

---

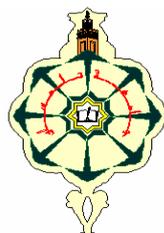
---

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

**UNIVERSITE « ABOUBAKR BEL KAID » DE TLEMCEM**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE  
L'UNIVERS**

**DEPARTEMENT D'AGROFORESTERIE**



*Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de :*

**DOCTORAT**

**SPECIALITE ECOLOGIE FORESTIERE**

**Par:**

SI TAYEB Tayeb

**Analyse de la dynamique de l'occupation du sol et  
son impact sur les espaces naturels du Nord-Ouest  
Algérien**

Soutenu le : 18 /09/2011

Devant le jury :

<b>Mr N. LETREUCH-BELAROUCI</b>	Professeur, Université de Tlemcen	<b>Président</b>
<b>Mr K. BENABDELI</b>	Professeur, Université de Mascara	<b>Rapporteur</b>
<b>Mr R .T. BOUHRAOUA</b>	Professeur, Université de Tlemcen	<b>Examineur</b>
<b>Mr M. GHALI</b>	Professeur, Université de Saida	<b>Examineur</b>
<b>Mr A. ELHAITOUM</b>	Maître de Conférence (A), Université de Tlemcen	<b>Examineur</b>
<b>Mr A. LAABANI</b>	Maître de Conférence (A), Universitaire de Saida	<b>Examineur</b>

**Année universitaire 2010 - 2011**

---

---

## Résumé

Les changements d'occupation et d'utilisation du sol résultent d'interactions complexes entre systèmes sociaux et systèmes environnementaux qui évoluent dans le temps. Tandis que les phénomènes climatiques et biophysiques ont été pendant longtemps les principaux moteurs des transformations des surfaces terrestres, l'homme est aujourd'hui à l'origine de la majeure partie des transformations qui affectent les écosystèmes terrestres.

L'objectif principal de cette thèse est de montrer l'utilisation des données de télédétection pour la caractérisation et le suivi des changements d'occupation du sol en zone méditerranéenne semi-aride. Donc, trois espaces assez représentatifs des territoires algériens ont été retenus, l'étude de la dynamique spatio-temporelle des formations forestières à l'échelle régionale en Oranie, les changements de l'occupation du sol d'une zone agro-forestière représentatif d'un mode d'utilisation du sol dans les monts de Beni-chougrane à l'échelle locale et un exemple de changement de l'occupation des sol dans la plaine de la Macta.

La télédétection permet une vision globale des phénomènes, est le moyen d'étude privilégié pour contribuer à assurer une meilleure gestion des écosystèmes. Il permet de mettre en évidence une meilleure connaissance sur l'état actuelle et antérieur de l'environnement, une appréciation de la vitesse, du sens et de l'intensité des impacts humains sur le milieu naturel.

Les résultats obtenus ont montré que tous les espaces ont connus des modifications structurales dans ses globalités. Une régression intensive de la végétation naturelle ligneuse imposée par les incendies et de l'utilisation irrationnelle des ressources, des extensions urbaines assez remarquable surtout sur les zones agricoles. Ce qui suggère une intervention immédiate pour une politique reposant sur des priorités relatives à la préservation, la protection, la mise en valeur et l'utilisation rationnelle des espaces.

**Mots clés:** occupation du sol, dynamique spatio-temporelle, télédétection, NDVI, Oranie, Macta

## Summary

Land cover and land use changes is the result from complex interactions between social systems and environmental systems which evolve/move in time. While the climatic and biophysics phenomena were for a long time the principal engines of the terrestrial area transformations, the man is today at the origin of the major part of the transformations which affect the terrestrial ecosystems.

The principal objective of this thesis is to show the use of the remote sensing data for the characterization and the land use change monitoring in Mediterranean semi-arid area. Therefore, three spaces rather representative of the Algerian territories were retained, the study of the forest spatial-temporal dynamics on a regional scale in Oranie, the land use changes in agro-forest zone representative of a land use mode in the Beni-chougrane mounts on a local scale and an example of land cover change in the plain of Macta.

The remote sensing allows a global vision of the phenomena, is the means of study privileges to contribute to ensure a better ecosystems management. It makes it possible to highlight a better knowledge on the state current and former of the environment, an appreciation speed, direction and intensity of the human impacts on the natural environment.

The results obtained showed that all spaces knew structural modifications as a whole. An intensive regression of the woody natural vegetation imposed by the fires and of the irrational use of the resources, the urban extensions rather remarkable especially on the agricultural area. What suggests an immediate intervention for a policy resting on priorities relating to safeguarding, protection, the development and the rational use of spaces.

**Key words:** Land cover/use, patio-temporal dynamic, remote sensing, NDVI, Oranie, Macta.

## Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude au professeur Benabdeli Khéloufi, qui à bien voulu assurer mon encadrement, avec beaucoup de compétence, conseils, disponibilité, et les aides qui m'ont permis de prendre les bonnes directions.

Mes vifs remerciements à monsieur LETREUCH-BELAROUCI Nourredine professeur de l'université de Tlemcen d'avoir accepté de présider le jury,

Mes remerciements également au professeur HARRACHE Djamel de l'université de Sidi Bel Abbes, au professeur BOUHRAOUA Rachid Tarik et Docteur ELHAILOUM Ahmed de l'université de Tlemcen, au professeur GHALI Merzoug et Docteur LABANI Abderrahman de l'Université de Saida, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements au professeur Dimitris Guossious, directeur de laboratoire de l'espace rural de l'université de Thessalie en Grèce, pour avoir accepté de m'accueillir dans son laboratoire.

Enfin, mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse, mes remerciements les plus chaleureux à mes parents et à tous les membres de ma famille.

## Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre 01: Changement d'occupation du sol et télédétection</b> .....	5
1. Problématique du suivi de la dynamique de l'occupation du sol .....	5
1.1 Occupation et utilisation du sol .....	5
1.2 Le suivi de l'occupation et de l'utilisation du sol.....	7
1.2.1 Le questionnement lié à la détermination des dynamiques d'occupation et de l'utilisation des sols .....	9
2. Méthode de caractérisation et de détection des changements par télédétection.....	11
2.1 Principes de la télédétection .....	12
2.2 Choix des capteurs et des niveaux d'analyse.....	13
2.2.1 La série LANDSAT .....	14
2.2.2 Le système ASTER.....	15
2.3 Les indices de végétation.....	16
2.4 Traitement et interprétation des données de télédétection images .....	17
2.4.1 Les corrections radiométriques.....	18
2.4.2 Les corrections géométriques .....	18
2.4.3 La classification non supervisée .....	19
2.4.4 La classification supervisée .....	19
3 Méthodes de caractérisation des changements .....	20
3.1 L'approche analogique .....	20
3.2 L'approche numérique .....	21
4 Méthodes de détection des changements.....	22
4.1 Méthodes qualitatifs.....	23
4.1.1 La soustraction d'images .....	23
4.1.2 La division d'images.....	23
4.1.3 Les vecteurs de changement .....	24
4.1.4 Les compositions colorées de canaux bruts.....	24
4.1.5 Les combinaisons de néo-canaux multidates.....	25
4.2 Méthodes quantitatifs.....	25
4.2.1 Les classifications synchronisées ou conjointes .....	26
4.2.2 Les classifications disjointes ou séparées .....	26
<b>Chapitre 02 : Caractérisation de la zone d'étude</b> .....	28
1- Aspects physique et biotique de l'Oranie .....	28
1.1- Aspects physiques généraux .....	28
1.2. Aspects édaphiques .....	30
1.3. Aspects climatiques .....	31
1.3. Aspects biotiques .....	35
2. La zone montagneuse de Bénichograne.....	39
2.1 Caractéristiques du milieu physique .....	40
2.1.1 La topographie .....	40
2.1.2 Hydrographie .....	43
2.1.3 Géologie.....	43
2.1.4 La lithologie.....	44
2.1.5 Description des formations végétale.....	45

2.2. Cadre climatique .....	47
2.2.1. Les précipitations .....	47
2.2.2. Les températures .....	48
2.2.3. Synthèse climatique .....	48
2.3. Aspects socio-économiques .....	49
2.3.1. Les données démographiques .....	50
2.3.2. L'agriculture .....	50
2.3.3. L'élevage.....	50
3. La zone de plaine de la Macta.....	51
3.1. Situation géographique .....	51
3.2 Topographie .....	54
3.3 Hydrographie .....	56
3.4 Géologie.....	58
3.5 Les origines de la salinité.....	59
3.6 La couverture végétale.....	59
3.6.1 La végétation côtière.....	60
3.6.2 La végétation halophile ou halipèdes.....	60
3.6.3 La végétation hygrophile .....	60
3.7 Climatologie.....	63
3.7.1 Les précipitations .....	63
3.7.2 Les températures .....	65
3.7.3 L'humidité relative .....	67
3.7.4 Les vents .....	68
3.7.5 Synthèse bioclimatique .....	68
3.8 Aspects socio-économiques .....	70

## **Chapitre 03: Dynamique des formations forestières en Oranie ..... 73**

Introduction.....	73
1. Acquisition des données .....	75
1.1 Images satellitaires.....	75
1.2 Le Modèle Numérique de Terrain (MNT).....	76
2. Méthodologies .....	76
2.1 Préparation des images .....	77
2.1.1 Corrections géométriques .....	78
2.1.2 Calibration radiométrique .....	78
2.1.3 Corrections atmosphérique .....	80
2.1.4 Mosaïque.....	80
2.2. Les indices de végétation.....	81
2.3. La segmentation.....	81
2.4 Le masque .....	82
2.5 Missions de terrain.....	83
2.6 Détection des changements.....	83
3. Résultats obtenus .....	84
3.1 Interprétation visuelle .....	84
3.2 Répartition de l'espace forestier entre 1984 et 2009.....	87
3.3. Facteurs de perturbation .....	98
4- Utilité de la télédétection à travers les résultats obtenus.....	100

<b>Chapitre 04 : Détection des changements de l'occupation du sol en zone Agroforestière .....</b>	<b>101</b>
1. Elaboration des cartes d'occupation du sol .....	101
1.1 La composition colorée.....	101
1.2 La vérité de terrain.....	102
1.3 La validation .....	103
1.3.2 Estimation de la qualité de classification.....	103
1.3.3 Matrice de confusion .....	103
1.3.4 Coefficient KAPPA .....	105
2. Cartographie de l'évolution d'occupation du sol .....	108
2.1.Occupation du sol en 1984 .....	108
2.2. Occupation du sol en 2002 .....	108
2.3. Etat de changements entre 1984 et 2002 .....	109
2.4 Le changement par classe .....	109
2.5. Exploitation et analyse des résultats obtenus.....	114
3.La dynamique de l'occupation du sol et les facteurs du milieu .....	115
Conclusion .....	116

<b>Chapitre 05: Dynamique de l'occupation du sol dans la plaine de la Macta.....</b>	<b>117</b>
Introduction.....	117
1. Méthodologie.....	118
1.1 Cartographie de l'occupation du sol de la Macta .....	118
1.1.1 Préparation des images ASTER.....	120
1.1.2 Traitement numérique.....	121
1.2 Les observations de terrain .....	123
1.2.1 Traitement des relevées .....	124
1.3 Détections des changements .....	125
1.3.1 Les traitements préliminaires.....	125
1.3.2 Méthodes de détection des changements.....	126
2. Résultats obtenus et interprétation.....	127
2.1. Elaboration de la carte de végétation.....	127
2.1.1 Réduction des données de télédétection .....	127
2.1.2 La composition colorée et l'interprétation visuelle .....	131
2.1.3 La vérité de terrain.....	131
2.1.4 La classification non supervisée .....	132
2.1.5 Validation de l'interprétation par les données de terrain.....	134
2.1.5.1 La classification supervisée .....	134
2.1.5.2 Lancement de la classification.....	135
2.1.5.3 Traitement d'amélioration ou post-classification .....	136
2.1.5.4 Estimation de qualité de classification .....	136
3. Cartographie de l'évolution de couvert végétal de la plaine de la Macta.....	140
3.1 Analyse en composantes principales (ACP).....	140
3.2 Résultats de comparaison numérique des images NDVI pixel à pixel.....	143
3.2.1 L'analyse en vecteurs de changements.....	143
3.2.2 Interprétation.....	145
3.3 L'évolution de la végétation entre 1958 et 2001 .....	146

3.3.1 Occupation du sol en 1958 .....	148
3.3.2 Etat actuel d'occupation du sol .....	149
4. La dynamique de végétation et les facteurs du milieu.....	150
4.1 Les facteurs naturels .....	150
4.2 Les facteurs anthropiques .....	150
Conclusion .....	153

## **Chapitre 06: Proposition d'actions d'aménagement**

1. Les objectifs à atteindre .....	154
2- Identification des actions à entreprendre.....	154
3- Actions urgentes pour la durabilité de l'écosystème.....	158
Conclusion .....	159

## **Chapitre 07: Dynamique de l'espace Urbain.....**

Introduction.....	160
1. Démarche méthodologique.....	161
2. L'évolution de l'espace urbain.....	162
3. La dynamique urbaine depuis l'indépendance .....	164
4. Les conséquences du phénomène d'urbanisation .....	169
4.1 Une tendance lourde à la littoralisation .....	169
4.2 Une urbanisation incontrôlée.....	171
4.3 La dégradation des ressources naturelles.....	172
4.3.1 La dégradation continue des ressources en sols .....	172
4.3.2 La dégradation des ressources en eau.....	172
4.3.3 La dégradation des zones littorales et des écosystèmes.....	173
4.3.4 Les espaces verts.....	173
4.4 Des services publics défaillants .....	173
Conclusion .....	174

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>175</b>
---------------------------------	------------

<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>178</b>
---	------------

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Annexes**

## **Introduction générale**

La connaissance de l'évolution de l'utilisation et de l'occupation des sols représente un enjeu important pour tout développement durable des espaces qu'ils soient naturels ou modifiés. Toute utilisation de sols non planifiée et non contrôlée peut facilement encourager et par la suite accélérer un processus de dégradation et se traduire par des conséquences profondes sur les aspects tant socioéconomiques qu'environnementaux.

En Algérie, la mise en place depuis le début des années 1960 de programmes pour relancer le secteur agricole, le secteur forestier et l'aménagement urbain se sont traduits par des modes d'usage des sols et des pratiques dont certains peuvent se traduire spatialement par des altérations d'espaces.

Dans ce contexte, la connaissance des changements spatio-temporels de l'occupation des sols constitue un élément-clé dans une démarche de compréhension du fonctionnement des espaces. En particulier, la dynamique des formations végétales naturelles dans une région semi-aride. La définition de modes des changements de l'occupation des sols présente ainsi un intérêt dans le cadre des programmes de restauration des écosystèmes fragiles et dégradé.

A ce sujet Benabdeli (1996) notait : « La gestion des territoires en Algérie reste assujettie à des considérations politiques avant d'être technique. L'aménagement du territoire s'est fait à travers les différents gouvernements et ministères selon des concepts et des orientations sujets à discussion. En absence d'une politique claire et à long terme basée sur une régionalisation maîtrisable il est difficile de parler de développement. Il aurait fallu dégager une approche globale axée sur une stratégie reposant sur des aspects écologiques, géographiques et paysagers. L'économie du territoire est un concept d'actualité dans notre pays alors qu'il date des années 1975 dans d'autres pays. La reconquête rationnelle du territoire demeure encore une préoccupation majeure de nos responsables sans en définir les bases élémentaires. Elle passe nécessairement par une connaissance et la maîtrise du fonctionnement et des interactions des espaces et du milieu naturel ou perturbé ».

Long (1975) souligne à ce sujet : « L'analyse des systèmes d'exploitation du sol constitue une base d'approche et de compréhension de l'utilisation de l'espace. La perception de l'espace à plusieurs niveaux spatiaux doit permettre à mieux appréhender les aptitudes écologiques naturelles et même artificielles des milieux ».

Tous les spécialistes s'accordent à dire que les contraintes d'utilisation des espaces en Algérie peuvent se résumer en 5 points :

- (1) Une organisation en reposant sur aucune approche géographique,
- (2) Une mutation constante de l'espace rural et agricole,
- (3) Une mauvaise utilisation des ressources naturelles,
- (4) Une absence de politique de gestion des espaces,

(5) Une méconnaissance de l'évolution des différents espaces

L'organisation spatiale de l'Algérie a tout le temps été imposée par des considérations politiques et surtout historiques où les aménagements réalisés se sont imposés aux divers espaces. "L'espace physique est le support sur lequel s'inscrivent toutes les actions de la société"; (Cote, 1983). Benabdeli (1996) précise dans ce domaine : « Quand cet espace vient à ne pas être connu convenablement alors toutes les dérives et les erreurs souvent irréparables peuvent être commises ». Le territoire par définition est une globalité qui offre des contraintes et des potentialités, l'intelligence de l'homme se mesure à la qualité de ses interventions et des choix de l'occupation de l'espace qu'il retient et de la manière dont il les exécute.

Dans notre pays les activités humaines ont façonné les espaces et imprimé un découpage basé essentiellement sur la production. Cette structuration anthropique ne prend pas en charge les potentialités naturelles et une classification des espaces selon leur productivité ou intérêt seulement économique, fautive en découle. La facilité d'investissement et d'utilisation de l'espace pour une valorisation économique surtout a été l'unique source de la politique en la matière d'aménagement du territoire.

L'organisation spatiale s'est basée sur des unités morpho-structurales et bioclimatiques faisant abstraction de l'entité humaine qui est cependant déterminante. Le résultat de cette approche se caractérise par "...la non concordance entre certains traits de l'espace actuel et la société qu'il porte". (Cote, 1983). L'occupation du sol est en permanence en inadéquation avec les caractéristiques biophysiques du milieu engendrant une lutte permanente entre biotope et biocénose. L'unité reposant sur les paramètres physiques, biologiques et humains doit constituer la base du découpage du territoire qui définit l'organisation spatiale.

