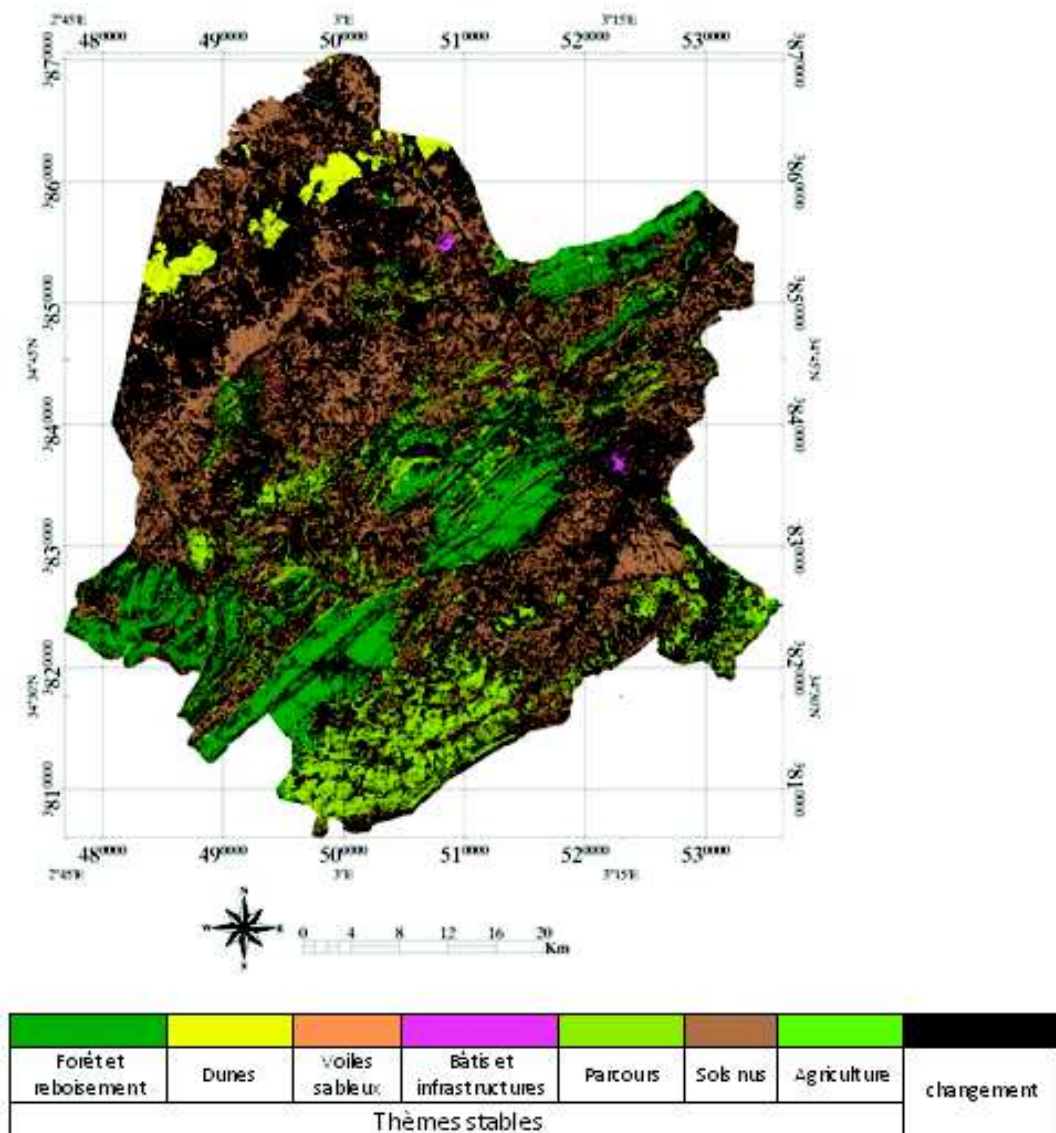
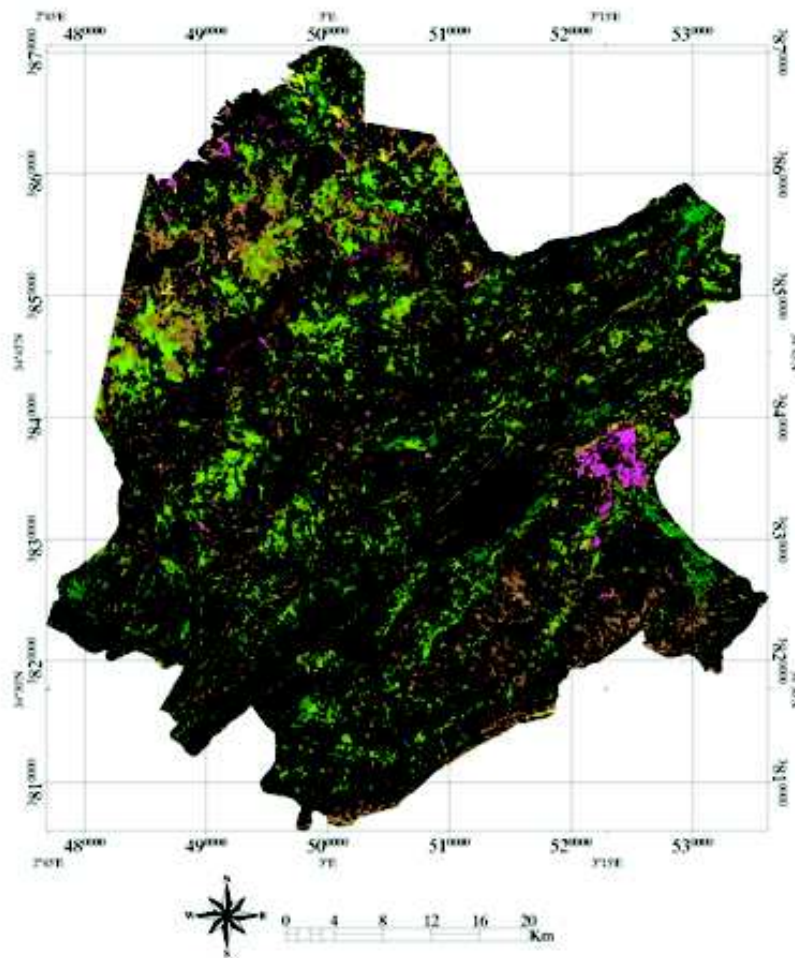