La diversité des paysages imposée par des facteurs naturels tant physiques que bioclimatiques appelle à une classification en fonction de certains critères. Ces derniers seront déterminés par les objectifs fixés et l'utilisation du paysage, la classification qui en découle est déterminante et joue un rôle dans l'aménagement du territoire. La hiérarchisation permet de comprendre le fonctionnement et la composition des espaces avec leur impact sur les activités humaines et l'utilisation qui en peut être faite.

Le rôle que joue chaque espace dans l'aménagement des territoires permet cette classification qui concerne essentiellement les espaces suivants:

- espaces naturels (forestiers, steppiques, marins, )
- espaces semi-naturelles (agricole, rural)
- espaces urbains (villes, routes, aéroports, industries)

Dans le but de cerner ces aspects de gestion durable des espaces, le suivi du changement de l'occupation des sols est effectué de plus en plus souvent à partir de données de télédétection. Des images d'une précision kilométrique, sont utilisées afin de réaliser des cartographies à l'échelle régionale (Dubreuil et al., 2004). Elles permettent au mieux de déterminer des îlots parcellaires sans couvert végétal, dont les dynamiques spatio-temporelles doivent être validées par des études effectuées à une échelle plus fine : les données à haute résolution de type Landsat TM et Aster, d'une précision décimétrique, permettent ainsi de réaliser des cartographies de l'occupation des sols à l'échelle de la parcelle, l'analyse des changements étant produite à l'échelle du bassin versant (Hubert-Moy et al, 2001; DeGrandi et al, 2000). A cette échelle plus locale, correspondant à des bassins versants dont la superficie varie en général d'une dizaine de km<sup>2</sup> à plusieurs centaines de km<sup>2</sup>, les images permettent de réaliser, à l'aide de données d'origine diverses (socio-économiques, fonctionnement physique du milieu...), des analyses multi-temporelles des changements observés, à partir desquelles des scénarii prédictifs peuvent être construits.

Les méthodes de détection des changements se regroupent en deux catégories principales suivant que la finalité recherchée est la visualisation simple des changements et/ou la quantification de leurs impacts. On distingue les traitements qualitatifs et les traitements quantitatifs. L'application de ces traitements est généralement précédée d'opérations destinées à mettre en harmonie les données d'entrée, de manière à ce que leur superposition soit parfaite et rende possible la détection des changements.

Ces opérations concernent essentiellement les corrections géométriques et radiométriques qui permettent de s'assurer que les changements détectés ne sont pas dus à une variation des conditions d'acquisition (inclinaison solaire, situation atmosphérique, caractéristiques des capteurs, etc.), mais résultent effectivement de la modification des états de surface entre plusieurs acquisitions espacées dans le temps.

Les méthodes quantitatives localisent les changements mais ne fournissent aucune information sur la nature du changement (Singh, 1989; Yuan et al. 1998). Les méthodes qualitatives basées sur la comparaison entre les cartes d'occupation du sol réalisées à partir des données de télédétection peuvent produire une information sur la nature des changements (Jensen, 2005).

L'étude de la dynamique de l'occupation du sol entreprise a été faite à trois échelles spatiales, petite échelle au niveau régionale (l'Oranie avec une superficie de 37 500 km<sup>2</sup> environ), une moyenne échelle (la plaine de la Macta s'étendant sur une superficie de 800 km<sup>2</sup>) et une grande échelle au niveau local (une zone agro-forestière à l'Est des monts de Béni Chougrane d'une surface de 180 km<sup>2</sup>), l'analyse multi-échelle est importante dans les études environnementales. Deux entités plus restreintes (zone humide de la Macta et Béni Chougrane) mais assez représentatives des espaces en

Algérie. Les changements ont été quantifiés et localisés suivant l'échelle de chaque zone pour évaluer les tendances de détail de l'échelle.

Une étude de dynamique d'occupation du sol a été réalisée à différentes échelles spatiales et temporelles, une période de 25 ans pour l'étude de la dynamique des formations forestières en Oranie, et une période de 47 ans pour la dynamique de l'occupation du sol dans la plaine de la Macta. Des images de satellite Landsat TM et de satellite Aster ont été utilisées pour les raisons suivantes: (1) la disponibilité de ce type de données, (2) ces données couvrent l'ensemble des zones étudiées et (3) les données sont multispectrales qui permettent de distinguer entre les différentes classes d'occupation du sol.

Le changement de la végétation verte a été quantifié en utilisant l'indice de végétation de différence normalisée (NDVI). NDVI est un rapport utilisant la bande du proche infrarouge et la bande rouge pour distinguer les différences entre la végétation et la non-végétation. NDVI a été largement utilisé pour mesurer le changement de la végétation parce qu'il explique des variations de l'ombre due à l'angle d'altitude du soleil, et moins est influencé par la topographie (Singh, 1989 ; Lyon et al., 1998 ; Stefanov, 2001).

Les 4 principaux objectifs assignés à cette thèse sont d'abord de mesurer et décrire à trois échelles:

- la quantité et le type de changement de l'occupation du sol et la couverture végétale,
- les rapports entre le changement les facteurs naturels et les activités anthropiques,
- les modèles temporels de changement,
- et les modèles spatiaux du changement (par exemple taille et agrégation de parcelle rapportée).

Pour atteindre ces objectifs la thèse s'articule autour des chapitres suivants après une introduction générale :

Le premier chapitre destiné à la présentation de la problématique de changement de l'occupation du sol, et l'utilisation des différentes techniques de la télédétection pour l'étude de ces changements. Le deuxième chapitre est réservé à la présentation des zones d'étude, l'Oranie, une zone montagneuse agroforestière et la plaine de la Macta. Le troisième chapitre présente la dynamique des formations forestières en Oranie, un quatrième chapitre présente la dynamique de l'occupation du sol en zone agroforestière dans les monts de Beni chougane et un cinquième chapitre est réservé à l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans la plaine de la Macta, la caractérisation de l'état de couvert végétal de la zone étudiée puis de l'étude diachronique, suivi par une discussion sur les différents facteurs influençant la dynamique de l'occupation du sol durant 47 ans. Un sixième chapitre pour la proposition d'un modèle de gestion des ressources naturelles. Enfin, le dernier chapitre présente la dynamique de l'espace urbain à travers deux exemples représentatifs de la région ouest.

## **Chapitre 01: Changement d'occupation du sol et télédétection**

### **1. Problématique du suivi de la dynamique de l'occupation du sol**

A travers le monde, la gestion dynamique des espaces face à une exploitation et utilisation souvent anarchique nécessite un suivi à travers une cartographie rapide permettant une analyse quantitative et qualitative. De ce fait, l'inventaire et le suivi de l'occupation du sol à l'échelle mondiale a pris un essor décisif avec le développement de l'imagerie satellitaire à partir des années 1970. Depuis lors, l'analyse de l'évolution de l'occupation du sol constitue un axe de recherche privilégié pour de nombreuses disciplines. Des nombreuses études effectuées sur les changements d'occupation du sol et leur relation avec la biosphère, il apparaît en effet qu'ils constituent un indicateur significatif voir majeur dans l'étude des changements environnementaux à l'échelle globale (Mather et Sdasyuk, 1991). La connaissance des causes et des conséquences des dynamiques d'occupation du sol à différentes échelles constitue désormais un enjeu scientifique important et motive le développement de collaborations interdisciplinaires à une échelle internationale.

#### **1.1 Occupation et utilisation du sol**

Les problématiques et les enjeux de l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols requièrent quelques précisions sémantiques, les confusions dans ce domaine étant nombreuses et conduisant à des erreurs d'interprétation exige une maîtrise des approches et des techniques.

Pour prendre en charge cette problématique, sont successivement abordées dans cette partie les notions de dynamique de l'occupation et de l'utilisation des espaces forestier, agricole et urbain et leur suivi.

Les termes d'utilisation et d'occupation du sol sont, avec le développement de la télédétection et les SIG (Systèmes d'Information Géographiques) régulièrement utilisés dans les études de géographie, d'écologie et de gestion des espaces dans divers domaines. Bien que les termes occupation et utilisation du sol soient intrinsèquement liés, leur sémantique est sensiblement différente ce qui implique de les définir précisément. Souvent perçus comme plus ou moins semblables, des divergences d'interprétation de ces termes peuvent rendre parfois complexe l'interprétation de certains résultats relatifs à l'évolution de la couverture végétale dérivés par exemple de données de télédétection ou de données produites par des modèles de type prédictif.

D'une façon générale, l'occupation du sol fait référence aux propriétés physiques de la surface terrestre alors que l'utilisation du sol fait appel aux fonctions économiques et sociales de celle-ci (Mather, 1991).

Plus précisément, trois différences sémantiques principales peuvent être identifiées entre les termes « utilisation » et « occupation » du sol (Brown et Duh, 2004) :

- La première concerne les définitions des classes de ces deux termes.

L'occupation du sol peut être définie comme une observation physique à un instant «t» de la surface terrestre, incluant la végétation (naturelle ou artificielle) et les constructions humaines. L'utilisation du sol, elle, implique de connaître la manière dont sont agencés les attributs biophysiques du sol et le but poursuivi par cette gestion du territoire. L'utilisation du sol fait ainsi référence au comportement humain et plus spécifiquement aux contraintes économiques qui régissent l'exploitation et la gestion d'un territoire.

- La seconde différence tient à l'expression géométrique entre les deux termes (Brown et Duh, 2004). L'occupation du sol fait ainsi référence à un état biophysique d'un endroit précis ou à un espace homogène du paysage (par exemple, une parcelle agricole). En revanche, l'utilisation du sol fait référence à la fonction économique d'une unité spatiale en définissant par exemple le nom du propriétaire de la parcelle.

- La dernière différence repose sur les règles d'affectation des attributs pour chaque unité spatiale (Bishr et al, 1999). A ce niveau, de nombreuses confusions apparaissent car les termes d'utilisation et d'occupation du sol ne sont pas toujours bien définis au préalable. La définition des classes concernant l'occupation du sol est basée sur l'état du couvert végétal à un instant précis sur une portion d'un espace géographique. On retrouvera par exemple comme classes d'occupation du sol caractérisant un territoire, les classes « arbres », « bâti », « eau »,... Concernant les classes attribuées à l'utilisation du sol, celles-ci doivent fournir une information précise sur l'activité menée sur un espace géographique.

Ainsi, les attributs appropriés pour définir l'utilisation du sol d'une portion d'un territoire rural seraient par exemple « forêt », « bâti résidentiel », « canal »...

Les termes d'occupation et d'utilisation du sol bien que similaires ont donc une sémantique propre induisant des méthodes d'identification différentes. Les classes d'occupation du sol sont ainsi généralement établies à partir de données de télédétection alors que les classes d'utilisation du sol requièrent des données de type socioéconomique ou cadastral (Tableau 1). L'exploitation des données d'occupation du sol et d'utilisation du sol répond donc à des objectifs différents :

- les données relatives à l'occupation du sol permettent d'établir des cartes de couverture des sols à un instant précis (tributaire par exemple de la date d'acquisition de l'image satellite) pouvant par la suite être intégrées dans des modèles de type biophysique (modèles climatiques, modèles hydrologiques,...).

- En revanche, les données d'utilisation du sol, de par leurs caractéristiques attributaires, sont utilisées comme des outils d'aide à la décision afin d'élaborer des plans d'aménagement et de gestion du territoire.

**Tableau 1:** Différences entre les termes « Utilisation » et « Occupation » du sol pour la structuration et l'utilisation de données

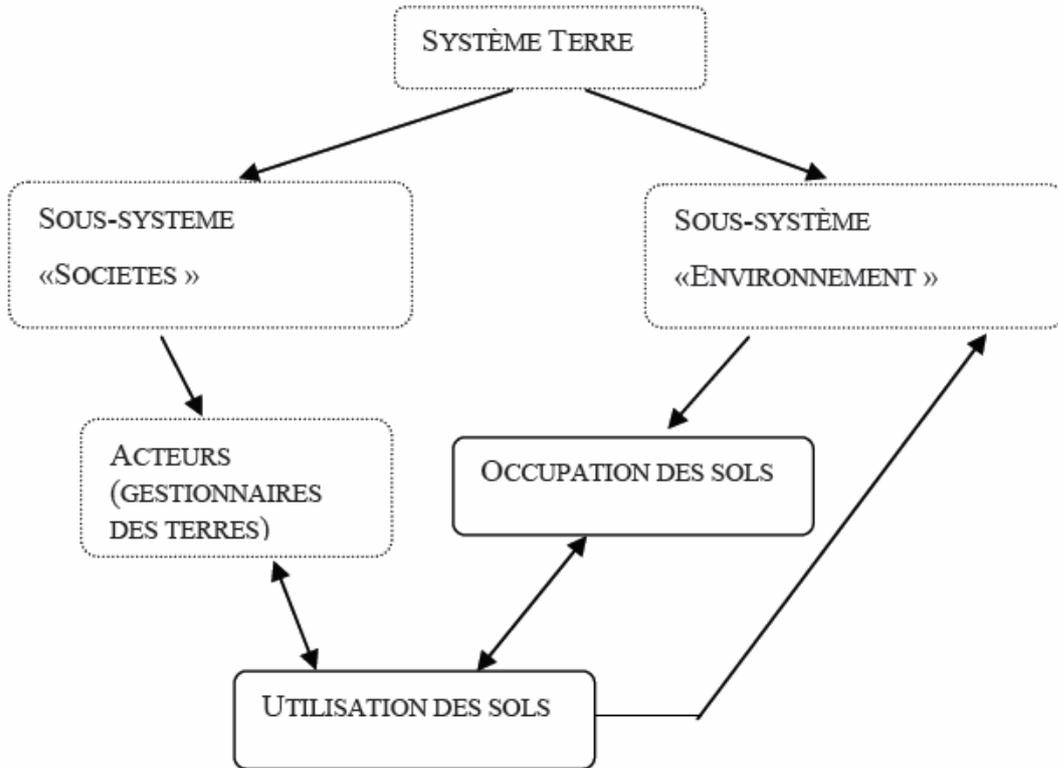
	Données d'entrée	Résultats et analyses	Exploitation des données
Occupation du sol	-Images satellites -Relevés terrain	-Cartes d'occupation du sol (Raster) -Evolution diachronique et multi temporelle	-Intégration dans des modèles de type biophysique -scénarii prédictifs de la couverture végétale
Utilisation du sol	-Données Alphanumériques de type socioéconomique -parcellaire cadastral -plan d'Occupation des Sols	-Cartes d'utilisation du sol (Vecteur) -Dynamiques des changements d'utilisation du sol	-Outils d'aide à la décision -Aménagement du territoire

Malgré ces différences sémantiques, les deux termes restent étroitement liés. La détermination de cartes d'occupation du sol à partir d'images satellites constitue ainsi la première étape pour établir un état des lieux d'un espace géographique. L'intégration de données exogènes de type vectorielle et alphanumérique à la couche occupation du sol autorise ensuite la création de classes d'utilisation du sol permettant d'affiner l'étude et la compréhension des dynamiques de la couverture terrestre. Les deux approches apparaissent donc complémentaires et indissociables pour une analyse pertinente des dynamiques spatiales d'un espace géographique.

## 1.2 Le suivi de l'occupation et de l'utilisation du sol

Les changements d'occupation et d'utilisation du sol résultent d'interactions complexes entre systèmes sociaux et systèmes environnementaux qui évoluent dans le temps (Figure 1). Tandis que

les phénomènes climatiques et biophysiques ont été pendant longtemps les moteurs principaux des transformations des surfaces terrestres, l'homme est aujourd'hui à l'origine de la majeure partie des transformations qui affectent les écosystèmes terrestres (Steffen et al., 2004).

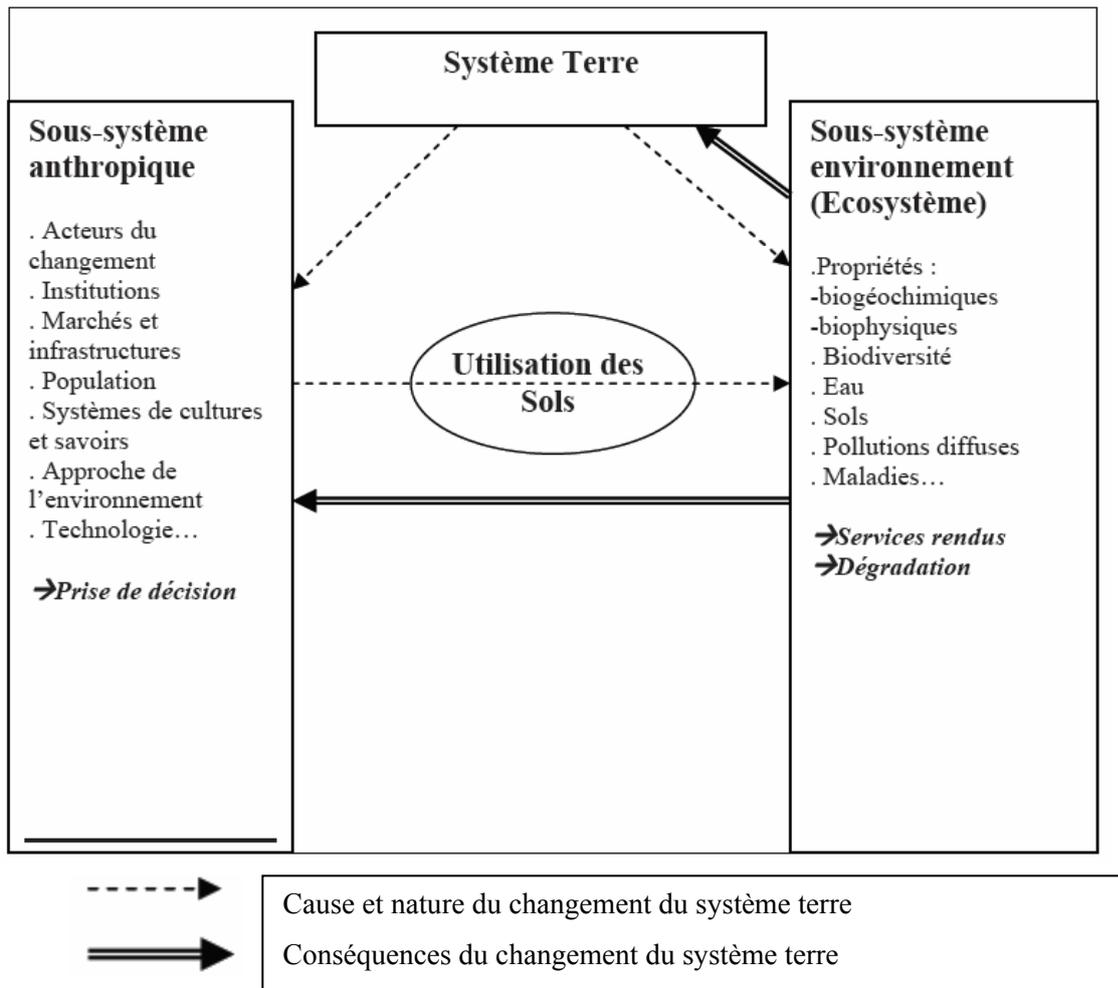


**Figure 1:** Cadre conceptuel de l'occupation et de l'utilisation des sols (Hubert-Moy, 2004)

Les changements intervenant dans les modes d'occupation et d'utilisation des sols engendrent des impacts au niveau des processus qui contrôlent les écosystèmes (Figure 2), qu'il s'agisse de conversions, c'est-à-dire du passage d'une catégorie d'occupation ou d'utilisation à une autre, ou de modifications qui représentent une évolution à l'intérieur d'une même catégorie suite à des changements affectant ses attributs physiques ou fonctionnels. Par exemple, l'extension des cultures au détriment des surfaces boisées engendre une augmentation du ruissellement de surface et par extension de l'érosion.

L'intensification de l'usage des terres, à travers l'emploi massif d'engrais, de fertilisants et de produits phytosanitaires, entraîne des impacts environnementaux, parmi lesquels une forte dégradation de la qualité de l'eau et des sols. Dans certaines régions, les aménagements effectués sur le territoire agricole majorent et accélèrent les transferts de flux et de matières vers les cours d'eau (drainage des zones humides, multiplication des drains et fossés...).

Le rôle de structures paysagères telles que les haies et les zones humides de fonds de vallées sur le milieu et en particulier sur la qualité de l'eau, est aujourd'hui également bien reconnu, même si peu d'études spécifiques en ont mesuré précisément les impacts (Mérot, 1999 ; Caubel-Forget et al., 2001 ; Viaud, 2004).



**Figure 2:** Causes et conséquences des changements d'occupation et d'utilisation des sols. D'après Ojima Moran et al., 2004

### 1.2.1 Le questionnement lié à la détermination des dynamiques d'occupation et de l'utilisation des sols

L'identification et le suivi de l'évolution de l'occupation du sol pose d'emblée des questions relatives aux échelles spatio-temporelles utilisées :

- A quelles échelles les processus interviennent-ils et sont-ils perceptibles ?
- Quelles sont les échelles d'observation disponibles et/ou souhaitables ?
- Comment peut-on passer d'une échelle à l'autre ?

En plus des questionnements liés aux échelles spatiales, la détermination des dynamiques de l'occupation et de l'utilisation des sols soulève le problème de la prise en compte du temps dans les processus d'observation et de suivi : il s'agit en particulier de déterminer si les systèmes territoriaux étudiés, sont en phase de stabilité ou d'instabilité sur une période donnée, c'est-à-dire repérer des constantes, mais aussi des ruptures ou des discontinuités.

Ces recherches ont pour ambition d'améliorer les connaissances thématiques sur les changements d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères, mais aussi de développer des méthodes de traitement de données spatialisées permettant de mettre ces changements en évidence et de les simuler. Elles s'insèrent dans les problématiques de recherche actuelles de la géographie et de l'écologie paysagère : elles se situent à l'interface nature/sociétés (la pression anthropique sur le milieu à travers la façon dont l'homme occupe et utilise les sols), elles traitent des dynamiques spatiotemporelles de territoires en visant à mettre en évidence la vulnérabilité de certains espaces vis-à-vis d'un risque environnemental.

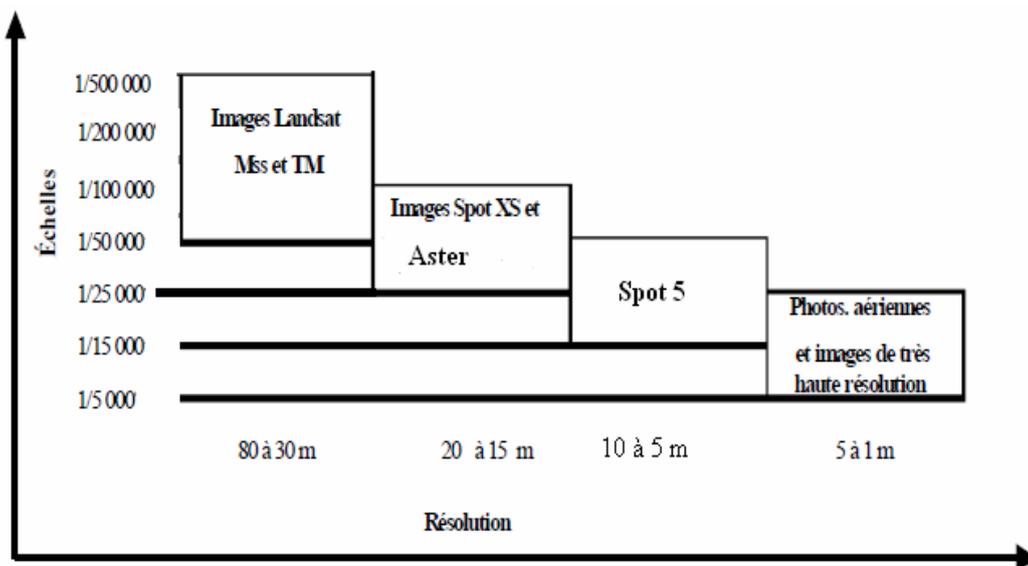
L'économie du territoire est un concept d'actualité dans notre pays alors qu'il date des années 1975 dans d'autres pays. La reconquête rationnelle du territoire demeure encore une préoccupation majeure de nos responsables sans en définir les bases élémentaires. Elle passe nécessairement par une connaissance et la maîtrise du fonctionnement et des interactions des espaces et du milieu naturel ou perturbé. L'analyse des systèmes d'exploitation du sol constitue une base d'approche et de compréhension de l'utilisation de l'espace. La perception de l'espace à plusieurs niveaux spatiaux doit permettre à mieux appréhender les aptitudes écologiques naturelles et même artificielles des milieux. (Long, 1975).

Une synthèse sur la politique mondiale de gestion de l'espace met en relief qu'elle est guidée par des règles fondamentales d'aménagement soutenu par le concept d'économie, sources d'inadéquations pouvant être récapitulées comme suit selon Benabdeli (1996) :

- déséquilibre géographique,
- répartition spatiale de la population incohérente,
- mutation constante de l'espace rural et agricole,
- mauvaise utilisation et altération des ressources naturelles,
- absence d'un découpage de l'espace répondant à des objectifs,
- incompréhension des interactions entre les divers espaces,
- méconnaissance des systèmes,
- politique de gestion des espaces absente,
- pression démographique non maîtrisée,

- inefficacité des textes et des institutions chargées de la gestion de l'espace.

La figure 3 illustre les différentes échelles spatio-temporelles d'analyse de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols par télédétection. La diversité des échelles d'analyse offertes par les capteurs permet aujourd'hui d'identifier et de suivre plus ou moins finement l'occupation du sol. Le passage d'une échelle à une autre reste cependant très complexe de par la nature même des données.



**Figure 3:** Représentation schématique des échelles spatiales et des résolutions aux quels les modes d'occupation et d'utilisation des sols sont étudiés par télédétection

## 2. Méthode de caractérisation et de détection des changements par télédétection

L'évaluation de l'occupation et de l'utilisation des sols ne peut être appréhendée qu'à travers l'information géographique qui devient de plus en plus est une donnée précieuse et pertinente, que ce soit à des fins commerciales (exploitation des ressources terrestres), stratégiques (surveillance des territoires) ou humaines (aide au développement, prévention des catastrophes).

Depuis un siècle on a su "prendre de la hauteur" pour observer la Terre à bord de ballons, fusées, avions, hélicoptères, drones, satellites, navettes spatiales ; les images obtenues de la haute altitude ont détrôné les cartes classiques, les photo-aériennes, les ortho-photo-plans et la technique de la photo-interprétation par leur qualité et exploitabilité.

Le besoin croissant d'estimer, de prévoir, de surveiller et d'une manière générale de gérer les ressources naturelles et les différents espaces, surtout quand les superficies sont très étendues est difficiles d'accès, exige un support de cartographie statique et dynamique rapide. Ce dernier n'est

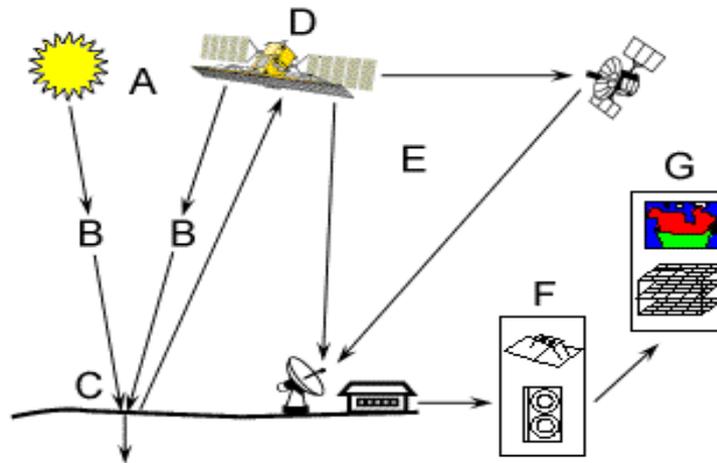
possible qu'à travers l'utilisation de la télédétection et des SIG. La télédétection c'est (1) l'art d'acquérir à distance des informations, en général des images, et (2) l'art de traiter ces informations pour répondre à des problèmes (Polidori, 2000).

## 2.1 Principes de la télédétection

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes présentées dans l'Annexe 2 et résumé ci-dessous.

Il y a lieu de noter cependant que la télédétection peut également impliquer l'énergie émise (infrarouge) ou utiliser des capteurs non-imageurs (sismique, gravimétrie...). Les processus de la télédétection sont les suivants (fig. 4):

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



**Figure 4** : Processus de la télédétection d'après (Kluser, 2000)

## 2.2 Choix des capteurs et des niveaux d'analyse

La détection dépend non seulement des caractéristiques spectrales et spatiales du capteur, mais aussi de celles des cibles observées. Cependant, plusieurs autres facteurs peuvent interférer et contribuer à augmenter ou à réduire la capacité de détection et de reconnaissance des objets géographiques. Ces facteurs ont trait à la sensibilité des détecteurs, aux conditions atmosphériques, au type de polarisation, à la capacité de réflexion d'un objet par rapport à ses voisins, etc.

Les images utilisées doivent être en mesure d'offrir alternativement une vision globale et détaillée de l'espace. La vision globale est nécessaire pour appréhender la structure générale et l'organisation d'ensemble au niveau régional, tandis que la vision détaillée est indispensable, d'une part pour accéder à l'agencement interne des structures spatiales, d'autre part pour détecter et caractériser localement les zones de changement. Cette considération justifie l'approche multi-scalaire que nous avons adoptée dans ce travail.

Il s'agit essentiellement d'enregistrements des satellites Landsat et Aster. Ces deux systèmes d'observation ont connu quelques évolutions récentes. L'innovation du système Landsat concerne les instruments embarqués à bord du satellite Landsat 5 et 7, dernier en date de la série. Landsat 5 opérationnel depuis 1984 et Landsat 7 depuis 1999, ils fournissent des images acquises en mode multispectral (TM et ETM+).

Les images du capteur MSS, le tout premier de la série Landsat, ont une résolution spatiale de 80 m. En mode multispectral, la résolution des images Landsat 7 est de 30 m (comme pour l'ensemble des données du système TM), tandis qu'en mode panchromatique, elle est de 15 m.

Les enregistrements Aster et Landsat sont effectués dans les longueurs d'onde du visible (bleu, vert et rouge pour Landsat, vert et rouge pour Aster) et de l'infrarouge (proche, moyen et thermique). Ils

permettent de reconnaître les empreintes anthropiques, de différencier le sol de la végétation, d'évaluer la teneur en eau, l'état de la végétation et des cultures, etc. Les dimensions des scènes couvrent 185 km de côté pour le système Landsat et 60 km pour Aster.

Ces caractéristiques indiquent que les capteurs Landsat et Aster conviennent aux observations de niveaux sous régional et local, car ils fournissent des images qui présentent un compromis intéressant entre résolution spatiale et champ de vue au sol. De la sorte, sur les images Aster et Landsat qui couvrent des surfaces de 3600 et

34 000 km<sup>2</sup> respectivement, il est possible de détecter les objets géographiques de dimensions élémentaires relativement réduites (quelques dizaines de mètres de côté). Nous allons donc utiliser ces images pour localiser et décrire les zones de changement d'occupation du sol d'une part, et d'autre part pour quantifier ces changements au niveau chaque classe.

### 2.2.1 La série 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. (M.C.GIRARD,2000). Le premier satellite, LANSAT-1 fut lancé en 1972 et suivit de 5 autres (LANDSAT 2 à 6). Les trois premiers constituent la première génération, équipée de deux systèmes d'acquisition : le RBV (Return Beam Vidicom) et le MSS (Multi Spectral Scanner). En 1982, le satellite LANSAT-4 est le premier de la seconde génération, en apportant quelques modifications majeure sur le scanneur et en remplaçant les caméras RBV par un nouveau capteur de résolution spatiale plus élevée 30m contre 80m, le Thematic Mapper « TM », possédant sept bandes spectrales plus fines, du bleu à l'infrarouge thermique (tableau 3).

En 1999, le satellite LANDSAT-7 a été lancé avec un nouvelle capteur (ETM+) *Enhanced Thematic Mapper Plus*, L'instrument d'ETM+ comporte huit bande spectral capable de fournir des informations à haute résolution. Il détecte le rayonnement spectral filtré dans le visible, proche-infrarouge, et l'infrarouge thermique. Les tailles des "Pixel" sont de 15 mètres dans la bande panchromatique ; 30 mètres dans les bandes de visible et l'infrarouge moyen et proche; et 60 mètres dans la bande infrarouge thermique.

Les satellites 1 à 5 n'ayant pas d'enregistreur embarqué les données sont envoyées en temps réel aux stations de réception, quand il ne peut y avoir de liaison directe, les informations sont envoyées par des relais en utilisant des satellites de communication TDRS (*Tracking and Data Relay Systems*). Pour Landsat 7, il y a une possibilité d'enregistrement à bord.

## 2.2 Le système ASTER

"TERRA-EOS" (Earth Observing System) est un satellite lancé le 18 décembre 1999 par la NASA. TERRA-EOS est un satellite multi-national et multi-disciplinaire, équipé de cinq instruments de télédétection, qui ont pour but de permettre une meilleure compréhension des interactions entre la biosphère, l'hydrosphère, la lithosphère et l'atmosphère.

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) est un des cinq instruments placés à bord de la plateforme TERRA-EOS (<http://aster-web.jpl.nasa.gov>). Il est né d'une coopération entre la NASA, le ministère Japonais de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI) et le Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC, fondé en 1981 sous l'égide du METI, a pour objectif d'accélérer la recherche et le développement de technologies en télédétection). Cet instrument est un capteur multispectral constitué lui-même de trois instruments indépendants (Tableau 2) :

- Un instrument enregistre la réflectance dans 3 bandes spectrales du Visible et Proche Infrarouge (VPIR) (résolution spatiale 15m) ;
- Un deuxième instrument enregistre la réflectance dans 6 bandes spectrales de l'Infrarouge moyen (MIR) (résolution spatiale 30m) ;
- Un troisième instrument enregistre la réflectance dans 5 bandes spectrales du Infrarouge thermique (IRT) (résolution spatiale 90m).

De part sa fine résolution spatiale et l'importante couverture du spectre électromagnétique, ASTER est donc actuellement le satellite qui présente le plus grand potentiel pour la cartographie de la végétation.

**Tableau 02:** Caractéristiques du satellite ASTER et LANDSAT

Capteur	Domaine spectrale	Nombre de bande	Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	Résolution spatiale	Dimension de la scène
Aster	Visible et proche infrarouge	03	0,52 - 0,86	15 mètre	60 Km <sup>2</sup>
	Moyen infrarouge	06	1,6 – 2,43	30 mètre	60 Km <sup>2</sup>
	Infrarouge thermique	04	8,1 – 11,6	90 mètre	60 Km <sup>2</sup>
Landsat (TM)	Visible et proche infrarouge	04	0,45 – 0,9	30 mètre	185 Km <sup>2</sup>
	Moyen infrarouge	02	1,55 – 2,35	30 mètre	185 Km <sup>2</sup>
	Infrarouge thermique	01	10,4 – 12,5	120 mètre	185 Km <sup>2</sup>

### 2.3 Les indices de végétation

Approche empirique pour identifier et suivre l'évolution temporelle des couverts végétaux, ainsi que pour évaluer certains paramètres du couvert comme la biomasse aérienne chlorophyllienne, les indices de végétation sont calculés soit à partir de mesures de réflectance sur le terrain, soit de comptes numériques fournis par des données satellitaires.