Figure n°50 : Carte des changements avec la nouvelle occupation du sol

La figure n° 51 présente le changement spatial au sein de notre zone d'étude (ton en noir), et regroupe tout les classes d'occupation du sol.



Forêt et reboisement	Dunes	Voies sableux	Bâti et infrastructures	Parcours	Sols nus	Agriculture	Classes stables
Nouvelle occupation du sol par thème							

Figure n°51 : carte des changements avec la nouvelle occupation du sol

La figure n° 51 présente l'ensemble des classes qui n'ont pas subi des changements (en ton noir) et la répartition spatiale des nouvelles occupations du sol par classe.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, les images de télédétection constituent une information homogène pour l'établissement d'une cartographie de l'occupation des sols (GIRARD et GIRARD, 1999), l'étude que nous avons menée nous a permis d'utiliser de deux images de TM Landsat prises de deux dates différentes, afin d'étudier et d'analyser la dynamique spatiotemporelle et l'occupation d'échelle dans le sous bassin versant d'Oued El Hadjia-Djelfa qui présente une diversité biophysique et socio-économique importante, avec sa superficie de 2297 Km², et sa situation de transition entre le nord et le sud de l'Atlas saharien.

Dans notre étude nous avons fixé un objectif principal de détecter les changements et de voir la tendance de dynamique de différentes unités constituant notre zone d'étude par l'utilisation d'une méthode de détection de changement basée sur la comparaison de post classification de deux images prises en 1987 et 2009. Dans cette méthode de post classification nous avons procédé à une transformation des bandes spectrales de Landsat en néo canaux (ACP, NDVI) pour éviter la redondance d'information portée sur les bandes spectrales TM, et de réduire les effets d'éclairement ou de pente sur la réflectance des couverts végétaux.