L'utilisation de l'indice de végétation permet de représenter la densité du couvert végétal (LAPORTE, 2002). La gamme de longueur d'onde utilisée dans le calcul de l'indice de végétation est le rouge (R) et le proche infrarouge (PIR) parce que la réponse spectrale de couvert végétal dans ce domaine spectral est plus forte (fig. 5).

Plusieurs indices de végétation ont été développés afin de caractériser la réponse spectrale de la végétation et diminuer l'effet des facteurs perturbateurs tel que le sol, la structure de la végétation et l'angle solaire.

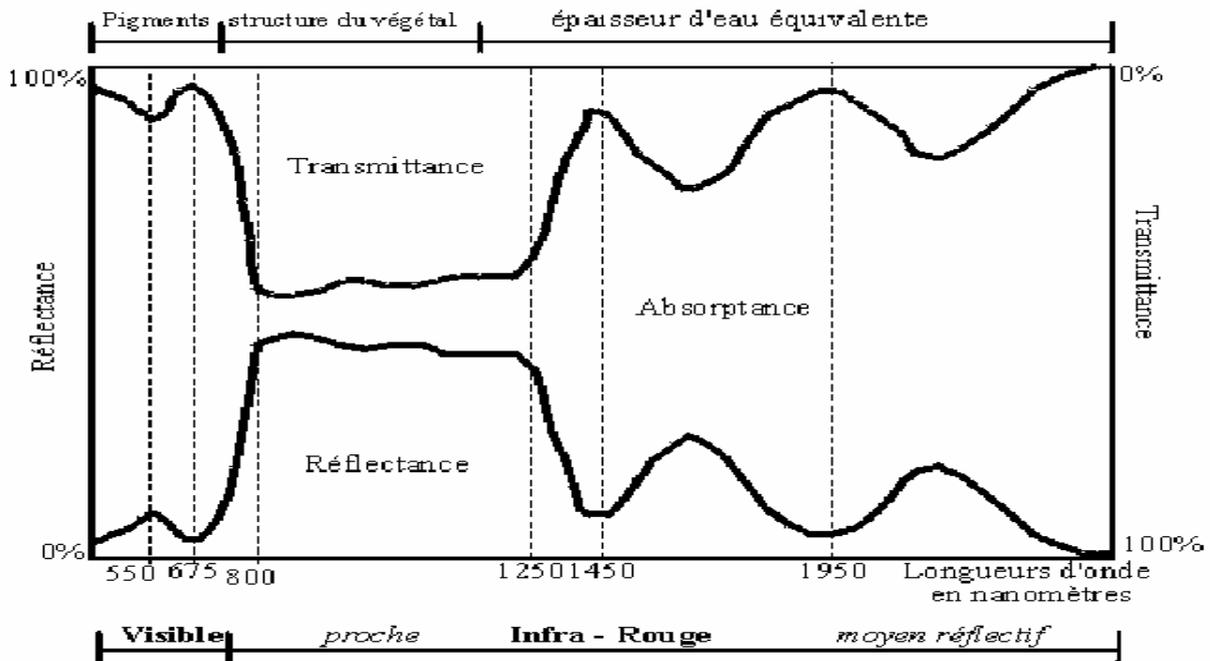
L'indice de végétation Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) est déterminé à partir des réflectances planétaires dans les canaux rouge (autour de 0.45  $\mu\text{m}$ ) et proche infrarouge (autour de 0.65  $\mu\text{m}$ ) (Rouse et al., 1974; Tucker, 1986) :  $\text{NDVI} = (\text{pIR}-\text{R})/(\text{pIR}+\text{R})$

Le NDVI présente la particularité d'augmenter en présence de végétation. Cette particularité trouve son origine dans la forme des spectres de réflectance du sol et de la végétation (JACOB, 1999). Ce paramètre permet, d'une part, de mieux différencier les types de végétation et apporte, d'autre part, une information supplémentaire sur l'état du couvert. (ACHARD et BLASCO, 1990)

Cet indice n'a pas de sens physique (il ne s'agit pas d'une grandeur mesurée) mais il constitue un indicateur relativement fiable de l'activité chlorophyllienne de la végétation. (POLIDORI, 2000)

Huete (1988) a introduit un facteur d'ajustement empirique SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index).  $SAVI = [(1+L)(pIR-R)] / (pIR+R+L)$  avec  $L = 0,5$  pour diminuer l'effet du sol.

Dans ce travail, nous utilisons le (NDVI) pour déterminer l'état de couvert végétal.



**Figure 5** : Comportement spectral d'un végétal chlorophyllien.  
D'après 5GIRAGD, 2000)

## 2.4 Traitement et interprétation des données de télédétection images

Les réflectances enregistrées par les capteurs sont transmises à des stations de réception terrestres, soit en temps réel (directement ou via un autre satellite) soit en temps différé (lorsque le satellite arrive « en vue » d'une station de réception). Dans tous les cas, les données transmises se présentent sous la forme brute d'un flux de données qui doit être traité avant d'être délivré à des utilisateurs.

Les prétraitements sont des opérations réalisées sur les images de télédétection avant l'analyse et l'interprétation des images. Les corrections visent à compenser les perturbations de la radiométrie et la géométrie de l'image intervenant lors de la prise de vue.

La mise au point d'une méthode concertée de surveillance par télédétection suppose un certain nombre d'étapes techniques incontournables. Parmi celles-ci, les corrections géométriques et

radiométriques sont fondamentales pour la détermination de changements. (ESCADAFAL et al, 1999)

#### **2.4.1 Les corrections radiométriques**

Les données radiométriques acquises par un capteur satellitaire sont affectées par un certain nombre de facteurs tels que les caractéristiques du capteur et l'état de l'atmosphère. Le passage des données brutes enregistrées par le capteur aux images corrigées de ces facteurs se fait en quatre étapes (BOUZIRI, 1999) :

- Tout d'abord, il faut éliminer les perturbations dues à l'instrumentation pour rétablir les contrastes existant entre les objets.
- Ensuite, les données brutes sont transformées en grandeurs physiques par l'introduction de coefficients d'étalonnage (étalonnage absolu) et par la prise en compte des conditions d'acquisition (orientation et inclinaison de la visée, position du Soleil, résolution spectrale et spatiale). Les données obtenues sont alors exprimées en réflectance apparente au niveau du satellite.
- La troisième étape consiste à éliminer les perturbations induites par l'atmosphère (corrections atmosphériques) afin d'obtenir la réflectance des objets au niveau du sol. Les données ainsi obtenues sont relatives à une surface fictive, plane et horizontale en supposant un éclairage uniforme et constant.
- Enfin, des corrections au niveau de la topographie (corrections topographiques) sur l'éclairage sont effectuées pour acquérir des caractéristiques optiques réelles de la surface.

Les effets dus aux instruments étant corrigés avant la distribution des images par les fournisseurs, seules les trois dernières étapes ont dû être réalisées.

#### **2.4.2 Les corrections géométriques**

Il reste de corriger les déformations géométriques de l'image dues à plusieurs sources d'erreurs. Ces corrections sont nécessaires pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les données enregistrées par le capteur du satellite ne sont pas présentées dans une projection cartographique courante, rendant difficile la comparaison avec des données géoréférencées comme les cartes thématiques, de plus, ces corrections sont essentielles pour comparer et superposer une série d'images. Les méthodes de corrections géométriques appliquées aux images numériques de télédétection peuvent être classées en deux grandes catégories : les méthodes de corrections à partir des paramètres du satellite et les méthodes de corrections par référence à des points de coordonnées connues dans un autre système.

### 2.4.3 La classification non supervisée

Elles sont effectuées sans prise en compte de données de terrain. Il s'agit d'un découpage entièrement mathématique des données radiométrique en un nombre de classes définies.

Il existe des algorithmes de classification, composés de plusieurs itérations, permettant de créer des regroupements de pixels ayant des signatures spectrales similaires. L'utilisateur procède ensuite à la reconnaissance des classes créées par l'algorithme en affectant un nom et une couleur à chaque classe. Un des algorithmes de classification non supervisé est appelé « agrégation autour des centre mobiles ou méthode ISODATA ».

### 2.4.4 La classification supervisée

Le principe de la classification supervisée est de regrouper les pixels à des classes thématiques, basées sur une connaissance préalable de la zone à étudier. Les classes sont définies sur la base de zones d'apprentissage, qui sont des échantillons représentatifs des classes. Cette méthode de classification comporte les étapes suivantes :

- **Définition de la légende :**

Choix des classes souhaitées suivant la problématique de recherche

- **Sélection d'échantillons représentatifs :**

Pour chaque type d'occupation du sol, on identifie sur l'image des zones représentatives appelées échantillons. Si possible, deux jeux d'échantillons sont définis :

- des zones d'apprentissage, qui permettront de décrire les classes en termes de valeurs
- des zones de test, qui serviront à la vérification de la classification

- **Description des classes:**

Les classes sont décrites en termes de paramètres statistiques (valeur moyenne, minimum, maximum, variance, etc.) calculés à partir des zones d'apprentissage sélectionnées sur l'image.

- **Choix d'un algorithme de classification :**

Il faut ensuite choisir l'algorithme de classification et les règles de décisions appropriés. Les classifications sont basées sur des critères de distance ou de probabilité (maximum de vraisemblance, distance minimum, etc.). A ce stade, il importe d'évaluer le contenu et la séparabilité des classes :

- de manière visuelle, sur une représentation graphique des signatures spectrales (courbes de signatures, histogrammes, diagrammes à deux dimensions, etc.)

- **Lancement de la classification :**

A ce stade, tous les pixels de l'image sont classés selon l'algorithme de classification choisi.

- ***Evaluation de la classification :***

Le résultat de la classification est évalué en le comparant à des informations de référence qui peuvent être fournies par:

- des zones test sélectionnées sur l'image
- d'autres cartes ou images
- des relevés de terrain

L'interprétation des données multispectrales s'effectue le plus souvent par une méthode statistique de classement par maximum de vraisemblance, méthode généralement considérée comme la plus heureuse. Il est cependant difficile en pratique de dépasser une proportion de 65% de pixels bien classés. (Porchier, 1993 in Kluser, 2000)

### **3 Méthodes de caractérisation des changements**

Caractériser un objet géographique par télédétection suppose sa détection ou perception, son identification ou reconnaissance, et son analyse ou description. La détection dépend des caractéristiques spectrales et spatiales du capteur et de celles de l'objet d'étude. Quant à l'identification et à la description, elles nécessitent un ensemble de traitements destinés à améliorer la lisibilité du contenu des images. Pour ce faire, nous avons utilisé successivement l'approche analogique et l'approche numérique. Pour améliorer l'interprétation visuelle et faciliter l'analyse numérique, nous avons appliqué des traitements préliminaires aux images. Ces traitements comprennent les corrections géométriques, atmosphériques, le géoréférencement, le rééchantillonnage et l'amélioration du contraste.

#### **3.1 L'approche analogique**

Elle consiste en une lecture directe de l'image selon les méthodes de photo-interprétation. Elle fait recours aux paramètres visuels comme la teinte, la forme et la taille des objets. Nous l'avons utilisée pour identifier les types d'occupation du sol aussi bien sur les canaux isolés que sur les combinaisons de plusieurs canaux ou compositions colorées, en nous aidant de nos relevés de terrain.

Les compositions colorées offrent la possibilité de disposer d'une information enrichie de l'apport spécifique de chaque canal. Il s'agit alors de combiner trois canaux dans le but de constituer une image colorée synthétisant un maximum d'informations contrastées. Pour ce faire, une couleur primaire (bleu, vert ou rouge) est assignée à l'affichage du contenu de chaque canal suivant le modèle de représentation en synthèse additive trichrome RVB (rouge, vert, bleu). Avec les images

Landsat par exemple, les compositions colorées classiques sont effectuées en attribuant la couleur bleue au canal 2 (vert), la couleur verte au canal 3 (rouge) et la couleur rouge au canal 4 (proche infrarouge). On obtient ainsi une composition colorée dite en fausses couleurs. On dispose deux canaux dans le moyen infrarouge (canal 5 et 7). Le nombre de combinaisons possibles a donc augmenté, ce qui accroît aussi les possibilités d'identification du contenu thématique des images.

Au niveau régional, l'approche analogique permet d'abord l'observation globale du territoire étudié, puis l'identification des zones de changements. Ce niveau est en quelque sorte l'équivalent des « zones d'égale apparence » que Hotyat et Veyret (1991) retiennent pour discriminer les unités spatiales homogènes.

Au niveau sous-régional, les détails du niveau régional sont mis en évidence et l'analyse s'efforce de leur attribuer une signification thématique. C'est à ce niveau d'observation que nous avons établi la typologie des classes d'occupation du sol. Les profils radiométriques aident à identifier les types de couvert, car ils permettent d'avoir les signatures spectrales qui caractérisent le contenu géographique des images. Au niveau local, la typologie des classes est affinée et il est possible de décrire les parcelles considérées individuellement.

### **3.2 L'approche numérique**

Deux types de classification numérique existent : la classification non dirigée et la classification dirigée (ou supervisée). La classification non dirigée est une méthode probabiliste destinée à obtenir des groupes homogènes de réponses spectrales de pixels d'une image. Son intérêt est d'être une méthode de recherche originale pour détecter certains phénomènes. Mais l'interprétation des groupes constitués est délicate car plusieurs types de variables thématiques interviennent dans la formation des groupes et certaines ne sont pas forcément recherchées. Finalement ce type de classification ne fournit qu'un nombre peu élevé de classes intéressantes pour un thème donné et la cartographie obtenue est à reprendre après interprétation des groupes en fusionnant ou éclatant certaines classes. La classification dirigée ou supervisée est une méthode déterministe destinée à obtenir des catégories (ou classes) de pixels au moyen d'un traitement interactif des données radiométriques couvrant la zone d'étude à partir de sites témoins identifiés au sol ou sur photos aériennes. Ce type de classification permet de faire apparaître des phénomènes présentant des particularités radiométriques difficiles à repérer et d'utiliser un nombre de bandes spectrales supérieur à celui figurant sur les compositions colorées. Elle fournit directement une cartographie définitive en couleurs conventionnelles. Le choix des zones témoins reste largement empirique en nombre et en étendue par catégorie. La réalisation d'un compromis entre le nombre de classes et le niveau de fiabilité a priori de la catégorisation est difficile

C'est une démarche qui complète la photo-interprétation et permet d'affiner l'analyse de l'espace. Il s'agit de générer des statistiques pour quantifier l'emprise spatiale de chaque catégorie d'occupation du sol (forêt, agriculture, bâti, etc.). Elle a été appliquée aux niveaux sous-régional et local, sur les images Landsat et Aster.

Dans le premier cas, nous avons effectué des classifications supervisées (à l'aide de l'ENVI 4.7) sur la base des signatures spectrales de chaque type de surface. Mais les relevés de terrain sont indispensables pour attribuer une signification thématique réelle aux classes à la suite des regroupements de pixels. Pour toutes les classifications supervisées, nous avons utilisé l'algorithme du maximum de vraisemblance qui regroupe les pixels en fonction de leurs probabilités d'appartenir aux classes définies au préalable. La définition de ces classes est basée sur les connaissances de terrain et se fait par saisie des parcelles d'entraînement sur une composition colorée.

La classification est ensuite appliquée à l'ensemble des canaux de l'image. Les résultats sont restitués sous forme de cartes. Cette option permet de resituer l'occupation du sol dans son contexte en utilisant l'image comme support d'affichage de l'information spatialisée.

#### **4 Méthodes de détection des changements**

Les approches couramment utilisées pour mettre en évidence et analyser les changements d'occupation du sol reposent sur le concept de présenter un « état de l'art » dans le but de retenir les méthodes qui seront appliquées pour analyser l'évolution spatio-temporelle des occupations des sols. Les méthodes de détection des changements se regroupent en deux catégories principales suivant que la finalité recherchée est la visualisation simple des changements et/ou la quantification de leurs impacts.

On distingue les traitements qualitatifs des traitements quantitatifs. L'application de ces traitements est généralement précédée d'opérations destinées à mettre en harmonie les données d'entrée, de manière à ce que leur superposition soit parfaite et rende possible la détection des changements. Ces opérations concernent essentiellement les corrections géométriques et radiométriques qui permettent de s'assurer que les changements détectés ne sont pas dus à une variation des conditions d'acquisition (inclinaison solaire, situation atmosphérique, caractéristiques des capteurs, etc.), mais résultent effectivement de la modification des états de surface entre plusieurs acquisitions espacées dans le temps.

## 4.1 Méthodes qualitatifs

Elles servent à mettre en évidence et à identifier visuellement les endroits où les états de surface ont subi des transformations au cours d'un intervalle de temps donné. Les images multidates sont associées de manière à mettre en exergue les changements radiométriques correspondant aux modifications survenues dans l'occupation du sol. Du fait qu'il s'agit simplement de détecter les changements sans les quantifier, ces méthodes et techniques sont dites pré-classificatoires ou d'accentuation d'images (Mas, 2000). L'association d'images se fait au moyen d'opérations mathématiques de type soustraction, division et vecteur des changements. Ces opérations peuvent porter soit sur les canaux bruts (compositions colorées multidates), soit sur les « néo-canaux » issus d'indices de végétation ou de composantes principales (combinaisons multidates de néo-canaux).

### 4.1.1 La soustraction d'images

Elle permet d'obtenir une image des différences radiométriques se rapportant au laps de temps qui sépare les enregistrements. Les pixels qui ont conservé les mêmes valeurs radiométriques durant ce laps de temps sont dits invariants. Ils correspondent aux états de surface qui n'ont pas subi de modification.

Lorsque la soustraction des valeurs radiométriques donne une différence, celle-ci traduit un changement d'état de surface.

L'image des différences radiométriques se prête à une interprétation de l'évolution de l'occupation du sol en termes de changement/non changement. Toutefois, suivant la diversité des informations contenues dans les images, l'identification de la nature des changements sur l'image résiduelle sera plus ou moins délicate et complexe. En effet, la soustraction des valeurs radiométriques peut donner un résultat identique pour des types d'occupation du sol différents (par exemple,  $5-2 = 15-12$ ), ce qui est susceptible d'entraîner une confusion dans l'identification de la nature des changements. Dans ce cas, une bonne connaissance de terrain est indispensable pour déterminer la nature et la signification des changements. Par ailleurs, puisque la soustraction se fait pixel à pixel, ceux-ci doivent correspondre exactement aux mêmes surfaces au sol. La soustraction d'images présente donc une grande sensibilité à la qualité de la superposition multidate (Mas, 2000).

### 4.1.2 La division d'images

En divisant les valeurs radiométriques d'une image acquise à une date A par celles d'une autre image de la même scène acquise à la date B, on obtient une image de ratios qui caractérisent la variation des radiométries entre les deux dates. L'analyse de ces ratios permet de localiser les endroits qui ont subi des changements. Au cas où les états de surface n'ont pas sensiblement changé

entre les deux dates, on obtiendra des ratios proches de 1, ce qui est significatif d'une absence de changement ou d'un changement insignifiant. Par contre, si la division donne des rapports largement supérieurs ou inférieurs à 1, ils traduiront une modification intense des états de surface. L'interprétation des résultats à l'aide des connaissances de terrain permet de préciser la nature, le sens et le degré d'intensité des changements. La division d'images peut quelques fois se heurter à certaines difficultés : cas où des pixels du dénominateur présentent des valeurs nulles (problème de division par zéro).

En dehors de la soustraction et de la division d'images, la littérature sur la détection des changements propose d'autres techniques de traitements qualitatifs dont l'usage est cependant moins fréquent. C'est en particulier le cas de l'analyse par vecteurs de changement.

#### **4.1.3 Les vecteurs de changement**

Ils sont élaborés en deux étapes (Lambin et Strahler, 1994) : on définit d'abord des indicateurs d'occupation du sol à partir d'une série d'images NOAA AVHRR ; ces indicateurs comprennent le NDVI, la température de surface et la structure spatiale. Ensuite, les vecteurs de changement sont conçus suivant un modèle associant les informations fournies par ces indicateurs mesurés à des dates différentes. Ces vecteurs sont caractérisés par une direction qui renseigne sur le type de changement, et par une amplitude qui indique l'intensité ou l'importance du changement. Ils permettent de décrire l'évolution inter-annuelle des indicateurs d'occupation du sol. Toutefois, l'analyse des vecteurs en termes de nature et d'intensité des changements paraît complexe et explique sans doute l'usage peu courant de cette technique.

Les trois techniques que nous venons de présenter font partie des techniques dites de combinaison ponctuelle, car elles mettent en oeuvre des opérations mathématiques qui se font de pixel à pixel (Mas, 2000). Il existe des techniques dites de combinaison globale ; elles sont similaires aux superpositions de type empilement de couches dans un SIG. Dans ce cas, la combinaison ne se fait pas par superposition strict pixel à pixel (sauf si on utilise les opérateurs ponctuels de type soustraction et division). Cette catégorie de techniques comprend les compositions colorées de canaux bruts et de néo-canaux.

#### **4.1.4 Les compositions colorées de canaux bruts**

Il s'agit de superpositions d'images enregistrées à des dates différentes. Les informations multitudes contenues dans les différentes bandes spectrales sont associées dans le plan colorimétrique RVB. Lorsque la nature du changement est connue, il est indiqué d'associer les enregistrements des canaux qui sont sensibles au type de changement à détecter. Ainsi, pour mettre en évidence les

modifications survenues dans les formations végétales, nous avons réalisé des compositions colorées multidates en associant les canaux du moyen infrarouge, du proche infrarouge et du rouge dans le plan RVB.

Les synthèses additives et soustractives des couleurs enrichissent l'analyse visuelle, ce qui permet de localiser les endroits où il y a eu changement d'états de surface. Toutefois, dans la littérature, des exemples montrent que l'éventail et les degrés d'intensité des couleurs sont parfois si larges que l'interprétation et la reconnaissance des changements deviennent complexes. Dans ce cas, la comparaison simultanée des images affichées séparément, aide à identifier les significations thématiques des changements identifiés.

Une variante de cette technique consiste à réaliser des compositions colorées associant les images multispectrales préalablement converties en niveaux de gris (Milne et O'Neil ; Sader et Winne, 1992). De la sorte, sur l'image multidate obtenue, les endroits n'ayant pas subi de changements apparaissent en niveaux de gris, tandis que ceux qui ont subi des modifications apparaissent en couleur.

#### **4.1.5 Les combinaisons de néo-canaux multidates**

Les transformations d'images brutes en composantes principales (ACP) d'une part, et en indices de végétation d'autre part, sont les techniques les plus utilisées pour détecter les changements à partir de néo-canaux (Hayes et Sader, 2001 ; Sader et al ; 2001 ; Franklin et al., 2000 ; Fotsing, 1998 ; Pohl et al., 1998). La combinaison des composantes principales (ACP) ou d'indices de végétation (très souvent le NDVI) s'effectue de manière identique à la réalisation des compositions colorées multidates associant les canaux bruts (permutations dans le plan RVB).

#### **4.2 Méthodes quantitatives**

Elles ont pour but de mesurer l'ampleur des changements exprimée généralement en termes de superficies ayant subi les modifications d'états de surface.

La quantification se rapporte alors à la réduction et/ou l'augmentation de l'étendue des états de surface touchés par les changements. Les statistiques qui rendent compte de ces changements sont issues de classifications d'images réalisées soit sur les compositions colorées, soit sur les combinaisons de néo-canaux. On peut distinguer deux variantes de cette approche : les classifications synchronisées ou conjointes, et les classifications séparées ou disjointes.

### **4.2.1 Les classifications synchronisées ou conjointes**

Elles sont conduites sur un ensemble d'images multidates associées (Rogan et al., 2002 ; Hayes et Sader, 2001 ; Sader et al., 2001 ; Selleron, 1995 ; Singh, 1986). Ainsi, pour mesurer l'extension du couvert végétal entre deux dates, on réalise d'abord une composition colorée rassemblant les canaux de moyen infrarouge des deux images, et la classification est ensuite menée sur la composition colorée regroupant les deux images. De la sorte, les statistiques obtenues ne sont pas caractéristiques d'une situation statique, car elles se rapportent non pas à une date, mais à l'évolution survenue durant le laps de temps séparant les deux enregistrements. Ces statistiques permettent de rendre compte de l'amplitude des changements relevés.

Pour que cette approche soit efficace, il convient d'identifier au préalable la nature des changements, ce qui rend pertinent le choix des thèmes à classifier et à mesurer. Les critiques généralement formulées à l'égard de cette technique ont trait au nombre considérable de canaux multispectraux sur lesquels la classification est effectuée. Ce nombre est le résultat de la combinaison de plusieurs images acquises à des dates différentes. Plus les images conjointes sont nombreuses, plus les calculs et l'identification de la nature des changements sont complexes. On peut pallier partiellement à ce problème en recourant aux composantes principales pour synthétiser et réduire le volume des images à traiter.

### **4.2.2 Les classifications disjointes ou séparées**

De manière classique, pour deux images d'une même scène enregistrées à des dates différentes, après la classification de chaque image, la détection des changements se fait par comparaison des résultats des deux classifications séparées (Chen Xiuwan, 2002 ; Iltis et al., 2001 ; Fotsing, 1998 ). La comparaison postclassification permet de distinguer les éléments stables de ceux qui ont changé entre les deux dates.

Cette technique est couramment utilisée et ne nécessite pas de corrections radiométriques préalables, car les images acquises à des dates différentes ne sont pas associées, mais traitées de manière indépendante. Par ailleurs, on peut utiliser des données annexes (cartes topographiques, photos aériennes) au moment des classifications initiales, et associer ensuite ces données aux images classées. L'exercice peut être mené de manière analogique par l'analyse visuelle simultanée sur écran ou sur des tirages transparents superposés manuellement. De plus en plus, les croisements post-classifications sont effectués par l'intermédiaire de systèmes informatiques de type SIG (Chen Xiuwan, 2002 ; Bouazzaoui et al., 2001 ; Sader et al., 2001 ; Roy et Tomar, 2001 ; Imbernon, 1999 ; Michener et Houhoulis, 1997). Par des requêtes, on obtient des statistiques de synthèse qui décrivent l'évolution des états de surface.

L'efficacité de la détection des changements par les classifications disjointes dépend de la qualité des classifications indépendantes qui sont ensuite juxtaposées. Les erreurs éventuelles commises sur chaque classification séparée se répercutent sur les résultats finaux croisés, ce qui est de nature à entraîner une surestimation ou une sous-estimation des changements. Ces défaillances peuvent être corrigées par le caractère interactif de la méthode (va et vient entre les images multidates affichées côte à côte). La détection et la mise en évidence des modifications peuvent également être facilitées par l'identification préalable des thèmes de changement à quantifier. Ce rapide tour d'horizon montre que les méthodes et techniques employées en télédétection des changements sont très nombreuses et présentent chacune des avantages et des inconvénients. La fiabilité des résultats est souvent évaluée à partir de l'application successive ou combinée de plusieurs méthodes et techniques.

L'exercice est délicat car l'interprétation des résultats est très complexe en l'absence de relevés de terrain et de connaissances sur les mécanismes qui sous-tendent les changements radiométriques imputés aux modifications des états de surface. Dans la réalité, les conditions idéales sont rarement réunies pour que les différences de valeur radiométrique de deux acquisitions effectuées à deux dates données, soient uniquement le fait des changements d'occupation du sol.

Par ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que ces méthodes et techniques permettent seulement de détecter les changements que montrent des enregistrements décalés dans le temps. A ce titre, ces changements correspondent simplement à des différences d'états à des dates précises, et n'expriment pas de manière explicite une dynamique continue dans le temps. Cependant, les informations obtenues constituent une base fiable pour des investigations sur les processus et les modalités de déroulement des dynamiques qui ont pu avoir lieu entre les différents enregistrements. L'automatisation des traitements débouche de plus en plus sur de nouvelles méthodes de détection et de quantification des changements. Il en est ainsi des systèmes experts (Rogan et al., 2002), des ondelettes et fractales (Carvalho et al., 2001), de la logique floue (Fisher et Pathirana, 1993), et de la généralisation spatio-temporelle (Woodcock et al., 2001). La simulation et la modélisation des processus ou trajectoires de changements (Mertens et Lambin, 2000).

La synthèse que nous venons de présenter fait le point sur les méthodes et techniques de caractérisation de l'occupation du sol. Dans ce cas, on peut regrouper les méthodes et techniques en deux catégories : l'approche analogique pour une description qualitative, et l'approche numérique pour une description quantitative. Appliquées aux images disponibles pour cette étude, quelles organisations spatiales des changements ces méthodes vont-elles permettre de mettre en évidence ?

## Chapitre 02 : Caractérisation de la zone d'étude

### 1- Aspects physique et biotique de l'Oranie

L'Algérie est assez singulière en matière de géographie puisque le climat et le relief sont assez diversifiés sur de faibles distances. L'Oranie se distingue du nord au sud par des régions naturelles assez remarquables: le Tell, les Hautes Plaines Steppiques appelées souvent les Hauts Plateaux, l'Atlas Saharien et le Sahara. Elle présente également certaines particularités comme le souligne Boudy (1948) " ... nous entrons en Oranie, qui est un monde à part, avec un paysage un peu steppique attesté par la présence d'alfa et de lacs salés (sebkha). Le drainage de la plaine est insuffisant. L'érosion y est en lutte avec le soulèvement orogénique; car le pays n'a pas encore acquis son relief définitif, d'où de graves inondations par déféctuosité du modèle."

Cette partie occidentale de l'Algérie qu'est l'Oranie se distingue selon Benabdeli (1996) par les points suivants:

- trois types de relief parallèles à la mer avec une altitude ascendante du nord au sud selon la configuration du terrain où on traverse les sahels, l'atlas plissé et l'atlas tabulaire. L'altitude dans ces deux formes orographiques augmente d'est en ouest,
- la liaison entre les hautes et les basses plaines, hautes plaines telliennes et hautes plaines steppiques est présente grâce à des brèches facilitant cette communication. Cependant seules les basses plaines communiquent avec la mer,
- les différences géographiques et physiques sont moins marquées entre l'Oranie et le Maroc qu'entre l'Oranie et l'Algérois.

#### 1.1- Aspects physiques généraux

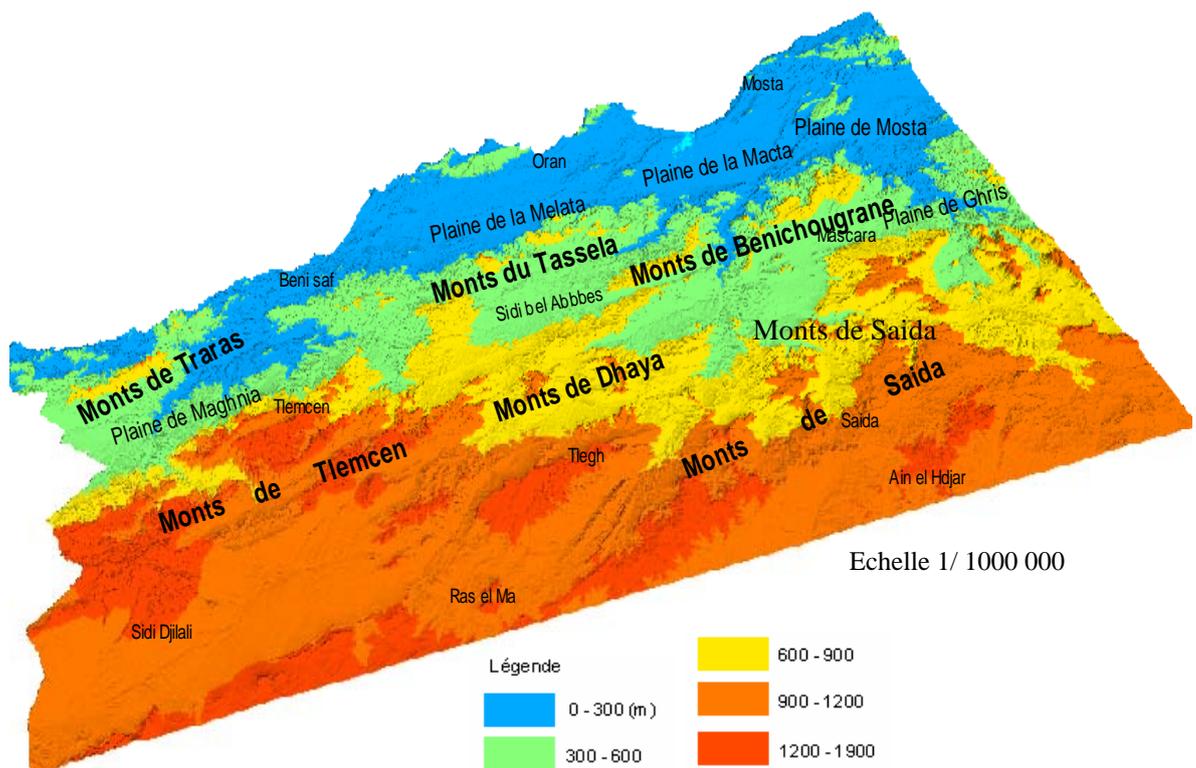
La compréhension de la dynamique des différents espaces de l'Oranie exige une caractérisation physique et écologique de cette région géographique.

Thintoin divise cette région en cinq parties:

- reliefs littoraux ou sahels, l'altitude oscille entre 250 et 882 mètres,
- les plateaux néogènes situés entre des reliefs littoraux ont une altitude variant entre 100 et 200 mètres. Ils forment avec les basses plaines un seul ensemble, ces dernières communiquent avec le littoral; leur altitude se situe entre 0 et 200 mètres et sont occupées par des marais ou des lacs salés,
- l'atlas plissé constitué d'est en ouest des monts de Béni Chougrane, des Ouled Ali et des monts du Tessala avec des altitudes maximales respectives de 910 , 726 et 1061 mètres

avec un fort pourcentage de surface localisée entre 600 et 800 mètres. D'une largeur de 20 à 60 kilomètres il forme une barrière difficilement franchissable à l'exception de quelques brèches qu'empruntent les oueds El Hammam, Mektoub, Mékerra et Isser,

- les hautes plaines telliennes représentées par celle de Sidi Bel Abbas et Sidi Ali Benyoub s'étendant au sud de l'atlas plissé et communiquent avec les basses plaines littorales. Leur altitude oscille entre 400 et 720 mètres, elles sont coincées entre l'atlas plissé et l'atlas tabulaire,
- l'atlas comprenant trois groupes de monts d'est en ouest: les monts de Saïda, les monts de Dhaya, les monts de Tlemcen. L'altitude est comprise entre 1000 et 1500 mètres, les points culminants sont Aïn El Hadjar avec 1175 m, djebel Bougib avec 1468 m, djebel Tenouchfi avec 1843 m. Comme l'atlas plissé il constitue une barrière entre les hautes plaines steppiques et les hautes plaines telliennes; il est également entrecoupé de brèches qu'utilisent les rares oueds de Saïda et Taourira à l'est (monts de Saïda), la Mékerra pour les monts de Dhaya et l'oued Tafna pour les monts de Tlemcen.