Par l'application de cette méthode d'étude de changement d'occupation des sols, nous avons pu faire ressortir deux types d'information:

1. Un bilan sur la nouvelle occupation des sols
2. Un bilan sur la dynamique de changement au sein de chaque classe grâce à l'outil de la matrice de changement,

Pour les deux bilans nous avons trouvé que les causes principales de changement sont le facteur naturel et le facteur anthropique.

La combinaison des facteurs naturels et anthropiques, conjuguée aux fluctuations des précipitations, est à l'origine de l'occupation des sols par des formations naturelles. L'étude diachronique à travers la cartographie des constitués une démarche efficace permettant une évaluation rapide à travers une cartographie mettant en relief la dynamique de l'occupation des sols et ses répercussions sur le couvert végétal. Les supports numériques (images satellites) anciens et récents, combinés aux outils de la télédétection, sont d'une grande utilité dans cette démarche. L'évaluation correcte de ces changements est fondamentale dans l'élaboration et la mise en place de politiques de protection et de restauration de ces écosystèmes menacés par la pression anthropozogène et les fluctuations climatiques.

Références bibliographiques

- ABDELLAOUI A. 1996**- Changements globaux et désertification, précis de télédétection volume 02 AUPELF_UREF pp . 535-569.
- ABOURA R., (2006)**- Comparaison phyto-écologique des atriplexaies situées au nord et sud de Tlemcen. Thèse. magis. Université de Tlemcen; 210p.
- AIT BENAMER A., 1996** - Elaboration d'un système d'information géographique (S.I.G) pour une analyse de l'évolution de la végétation steppique dans la région de Djelfa. Thèse Ing en Foresterie. I.N.A Alger ; 100 p.
- AMOUR Z.,2008** - Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol en zone aride (Cas du Sud du Hodna) .
- A.Q.T., 2008** - la télédétection au secondaire c'est possible Décembre 2008, volume 24 n° 02 page 10
- BARDINET C. 1994** - "Télédétection de l'aridité et de l'environnement en Afrique du Sahara au Sahel". Revue de géomorphologie dynamique, Paris, t. XLIII, no 1, pp. 09-22.
- BENSAID A. et SMAHI Z. 2003** - Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques. Revue Télédétection, n° 5, Vol. 3. ISSN : 1028-7736.
- B.N.E.F., 1983**- A .Etude d'aménagement forestier sur 32000ha de pin d'Alep wilaya de Djelfa étude de milieu Sénalba Chergui superficie 20.000h.
- BELGAT S., 2001** - Le littoral Algérien: Climatologie, géopédologie, syntaxonomie, édaphologie et relation sol –végétation. Thèse. Doct. Sci. Agr. I.N.A. El Harrach. 261p.
- BENTOUATI A.,2006** - Croissance productivité et aménagement des forêt de pin d'Alep (pinus halipensis,M) du massif de Ouled yagoub(khenchela- Aures)TH doct Alger 116 p.
- BONN, F., 1996** - Précis de Télédétection, Volume 2 - Applications thématiques. Presses de l'Université du Québec/AUPELF, 633 p.
- BONN.F, ROCHON.G, 1992** - Précis de télédétection: Principe et méthodes. Presse universitaire du Quebec/AUPELF. Volume1, 485 pages.
- BOUSSOUAR N., 2004** - Apport de la télédétection et les systèmes d'information géographique pour la cartographie des indicateurs de l'environnement application de la wilaya d'Oran ing. Centre national des techniques spatiales d'Oran. P.p. 46-47.
- BRUCE C. M. et HILBERT D. W. (2006)**- Pre-processing Methodology for Application to Landsat TM/ETM+ Imagery of the Wet Tropics, Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management p. 38
- C.C.T., 2002**- Centre Canadien de Télédétection : Notion fondamentales de télédétection.