**Figure 06:** Géographie physique de l'Oranie du Nord

## 1.2. Aspects édaphiques

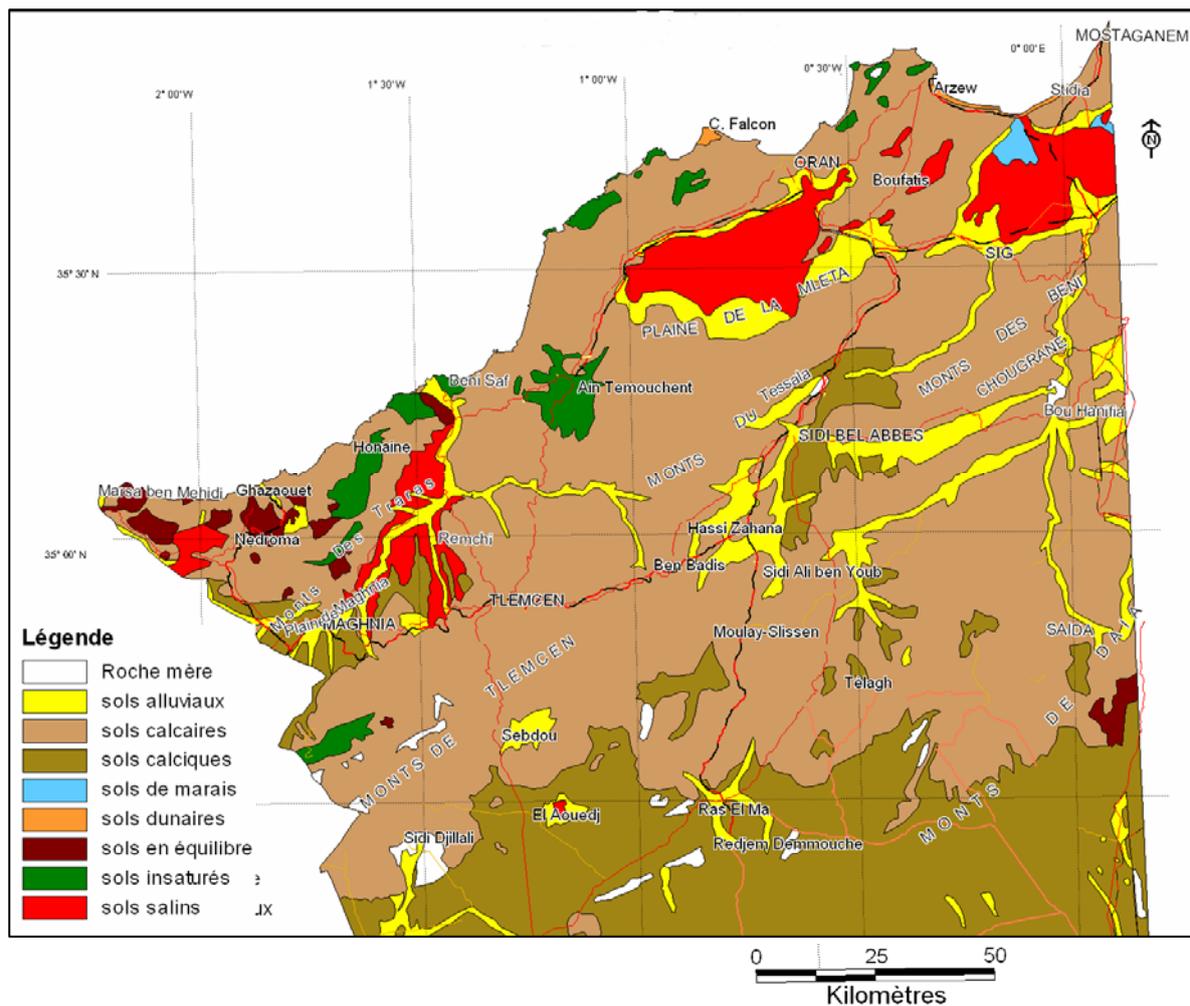
Benabdeli en 1996 note à propos des différents types de sols en Oranie : « Les renseignements sur la pédologie sont peu disponibles sur l'entité régionale, seuls quelques travaux localisés et sans importance pour notre étude ont été faits. Les sols de la région peuvent être classés en trois grands groupes: sols calcaires, sols rouges et sols calciques ».

Généralement n distingue :

- **les sols calcaires** : ils sont formés sur des roches calcaires plus ou moins compactes et contiennent une certaine proportion de matière organique qui permet de les diviser en deux sous -type selon l'importance de cet élément. Les zones où ces sols dominent sont le plus souvent caillouteuses, des bancs de roc apparaissent sur les crêtes. C'est des terrains le plus souvent légers, perméables, à humus peu abondant se transformant assez rapidement. Ils occupent une partie assez importante de l'Oranie et sont localisés comme suit:
- **Les sols rouges** : on distingue trois types caractérisés généralement par une richesse en fer libre, une texture argilo-limoneuse et une friabilité se traduisant par des terra rossa non calcaire (Ca CO<sub>3</sub> inférieur à 1%), des terra rossa peu calcaire (Ca CO<sub>3</sub> inférieur à 10%) et des rendzines rouges. A ce sujet DURAND (1954) soulignait: " les terra rossa servent de roche mère aux sols actuels qui peuvent être calcaires, insaturés, solonetziques et même podzoliques". Le terme de sol rouge méditerranéen est également souvent utilisé, cet auteur propose à juste titre de le réserver à l'association de sols qui se forment sur terra rossa, en zone karstique sous l'influence de microclimats.
- **Les rendzines** : à ce sujet Alcaraz en 1982 note: " elles proviennent d'un remaniement de terra rossa et de fragments de roches calcaires. Elles ont pris naissance sur des sols calcifères tendres, comme les marnes, par un processus identique à celui qui a donné naissance aux terra rossa. Les rendzines rouges se caractérisent également par le fait que l'horizon superficiel est plus riche en calcaire que les horizons sous-jacents, mais moins riche en cet élément que la roche mère ».
- **Les sols calciques** : ils sont concentrés sur les plaines steppiques et parfois sur les dépressions des hautes plaines telliennes ils sont caractérisés par un seul horizon, peu épais, plus ou moins riche en calcaire, avec un pourcentage appréciable de matière organique (entre 5 et 8%).
- **Synthèse édaphique**

La répartition de ces principaux types de sol en Oranie selon Benabdeli (1996) permet d'avancer les conclusions suivantes quand à leur utilisation ou occupation:

- les sols calcaires non humifères sont colonisés par des formations basses à un stade de dégradation avancé ou par des cultures annuelles le plus souvent après défrichage,
- les sols calcaires humifères sont colonisés par une végétation forestière où dominent pinède et chênaie pures ou mixtes,
- les sols rouges colonisés par des formations assez diversifiées où dominent le chêne vert et son cortège,
- les sols calciques occupés essentiellement par l'alfa.



**Figure 07:** carte des sols de l'Oranie du Nord

### 1.3. Aspects climatiques

**Les précipitations :** Les hauteurs mensuelles peuvent, tout comme les annuelles s'écarter de leur moyenne et la répartition sur les douze mois de l'année est différente tant d'une année à l'autre que de la moyenne générale. La répartition des pluies en Oranie par saison est de l'ordre de 35% en

hiver, 30% en automne, 10% en été et 25% au printemps ce qui confère à la région un régime pluviométrique du type H. A. P. E.

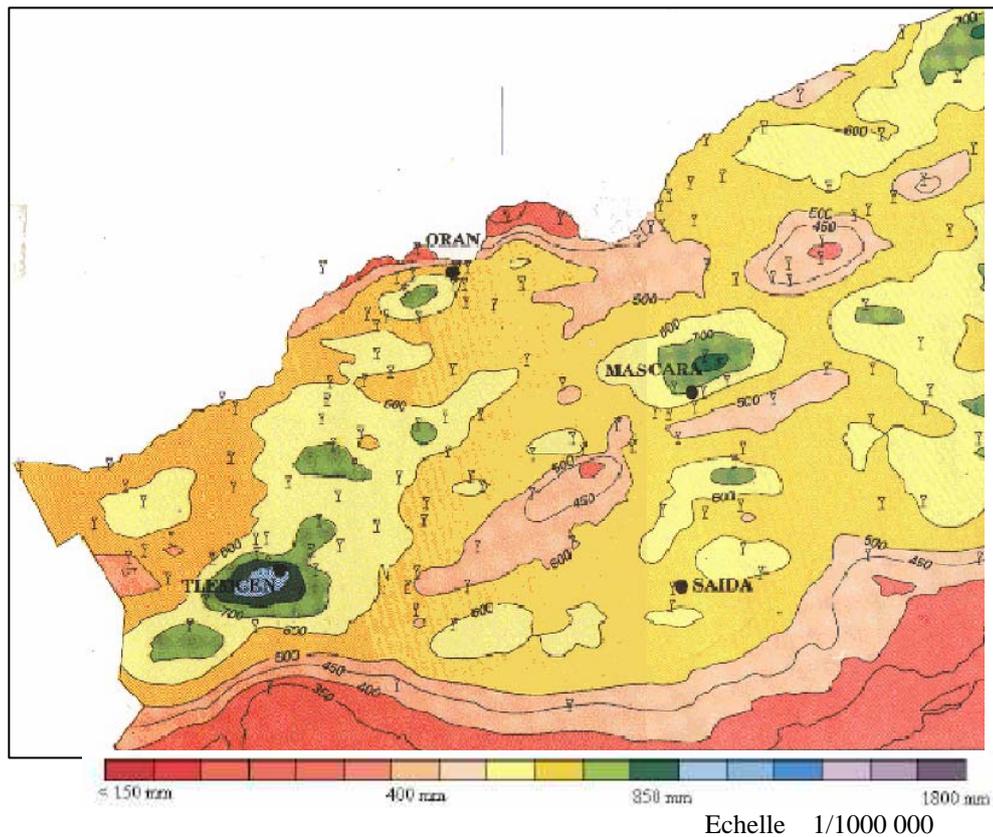
Les deux tableaux suivants récapitulent quelques données climatiques intéressantes

**Tableau 03:** Répartition des pluies en Oranie.

Stations	P mm	Nombre de jours	Stations	P mm	Nombre de jours
ORAN	405	59	MAGHANIA	418	50
TLEMCEN	638	52	HAFIR	748	66
S.B.ABBES	395	61	SLISSEN	354	62
DHAYA	487	71	SEBDOU	306	65

Les précipitations de la région se caractérisent également par des pluies le plus souvent orageuses et parfois même torrentielles, au printemps surtout les orages augmentent au fur et à mesure que la latitude baisse et que la continentalité est présente. On enregistre entre 40 et 116 pluies orageuses en moyenne par an respectivement à Doualhia (monts de Dhaya) et à Hafir (monts de Tlemcen) avec une intensité remarquable puisque on recueille en moyenne par 24 heures entre 30 et 70 mm. Cette situation a été vécue durant la période de 1980-1986 et toutes les formations végétales ont connu un stress se soldant par des dessèchements et une absence totale de rejets et de semis.

**Les températures :** Les renseignements de base demeurant ceux de Seltzer (1946), Chaumont et Paquin (1975) et l'ANRH (1993) auxquelles viennent s'annexer des éléments fragmentaires par référence aux courbes isothermiques. Devant la carence en données climatiques précises certains auteurs et chercheurs, pour pallier à la rareté des données utilisent certaines interpolations et extrapolations où les gradients suivants ont été utilisés: -décroissance de 0,4°C pour un accroissement altitudinal de 100 m pour les températures moyennes minimales (m) et décroissance de 0,7°C pour le même accroissement en ce qui concerne les températures moyennes maximales (M).



**Figure 08:** carte des précipitation d'après ANRH 1993

Pour préciser l'importance de l'étage bioclimatique dans des travaux sur la végétation QUEZEL (1976) insistait sur: "... une connaissance précise des bioclimats permet seule de comprendre la répartition et les rapports respectifs des divers types de forêt méditerranéenne. Il faut malheureusement reconnaître que nos informations étant encore le plus souvent fort incomplètes, en raison du faible développement du réseau météorologique, dans certaines régions on est amené à faire des extrapolations, avec le degré d'incertitude qu'elles impliquent ".

Dans la région, la valeur de ce quotient varie de 32 à 123 avec cependant deux tranches de valeur 32 à 88 en basse altitude et 43 à 123 en altitude, ce qui permet de définir deux principaux étages bioclimatique: le semi-aride et le subhumide. Le dernier se rencontre essentiellement en altitude (au delà de 800-1000 m) et dans des zones localisées et de faible importance en étendue, il est présent à l'ouest à partir de 800 m et se manifeste à l'est à des altitudes supérieures à 1200 m. Le découpage bioclimatique de la région n'est pas complexe et obéi l'orographie, aux précipitations et à la végétation en place.

**Quotient pluviothermique d'Emberger :** il reste un quotient largement utilisé pour localiser les zones d'études dans des étages pouvant être corrélés avec la végétation. Selon le mode de calcul et

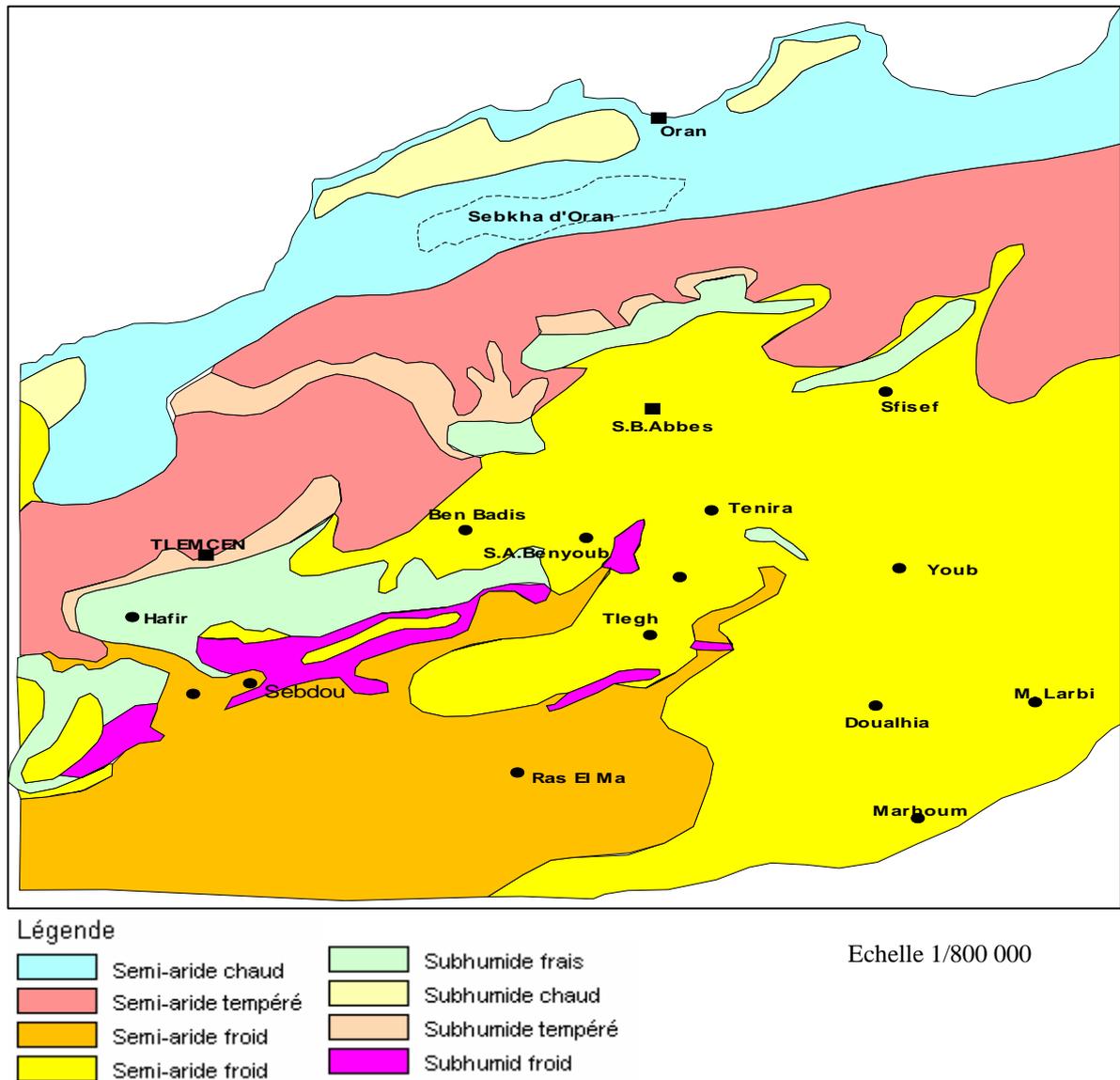
pour quelques stations de l'Oranie Benabdeli (1996) a calculé les différents quotients de quelques stations de l'ouest algérien et donne les résultats suivants :

**Tableau 04:** Quotient pluviothermique de l'ouest algérien

Stations	P mm	Emberger	Stewart	Houérou	Djebar
Saida	430	43,8	43,9	43,0	45,6
Tiaret	622	68,4	68,2	62,2	65,9
Mascara	511	56,9	57,1	51,1	54,2
Doualhia	375	40,1	39,8	37,5	39,8
O. Slissen	358	34,5	33,4	35,8	37,9
S.. Abbes	395	43,4	43,3	39,5	41,9

Les diverses classifications des climats et bioclimats ont retenues l'attention de plusieurs chercheurs et spécialistes en la matière, diverses interprétations sont connues sans pour autant remettre en cause les fondements de cette discipline. Cependant une unanimité semble être obtenue selon QUEZEL (1979): "...la quasi-totalité des bioclimatologues et des écologistes de l'ancien monde ont actuellement adopté les idées d'EMBERGER (1930-1945) reprises et précisées en particulier par SAUVAGE (1963), AKMAN et DAGET (1971), NAHAL (1972), DAGET (1977) qui rapportent au climat méditerranéen tous les types climatiques à la sécheresse estivale présente ou prépondérante, quelles que soient les valeurs thermiques hivernales ". La façon la plus objective pour caractériser le bioclimat de la région et des zones définies repose sur les stations météorologiques de référence sélectionnées, au nombre de 16 et de les positionner sur un climagramme comme défini par SAUVAGE (1963) en se basant sur les valeurs suivantes:

- bioclimat per-aride      P inférieur à 100 mm      Q inférieur à 10
- bioclimat aride      P entre 100 et 400 mm      Q entre 10 et 45
- bioclimat semi-aride      P entre 400 et 600 mm      Q entre 45 et 70
- bioclimat subhumide      P entre 600 et 800 mm      Q entre 70 et 110
- bioclimat humide      P entre 800 et 1200 mm      Q entre 110 et 150
- bioclimat per-humide      P supérieur à 1200 mm      Q supérieur à 150



**Figure 09:** Etages bioclimatiques de l'Oranie du Nord (Benabdeli, 1996 modifiée par Sitayeb)

### 1.3. Aspects biotiques

La végétation constitue un élément important renseignant sur l'occupation des sols, d'ailleurs elle n'est que le reflet de la qualité du sol et bien sur du climat. Dans cette région la présentation des grandes caractéristiques floristiques suffit pour comprendre la dynamique des principales formations en se limitant à faire ressortir les principaux traits de la seule végétation forestière.