- CALOZ, R. et Collet, C. (2001)** - Précis de Télédétection, vol. 3 : Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université du Québec et Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy, 386 p.
- CAZAUX J.K., 1990** - Les systèmes spatiaux d'observation de la terre, Options Méditerranéennes Série A N° 4, 1990 ; pp 31-38.
- CHABIRA C., 2007**- Apport de l'outil SIG télédétection pour la détection de l'estentionurbaine(wilaya de Djelfa). Mém. Ing. Centre universitaire de Djelfa, pp18-33 .
- CHALIFOUX STEPHANE, NASTEV MIROSLAV, LAMONTAGNE CHARLES, LATIFOVIC RASIM, FERNANDES RICHARD, (2006)** - Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire Landsat en hydrogéologie, Télédétection, 2006, Vol. 6, n° 1, p. 9-17
- CHAUMONT, M., PAQUIN, C., 1971** - Carte pluviométrique de l'Algérie du nord à l'échelle 1/500 000^e, 4 feuilles + notice. *Soc. Hist. Nat. Afrique du nord*, Alger, 25p.
- CHIKHAOUI1 M., BONN F., MERZOUK A., LACAZE B. et MEJJATI A. M. (2007)** : Cartographie de la dégradation des sols à l'aide des approches du spectral angle mapper et des indices spectraux en utilisant des données aster, *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 343-357
- COMITAS., 1988** - «Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale», bulletin de la Société Française de photogrammétrie et télédétection , 112 p. 1-63.
- COQUE R., (1962)** – La Tunisie présaharienne. Etude géomorphologique. A. Colin, Paris, 476 p.
- CORNET G., 1952** – Etude hydrogéologiques du bassin de Zahrez Gharbi et Chergui. XIX^{eme} Congr. Geol. Int., Alger.
- DAJOZ R., 1971**- Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.9.
- DEROUCHE H., 2006**- Les dépérissements du peuplement forestier dans la (région de Djelfa). Mém. Magister Centre universitaire de Djelfa, pp40-43.
- DESHAYES M et MAUREL.P., 1990** - L'mage spatial et son contenu, Options Méditerranéennes Série A N° 4, 1990, pp. 11-20.
- DESJARDINS R., 2000** - La télédétection perspective analytique, Editions Estem RUPELF-UPEF Paris, 226 p.
- DJEBAILI S., 1984** - Steppe algérienne: phytosociologie et écologie O.P.U, Alger, 177p.
- DUMOUCHEL L. 2003** - Détection de l'évolution des superficies forestières en montérégie entre juin 1999 et août 2002 à partir d'images satellitaires Landsat-tm ; l'Agence forestière de la Montérégie (AFM) 29 p.
- FANG, H., Wu, B., LIU, H. et HUANG, X. (1998)** - Using NOAA AVHRR and Landsat TM to estimate rice area year-by-year. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 19 pp. 521-525.
- FURBY S. L., CAMPBELL N. A. (2001)**- Calibrating images from different dates to 'like-value' digital counts. *Remote sensing of Environment*, 77, 186-196.

- GERARD G., 1999** - Climatologie des environnements. Cours et exercices corrigés. Ed. Dunod, Paris, 482 p.
- GIRARD M. C. et GIRARD C. M., (1999)** - Traitement des données de télédétection. Ed. Dunod. Paris, 511 p.
- GOLAY F., 2007** - Télédétection et images numérique. Cours., Laboratoire de systèmes d'information Géographique (SIG). p 12.
- GREEN K., KEMPKE D., LACKEY, L. , 1994** - Using remote sensing to detect and monitor land cover and land user change, photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 60, n° 3 pp. 331-337
- HALITIME A. 1988** - Sols des régions arides d'Algérie , OPU Alger , 384 p.
- HALL, C. A. S., TIAN, H., QI, Y., PONTIUS, G., and CORNELL, J., 1995** - Modeling spatial and temporal patterns of tropical land use change. Journal of Biogeography, 22, 753–757.
- HOJA D., SCHNEIDER M., MÜLLER R., LEHNER M., REINARTZ P. 2008** - Comparison of orthorectification methods suitable for rapid mapping using direct georeferencing and rpc for optical satellite data (2008) The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing. P.p. 1617-1624
- JENSEN, J. R., 1996** - Introductory digital image processing - A remote sensing perspective, second edition. Prentice Hall, Upper Saddle River (N.J.), 316 p.
- JENSEN, J.R., (2004)** - Introductory digital image processing – a remote sensing perspective. 3e edition, Prentice Hall, Upper Saddle River (N.J.), 316 p.
- JENSEN, J.R., (2005)** - Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 3rd Ed., 526 pages.
- JULIAN C., BARB ALATA, ION IONESCU et IOAN NOAJE (1997)** - Étude de l'évolution du milieu naturel du delta du Danube, Télédétection des milieux urbains et périurbains. Ed. Aupelf-UREF. 1997, p.337-346
- KADIK B., 1985** - Etudes des facteurs régissant la régénération naturelle du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*) dans le massif de Sénalba (Atlas saharien). Ann. Recherche Forestière. Ed. INRF. Volume 1. Pp 64-83.
- HAMIDI M. (2000)**- Contribution à l'étude de l'impact des plantations d'*Atriplex canescens* sur la diversité biologique des écosystèmes steppiques dans la région de Zahrez (Zaafrane – Djelfa), Mém. Ing. Centre universitaire de Djelfa, 105p.
- HOANG K. H., BERNIER M. et VILLENEUVE J. B. (2008)** - les Changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière Cau (Viêt-Nam). Essai sur une approche diachronique Revue Télédétection, 2008, vol. 8, n° 4, p. 227-236.
- LE HOUEROU H. N, 1969** -La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc). Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie, 42, (5), 640 p.+Annexes
- LU D., MAUSEL P., BRONDIZIO E., MORAN E., 2004** - Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 25 (12) : 2365-2407.

- LUNETTA, R.S. et ELVIDGE, C.D. (1998)** - Remote sensing change detection, environmental monitoring methods and applications. Ann Arbor Press, Ann Arbor (Michigan) 318 p
- MAMA, V. J. et OLOUKOI, J. (2003)** - Evaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol, *Télétection*, 2003, vol. 3, n° 5, p. 429–441.
- MANIERE (R.), 1987** - Télétection spatiale et aéroportée et géocodées sur l'environnement: principes généraux et étude de quelques domaines d'applications. Thèse doct. d'État, Univ. Aix-Marseille III systèmes d'informations vol. 26, no 4, p. 349-362.
- MAS, J.F. (2000)** - Une revue des méthodes et des techniques de télétection du changement. *Journal canadien de télétection*, vol. 26, no 4, p. 349-362.
- MAUREL P., 2002** - Initiation à la télétection – UMR Cemagref / ENGREF PP 5-39
- MOISON y., BERNIER M. et DUBOIS J-M. M. 1999** - Détection des changements dans une série d'images ERS-1 multitudes à l'aide de l'analyse en composante principale, *Int. J. remote sensing*, Vol. 20, no. 6, 1149-1167.
- OLDACHE E.H., 1988** - Contribution à l'étude de la fixation des dunes dans la région d'El-Mesrane (W. Djelfa) et Bousaada (W. M'sila). Thèse de magistère. Agr., I.N.A, Alger, 169p.
- POUCHIN T., 2001 a** - Elaboration d'un observatoire paysager, Application à l'estuaire de Seine. Centre Interdisciplinaire de Recherche en Transports et Affaires Internationales, Le Havre, Thèse de Doctorat, 316 p.
- POUCHIN T., 2001 b** - Cours de télétection. Université Le havre. France. p 44.
- POUGET M., 1971** - Etude agro-pédologique du bassin du Zahrez Gharbi. Feuille 1/100000 rocher de sel. Secrétariat d'état de l'hydraulique, Alger 160p.
- POUGET M., 1980** - les relations sol-végétation dans les steppes du sud algérois. *Trav et dov. OSTROM*, n° 116 Paris, 555p
- RAMADE F., 1984** -Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. Ed. Graw-Hill, Paris, 397p.
- RICHARDS, J. A., 1986** - "Remote Sensing Digital Image Analysis". Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, pp. 206-225.
- ROGAN J., et CHEN D. M. (2004)** - Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. Elsevier, *Progress in Planning* 61 page 301–325
- ROUSE, J.W., 1974** - Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, pp. 371
- SCANVIC, j. Y., 1983** - Utilisation de la télétection dans la science de la terre. Manuels et méthodes, Bureau de recherches géologique et minières, Orléans, France.
- SCHOTT J. R., SALVAGGIO C. and VOLCHOK W. J., 1988** - Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. *Remote Sensing of Environment*, 26(1), pp. 1-16