La flore nord africaine est très proche de celle du domaine méditerranéen d'Europe avec cependant un caractère nettement xérothermique. A ce sujet Boudy (1948) notait: " En Algérie, Tunisie on

compte 3.000 espèces végétales dont 1900 se retrouvent en Espagne, 1600 en Italie, 1500 en France, avec 700 endémiques...En Afrique du Nord on compte 270 espèces ligneuses dont 68 essences forestières: 17 principales ou sociales et 51 subordonnées. Les essences principales sont des arbres de première grandeur constituant des peuplements soit purs soit en mélange."

Un inventaire des espèces principales et subordonnées (en reprenant les termes de Boudy (1948) en Oranie nous donne la liste suivante:

- espèces principales:

*Pinus halepensis*, *Quercus coccifera*, *Quercus suber*, *Quercus rotundifolia*, *Quercus faginea*, *Tetraclinis articulata*, *Pinus pinaster*,

- espèces subordonnées

*Juniperus oxycedrus*, *Olea europea*, *Laurus nobilis*, *Rhus pentaphylla*, *Prunus avium*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo*, *Pistacia terebentus*, *Erica arborea*, *Ilex aquifolium*, *Phillyrea angustifolia*, *Acer campestre*

Les principales plantes ligneuses de l'Oranie ont été répertoriées puis classées selon d'abord un aspect botanique puis physiologique. C'est sur les groupements climaciques que les travaux se sont le plus concentrés. Les formations actuelles ne peuvent que représenter les grandes lignes, cependant même modifiées et perturbées, elles gardent un aspect indicateur important pour la reconstitution de la végétation.

Les principaux groupements végétaux de l'espace forestier ont été assez bien synthétisés par Benabdeli (1996) qu'il récapitule comme suit :

1- *Pinetum halepensis*: Elle affecte plusieurs faciès, le pin d'Alep qui la caractérise est une espèce typique de l'étage semi-aride, colonisatrice grâce à sa rusticité et sa plasticité, elle s'installe rapidement et piétine des essences dans leur milieu lorsque la tranche pluviométrique est faible et la température assez élevée. En Oranie on distingue un faciès littoral et sublittoral où cette association est très faiblement représentée en superficie et un faciès continental tellien de montagne constituant son aire de prédilection.

Elle présente la composition floristique moyenne suivante:

*Quercus rotundifolia*, *Rosmarinus tournefortii*, *Pistacia lentiscus*, *Stipa tenassicima*, *Pistacia terebinthus*, *Genista tricuspida*, *Phillyrea angustifolia*, *Genista quadriflora*, *Phillyrea media*, *Ampelodesma mauritanicum*, *Juniperus oxycedrus*, *Cistus villosus*, *Quercus coccifera*, *Chamaerops humilis*

2-*Callitricetum*: Association purement xérophile et thermophile se développant cependant dans les mêmes conditions climatiques et édaphiques que le *Pinetum halepensis* cependant elle est sensible au froid et à l'humidité. Les principales espèces ligneuses constituant cette association sont:

*Tetraclinis articulata, Rhamnus alaternus, Pistacia lentiscus, Rosmarinus tournefortii, Quercus coccifera, Ceratonia siliqua, Phillyrea media, Cistus ladaniferus, Arbutus unedo, Cistus villosus, Calycotum intermedia, Erica multiflora, Genista quadriflora*

3- *Quercetum suberis*: Association très fragile, en concurrence avec l'*Oleo-lenticetum* qui l'élimine des sols argileux au même titre que le *Pinetum halepensis* qui la domine sur sol calcaire; en altitude elle est concurrencée par le chêne zeen et le chêne vert. Sa composition floristique dépend de l'étage bioclimatique, en Algérie occidentale cette association se cantonne essentiellement dans l'étage subhumide où elle se maintient difficilement.

Les principales espèces contribuant à la formation de cette association sont:

*Quercus suber, Ampelodesma mauritanicum, Quercus rotundifolia, Genista quadriflora, Quercus faginea, Cistus ladaniferus, Erica arborea, Cistus villosus, Arbutus unedo, Cytisus triflorus, Viburnum tinus, Rhamnus alaternus, Pistacia lentiscus, Phillyrea media*

4- *Quercetum illicis*: C'est l'association la plus importante, robuste et plastique supportant froid et chaleur, végète lorsque les conditions lui sont défavorables et redémarre dès que celle-ci s'améliorent, arrive à s'adapter au couvert en sous-tasse pendant un assez long temps et colonise tout l'espace libre. Éliminée en terrain argileux par l'*Oleo-lenticetum* et en terrain sec et chaud par le *Pinetum halepensis*.

Elle présente deux faciès:

- un montagnard très xérophile avec une dominance des espèces suivantes

*Quercus rotundifolia, Juniperus oxycedrus, Fraxinus dimorpha, Ephedra altissima, Rosmarinus tournefortii, Phillyrea media, Pistacia atlantica, Pistacia terebenthus*

- un de basse altitude d'étage humide et subhumide avec des espèces indicatrices:

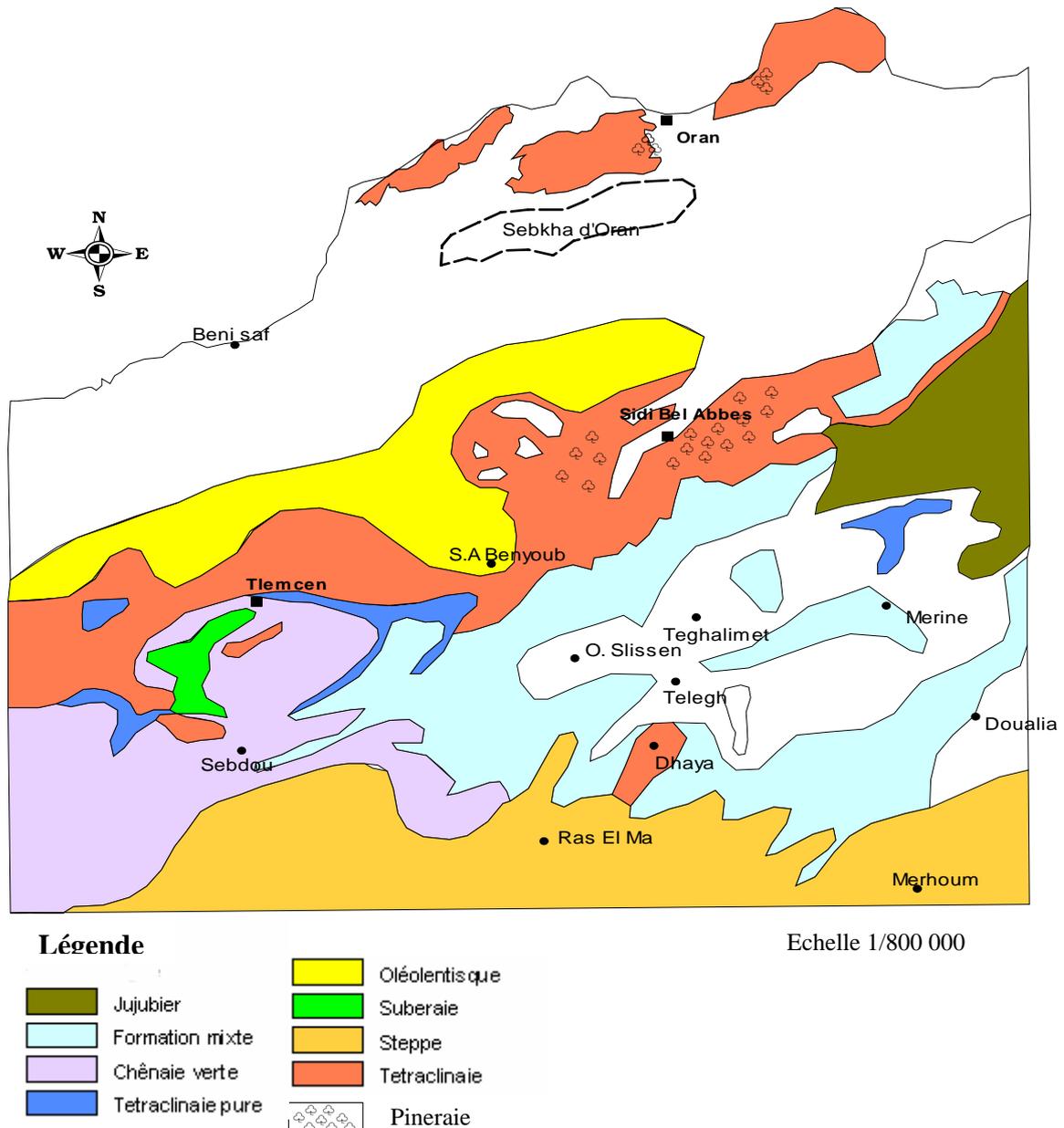
*Quercus rotundifolia, Pinus halepensis, Quercus faginea, Juniperus oxycedrus, Olea europea, Ceratonia siliqua, Viburnum tinus, Rhamnus alaternus, Genista tricuspidata, Calycotome spinosa, Ruscus aculeatus, Pistacia lentiscus, Cytisus triflorus, Phillyrea media, Cistus salvifolius, Jasminum fruticans, Arbutus unedo, Cistus villosus, Erica multiflora, Rosmarinus tournefortii*

5-*Oleo-lenticetum*: Association xérophile et thermophile avec plusieurs faciès, généralement très dégradée elle représente l'expression typique de la végétation de la région sur terrain argileux dans l'étage semi-aride. Elle renferme les espèces suivantes:

*Olea europea, Pistacia lentiscus, Quercus coccifera, Calycotome spinosa, Chamaerops humilis, Withania frutescens, Phillyrea media, Rhamnus elicoïdes, Ziziphus lotus, Cistus villosus*

6-*Quercetum faginea*: Association dense, fermée et élevée, résiste à la concurrence des autres espèces de son étage bioclimatique, envahissante dès que les conditions écologiques lui sont favorables. Les principales espèces qu'elle renferme sont:

*Quercus faginea*, *Quercus suber*, *Quercus rotundifolia*, *Cytisus triflorus*, *Ilex aquifolium*, *Ruscus aculeatus*, *Acer campestre*, *Viburnum tinus*, *Erica arborea*, *Cistus ladaniferus*, *Arbutus unedo*, *Ampelodema mauritanicum*



**Figure 10:** Carte des séries de végétation de l'Oranie du Nord (Benabdeli, 1996 modifiée par Sitayeb)

**Importance des séries de végétation :** La caractérisation d'entité climatique et l'individualisation de séries de végétation décomposées en groupements végétaux selon les variations des paramètres climatiques doit permettre de trouver une relation ou un trait d'union entre le climat et la végétation. Les travaux de Quezel (1976) et Alcaraz (1982) sont assez significatifs et donnent un aperçu global

et fidèle de cette relation où figure l'aire de répartition des principales essences par rapport aux valeurs du quotient pluviométrique (Q) et à celles des températures moyennes minimales (m). Une nouvelle carte est à faire pour localiser et cartographier les différentes séries de végétation dans le but d'apprécier leur dynamique. "

La physionomie des groupements végétaux est sous forme de matorral troué clair. La raison de ce faciès de dégradation est sans doute en relation avec le stress pluviométrique mais surtout édaphique intégrant l'ensemble des descripteurs orotopographiques et géomorphologiques et ce sont des caractères comme l'accumulation calcaire: croûte et encroûtement qui représentent la sommité de ce stress édaphique." résumait Letreuch-Belarouci (1995) le problème de l'action du substrat sur la végétation. Dans la région pratiquement tous les sols colonisés par une végétation ligneuse présentent un encroûtement et/ ou une croûte calcaire.

Devant la difficulté d'ordre matériel d'étudier toute la région ouest de l'Algérie, trois zones assez représentatives de l'Oranie ont été retenues en analysant leurs facteurs écologiques, une zone de montagne (forestière) , une zone humide et une zone de plaine.

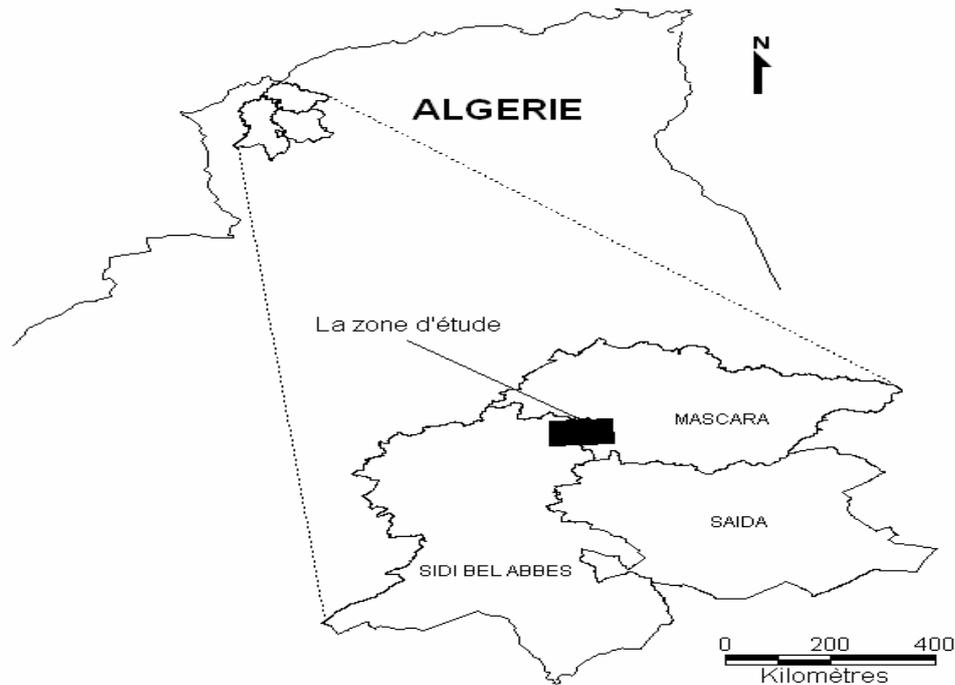
## 2. La zone montagneuse de Bénichograne

La zone s'inscrit dans un espace géographique qui fait partie à l'ouest des monts de Beni-Chougran. Elle se situe entre le nord ouest de la wilaya de Mascara et le Nord-Est de la wilaya de Sidi-bel-abbès où la forêt de Stamboul s'étend sur une superficie de 18030 ha.

Elle est comprise entre 0°18'et 0°09'de longitude ouest, et entre 35°16'48n et 35°20'24n de latitude nord (fig. 11). Et délimité par les coordonnées rectangulaires suivantes:

$$\begin{array}{llll} X_1 : -0.303458 & Y_1 : 35.3595 & X_2 : -0.1270 & Y_2 : 35.3554 \\ X_3 : -0.30681 & Y_3 : 35.2582 & X_4 : -0.130634 & Y_4 : 35.2542 \end{array}$$

Sur le plan administratif, cette région chevauche sur quatre communes : Bou-Hnifia, Hacine, Sfizef et Ain Adden.



**Figure 11** : Localisation de la zone d'étude

## 2.1 Caractéristiques du milieu physique

Le fonctionnement du milieu physique dépend des différents facteurs qui agissent directement ou indirectement sur l'évolution de l'espace.