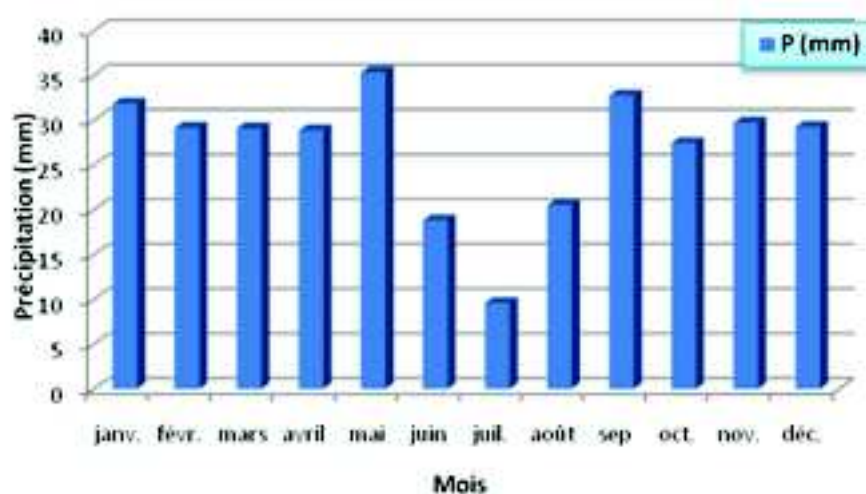
- SEGUIS L. et PUECH C. (1997):** Méthode de détermination des invariants radiométriques adaptée au paysage semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. INT. J. Remote sensing, vol. 18, no. 2, 255-271
- SINGH, A., 1989,** Digital change detection techniques using remotely sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10, 989-1003.
- TOURINO SOTO I., 2005** - Mise en relation de la cartographie du rendement avec la distribution spatiale de l'état de surface du sol observée par télédétection. Application dans un contexte d'agriculture de précision. Docteur De L'institut National Polytechnique De Toulouse, p 70.
- TOWNSHEND, J.R.G., JUSTICE , C.O., GURNEY, C., and MCMANUS, J. 1992** - The impact of misregistration on change detection. IEEE transactions on geosciences and remote sensing, 30 (5); 1054-1060
- TRAYSSAC J., 1980** - Etude géomorphologique du bassin versant de l'oued Djelfa-Mellah: versant nord des monts des ouelds nails (Algerie). Thèse doctorat de 3^{eme} cycle, France, 217 p.
- VOCANI A., KARNNEILI A. et SVORAY 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, 2005; pp 239 – 250.
- WU W.; LAMBIN, E. F; et COUREL, M.F., 2002** - Land use and cover change detection and modeling for North Ningxia, China, Proceedings of Map Asia 2002, Bangkok, Thailand, Aug. 6-9.
- YUAN D., et ELVIDGE C. D., (1996).**“Comparison of relative radiometric normalization techniques.” ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 51, No. 3, pp. 117-126.
- YUAN F., SAWAYA K.E., LOEFFELHOLZ B.C, BAUER M.E., 2005** - Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. Remote Sensing of Environment, 98 (2-3) : 317-328.

Références électroniques

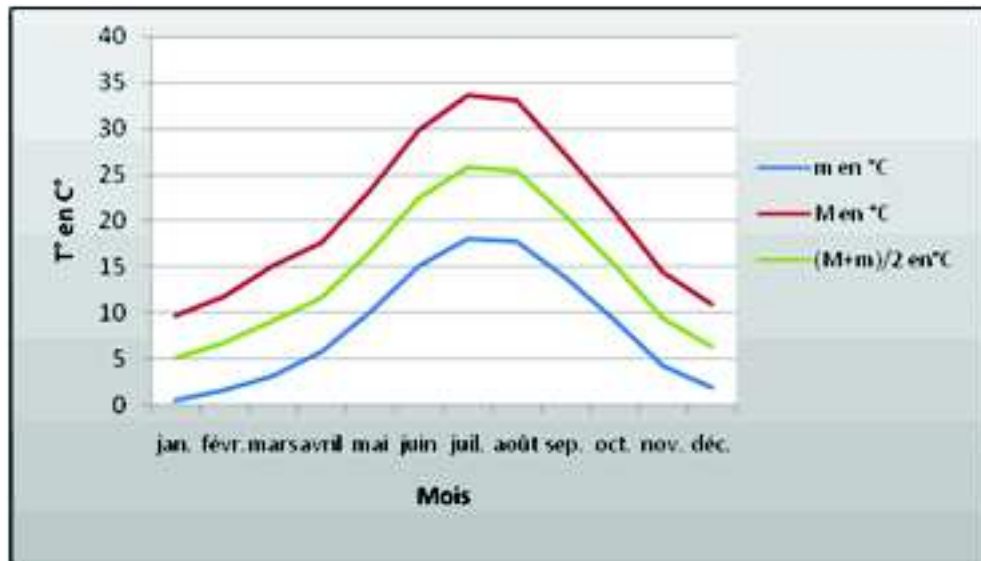
- USGS NASA.** Landsat mission [En ligne] <http://landsat.usgs.gov> (consulté le 12 novembre 2011).
- CNES SPOT5.** centre national d'étude spatiales [En ligne] <http://spot5.cnes.fr/gb/satellite/satellite.htm> (consulté le 12 novembre 2011).
- LANDSAT.** Landsat imagery [En ligne] <http://glcf.umd.edu/data/landsat/> (consulté le 05/03/2011).

ANNEXES

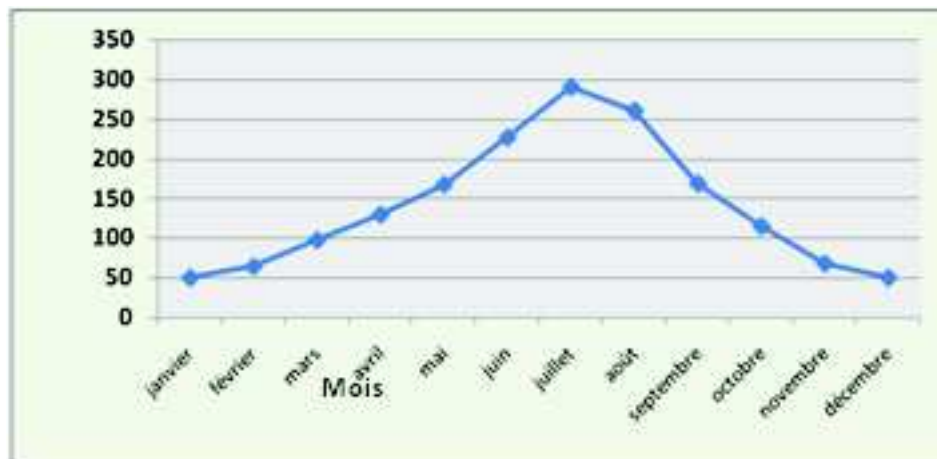
Annexe n° 01 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles sur période de 1975-2009 pour la station de Djelfa



Annexe n° 02 : Variation des températures mensuelles minimales, maximales et moyennes durant la période (1975- 2009) de la station de Djelfa



Annexe n° 03 : Evaporation de la période (1975-2006).



Annexe n° 04: Liste des points d'appui pour la scène 195/36 de l'année 1987

Image to Image GCP List

	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Errs X	Errs Y	RM
#10+	3474.75	4723.75	3204.25	4684.25	3204.3237	4684.1053	0.0737	-0.1447	0.16
#11+	4059.50	4014.25	4589.00	3975.25	4589.1554	3974.7541	0.1554	-0.4969	0.51
#12+	5209.00	2468.00	5019.00	2428.25	5019.0231	2428.3145	0.0231	0.0645	0.06
#13+	5368.25	2581.75	5096.25	2542.00	5096.2489	2542.0953	-0.0011	0.0953	0.09
#14+	5173.50	3094.00	4903.50	3054.50	4903.3680	3054.4037	-0.1320	-0.0963	0.16
#15+	3706.75	3263.00	3436.75	3223.00	3436.5585	3223.1995	-0.1915	0.1995	0.29
#16+	3559.00	2994.00	3289.00	2954.00	3288.8503	2954.1401	-0.1497	0.1401	0.20
#17+	3612.00	3232.00	3341.75	3192.00	3341.8124	3192.1803	0.0624	0.1803	0.19
#18+	4930.00	3079.00	4660.00	3039.00	4660.0933	3039.2001	0.0933	0.2001	0.22
#19+	5004.00	2042.00	4814.25	2002.50	4814.1126	2002.2144	-0.1374	-0.2056	0.31
#20+	1555.00	2957.00	1284.75	2917.00	1284.8013	2916.8304	0.0513	-0.1696	0.17
#21+	2966.00	2197.00	2696.00	2157.00	2695.9425	2156.9531	-0.0575	-0.0469	0.07
#22+	2892.25	2189.50	2622.25	2129.50	2622.1914	2129.4288	-0.0596	-0.0602	0.09
#23+	1629.50	4875.25	1358.75	4835.25	1358.1653	4835.2679	0.4153	0.0179	0.41
#24+	2284.75	1534.00	2014.50	1493.50	2014.7175	1493.7904	0.2175	0.2904	0.36
#25+	2261.50	2054.50	1991.00	2014.25	1991.4124	2014.3425	0.4124	0.0925	0.42
#26+	3286.75	1767.00	2996.75	1727.00	2996.7755	1726.3381	0.0255	-0.0609	0.09
#27+	4381.75	4696.00	4111.25	4656.50	4111.2788	4656.5238	0.0288	0.0238	0.03
#28+	4261.00	2183.00	3991.25	2143.50	3991.0270	2143.1266	-0.2230	-0.3734	0.43
#29+	2948.50	3445.25	2678.50	3405.00	2678.2742	3405.3511	-0.2258	0.3511	0.41
#30+	2413.75	3178.75	2143.25	3138.50	2143.5507	3138.7351	0.3007	0.2951	0.38
#31+	1107.75	4467.75	917.50	4427.75	917.4639	4427.6488	-0.0361	-0.1012	0.10
#32+	1143.00	4163.00	873.00	4123.00	872.7388	4122.8658	-0.2692	-0.1342	0.38
#33+	1492.50	2973.25	1222.50	2933.25	1222.2985	2933.0723	-0.2015	-0.1777	0.26
#34+	1274.00	3642.25	1004.00	3602.00	1003.8110	3602.0111	-0.1890	0.0111	0.18
#35+	3109.00	2604.00	2839.00	2564.00	2838.8939	2564.0229	-0.1061	0.0229	0.10
#36+	1836.00	1950.25	1566.00	1910.25	1565.8912	1910.0261	-0.1088	-0.2239	0.24
#37+	4037.50	3777.00	3787.00	3737.00	3787.2177	3737.3260	0.2177	0.3260	0.35
#38+	4495.75	2814.75	4226.00	2774.75	4225.6814	2775.0057	-0.3286	0.2957	0.42
#39+	3429.25	5319.25	3158.75	5279.75	3158.7330	5279.6746	-0.0170	-0.0754	0.07
#40+	4904.00	1492.00	4714.00	1452.25	4714.2318	1452.1106	0.2318	-0.1394	0.23
#41+	2684.25	1118.75	2414.25	1078.75	2414.3857	1078.5412	0.0557	-0.2088	0.21
#42+	1744.00	1574.25	1474.00	1534.00	1473.9134	1533.9786	-0.0866	-0.0214	0.08

Goto On/Off Delete Update Hide List