### 2.1.1 La topographie

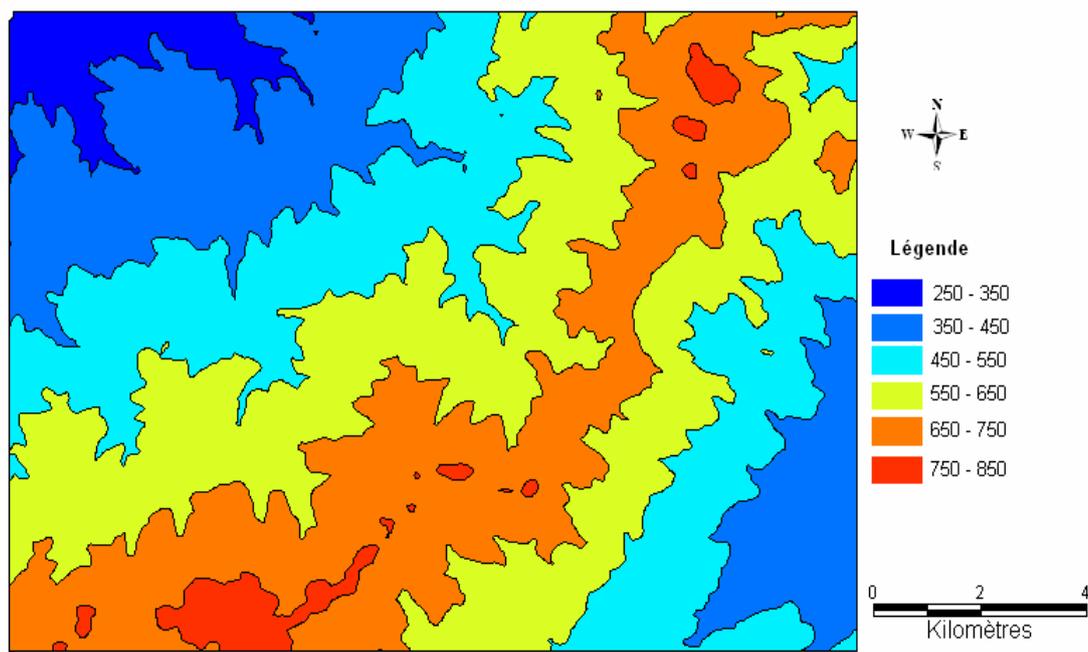
#### L'altitude

La zone d'étude s'étend sur une superficie de 18 030 ha, son altitude est comprise entre 256 et 814 mètres, avec une altitude moyenne de l'ordre de 461 et 600 mètres. Les altitudes minimales sont localisées au nord-ouest et sud-est et fluctuent entre 256 à 461 mètres tandis que l'altitude maximale oscille entre 640 à 814 mètre dans la partie centrale de la zone. (fig. 12).

#### La pente

La cartographie hypsométrique d'une zone donnée est nécessaire pour déterminer la nature du relief qui agit sur l'occupation des sols, la distribution de la végétation, les activités agricoles et les phénomènes des écoulements des eaux.

A partir du modèle numérique de terrain (MNT) nous avons tracé la carte des pentes déterminant les différentes classes de pentes dans la zone d'étude (fig. 13).

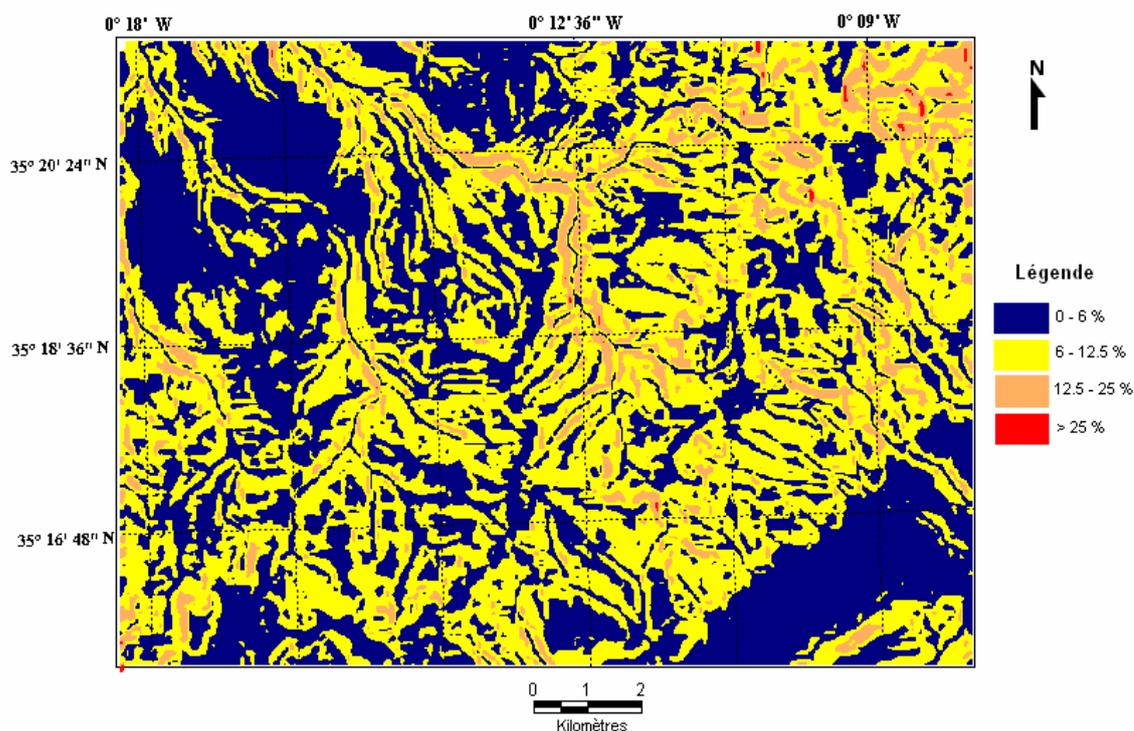


**Figure 12 :** Carte hypsométrique

Quatre classes ont été retenues (tableau 05): des pentes faibles à très faibles, inférieures à 6%. Plus de 50% sont dominées par des pentes entre 6 à 12.5 de déclivités, la zone montagneuse où les pentes varient entre 12% et 25% de déclivité. Et des montagnes proprement dit à des fortes pentes supérieures à 25 % qui ne dépassent guère 15ha.

**Tableau 05:** Les de pentes dans la zone d'étude

pourcentage	Surface (ha)	Classe de pente	N° de classe
44%	7831	0 – 6%	1
48.4%	8598	6 – 12.5 %	2
7.5%	1327	12.5- 25 %	3
0.1%	15	> 25 %	4



**Figure 13 :** Carte des pentes

La zone d'étude se caractérise par une pente modéré à forte, donc l'écoulement des eaux est très rapide ce qui provoque un drainage naturel, causant la dégradation des sols.

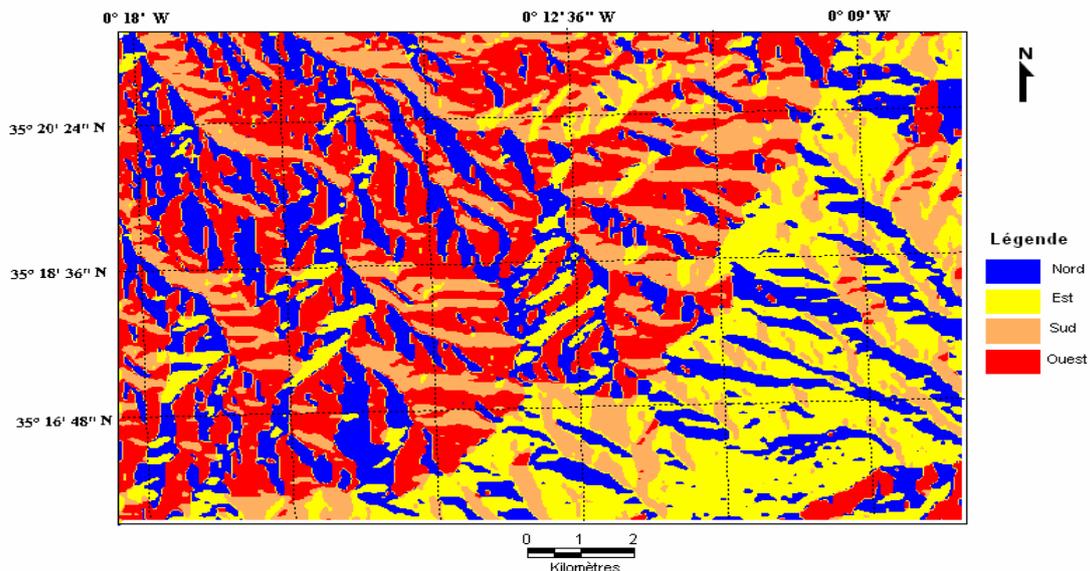
### L'exposition

L'exposition correspond à l'angle que fait la normale à la surface par rapport à une direction donnée (Nord géographique); cette orientation pour les versants permet de comprendre certaines occupations et comportement de la végétation par l'intermédiaire de l'ensoleillement et de l'humidité. La carte d'exposition (fig. 14) a été obtenue à partir du modèle numérique de terrain (MNT). Ce paramètre joue un rôle très important dans plusieurs domaines d'étude (ex : répartition des précipitations, etc.). Le tableau (06) représente les différentes classes d'exposition.

**Tableau 06 :** classe d'exposition

Classe d'exposition	Superficie (ha)	Pourcentage%
Nord	4426	24.9%
Est	4230	23.8%
Sud	4042	22.75%
Ouest	5073	28.54%

Globalement la zone d'étude est orientée sur les quatre directions à parts pratiquement égales. L'exposition Nord recevant une quantité importante d'humidité par la brise marine et les vents d'ouest humides. Tandis que la partie orientée vers le Sud et l'Est reçoit une quantité importante d'ensoleillement. Ces deux facteurs (ensoleillement et humidité) sont parmi les paramètres pouvant expliquer le type de végétation et l'utilisation des sols de la zone d'étude.



**Figure 14 :** Carte d'exposition

### 2.1.2 Hydrographie

Le réseau hydrographique de la zone s'articule sur le barrage de Chorfa qui collecte l'eau de l'oued Chorfa situé en amont, ce barrage est destiné à l'irrigation des oliveraies avec une capacité avoisine les 14 millions de m<sup>3</sup>. D'après les informations recueillies auprès des services de l'Hydraulique de Mascara, l'alimentation en eau potable sera renforcée davantage par la réalisation d'une station de traitement au barrage de Chorfa.

### 2.1.3 Géologie

Les monts de Beni-Chougrane se présentent comme un petit ensemble de massif, intégrés dans l'alignement de l'Atlas tellien nord-occidental, leur aspect montagneux provient d'avantage de la netteté de leur contact avec les plaines de l'Habra au Nord et celle de Ghris. Leur relief s'élève dans l'ensemble du Nord vers le sud, passant de 300-400m à 700-800m, et culminant seulement sur la bordure sud de la chaîne. (Benchetrit, 1973).

La zone d'étude se situe sur les piémonts ouest des monts de Beni-Cougrane, et culmine à 730m d'altitude. L'altitude moyenne varie entre 400 à 700m avec des pentes moderne à fortes ce qui explique l'aspect montagneux de la région.

#### **2.1.4 La lithologie**

Plusieurs auteurs ont étudié la géologie des monts de Beni-Chougrane notamment Gsell (1928) et Benchetrit (1973). Les formes majeures du relief de ces moyennes montagnes sont des calcaires tendres créacés et éocènes des marnes, des marno-calcaires et des grés marneux oligo-miocènes. Plusieurs surfaces d'érosions largement déployées et étage dont la surface villafranchienne ainsi que différents niveaux quaternaires, sous formes de glacis d'érosion et glacis-terrasses dissimulent l'importance des accidents tectoniques pourtant nombreux et souvent très vigoureux. Ces accidents sont à l'origine de failles, de chevauchement, de pendages et de montées de trias gypseux.

Les formes mineures notamment les ravinements, les cicatrices consécutive à des glissements de terrain témoignent à l'évidence d'une reprise d'érosion généralise et accéléré. Et malgré l'impétuosité de son rythme elle est loin d'effacer l'héritage des phases morphogénétiques quaternaires précédents.

La série du quartenaire : elle est constituée par les basses terrasses constituées par des alluvions récentes du niveau inférieur de nature limoneuse et granuleuse. Les alluvions de niveau supérieur, limoneuses avec des lentilles de graviers sont une autre structure géologique. Les alluvions du niveau inférieur représentées par des dépôts caillouteux de l'ancien cours des oueds sont présentes.

Les alluvions anciennes du niveau supérieur sont représentées par des cailloux et blocs roulés, gréseux ou calcaires, plus au moins cimentés entre 30 et 60 m sur les deux rives des oueds.

On rencontre également les alluvions du Pliocène, très altérées, coloration rougeâtre, formées de limons et des lits subordonnés de calcaire granuleux. Le Miocène est présent et est composé de plusieurs couches superposées, horizon supérieur est représenté par des gypses assez puissants. En certains endroits dominant les marnes et calcaires marneux, puis au-dessous viennent des marnes blanches à la base de l'étage comprend des calcaires à lits de silex brun puis les marnes grises.

- Les calcaires à lithamium : assez puissant
- Les argiles helvétiques : grises, déliscentes très boueuses après la pluies

L'Oligocène est représenté par les grés et marnes à lepidocyclines : constituées par des grés roux grossiers et en blancs peu épais. Par contre l'Eocène inférieur se présente sous son faciès si typique de calcaire crayeux blancs et à rognons de silex noir. Il est accompagné de grés et marnes schisteuses.

Le Crétacé avec le Maestrichtien permet la présence de calcaire, souvent ferrugineux et avec bancs marneux. Le Sénonien prend les faciès bien connu des marnes gris foncé avec intercalation des bancs calcaires. L'Albien surtout marneux, avec intercalation de bancs minces de grès quartzeux. L'Aptien est principalement formé de marnes gris bleuâtre à bancs de grès et ferrugineux. Il ne se distingue pas toujours facilement de l'étage supérieur.

Le Secondaire avec le Trias où dominant les marnes bariolées, souvent rouge ou violacées, cargneules et calcaires dolomiques dures en général et compactes

### Caractéristiques édaphiques

Les principaux types de sols rencontrés sont:

- Les vertisols gris ou noirs: c'est des sols formés sur marnes, occupant les bas-fonds, les replats et les versants.
- Les sols bruns calcaires: formés sur marnes ou grès, occupent généralement des surfaces assez importantes sur les collines. Ces sols sont pauvres en éléments chimiques, fragiles, et sensibles à l'érosion.
- Les sols peu évolués qui se sont développés généralement sur du calcaire tendre et friable. Souvent, ces types de sols occupent le haut des versants.

#### 2.1.5 Description des formations végétale

La végétation constitue un élément important du milieu physique, d'ailleurs elle est le reflet de la qualité du sol et du climat. Son rôle majeur est d'assurer l'équilibre écologique et protéger l'eau et le sol.

##### 2.1.5.1 Végétation naturelle

La végétation naturelle de la région étudiée se compose essentiellement de groupements végétaux thermophiles et à large spectre écologique comme le *Pinus halepensis*, le *Tetraclinis articulata* et le *Quercus rotundifolia*. Les espèces ubiquistes rencontrées dans ces trois groupements forestiers recèlent un cortège floristique peu diversifié composé d'espèces assez résistantes aux conditions de l'aridité. On y rencontre :

**Strate arborescente :** *Tetraclinis articulata*, *Pinus halepensis*, *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Olea europea* et *Juniperus Phoenicea* et *oxycedrus*.

**Strate arbustive et buissonnante :** *Pistacia lentiscus*, *Ziziphus lotus*, *Rhus pentaphylla*, *Erica arborea*, *Genista tricuspidata*, *Phillyrea angustifolia*, *Lavendula dentata*

Les conditions climatiques, anthropiques et édaphiques ont provoqué la dégradation des formations végétales. A cet égard les espèces encore présentes sont les plus résistantes.

En reprenant la description qu'a faite Benabdeli (1983 et 1996) Les principaux groupements forestiers dominants dans la zone sont au nombre de 4 :

**1- *Pinetum halepensis***: Elle affecte plusieurs faciès, le pin d'Alep qui la caractérise est une espèce typique de l'étage semi-aride, colonisatrice grâce à sa rusticité et sa plasticité, elle s'installe rapidement et piétine des essences dans leur milieu lorsque la tranche pluviométrique est faible et la température assez élevée. En Oranie on distingue un faciès littoral et sublittoral où cette association est très faiblement représentée en superficie et un faciès continental tellien de montagne constituant son aire de prédilection.

Elle présente la composition floristique moyenne suivante: *Quercus rotundifolia*, *Rosmarinus tournefortii*, *Pistacia lentiscus*, *Stipa tenassicima*, *Pistacia terebinthus*, *Genista tricuspidata*, *Phillyrea angustifolia*, *Genista quadriflora*, *Phillyrea media*, *Ampelodesma mauritanicum*, *Juniperus oxycedrus*, *Cistus villosus*, *Quercus coccifera*, *Chamaerops humilis*

**2-*Callitricetum***: Association purement xérophile et thermophile se développant cependant dans les mêmes conditions climatiques et édaphiques que le *Pinetum halepensis* cependant elle est sensible au froid et à l'humidité. Les principales espèces ligneuses constituant cette association sont: *Tetraclinis articulata*, *Rhamnus alaternus*, *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus tournefortii*, *Quercus coccifera*, *Ceratonia siliqua*, *Phillyrea media*, *Cistus ladaniferus*, *Arbutus unedo*, *Cistus villosus*, *Calycotum intermedia*, *Erica multiflora*, *Genista quadriflora*

**3- *Quercetum ilicis***: C'est l'association la plus importante, robuste et plastique supportant froid et chaleur, végète lorsque les conditions lui sont défavorables et redémarre dès que celle-ci s'améliorent, arrive à s'adapter au couvert en sous-tasse pendant un assez long temps et colonise tout l'espace libre. Éliminée en terrain argileux par l'*Oleo-lenticetum* et en terrain sec et chaud par le *Pinetum halepensis*.

Elle présente deux faciès:

- un montagnard très xérophile avec une dominance des espèces suivantes *Quercus rotundifolia*, *Juniperus oxycedrus*, *Fraxinus dimorpha*, *Ephedra altissima*, *Rosmarinus tournefortii*, *Phillyrea media*, *Pistacia atlantica*, *Pistacia terebinthus*

- un de basse altitude d'étage humide et subhumide avec des espèces indicatrices: *Quercus rotundifolia*, *Pinus halepensis*, *Quercus faginea*, *Juniperus oxycedrus*, *Olea europea*, *Ceratonia siliqua*, *Viburnum tinus*, *Rhamnus alaternus*, *Genista tricuspidata*, *Calycotome spinosa*, *Ruscus aculeatus*, *Pistacia lentiscus*, *Cytisus triflorus*, *Phillyrea media*, *Cistus salvifolius*, *Jasminum fruticans*, *Arbutus unedo*, *Cistus villosus*, *Erica multiflora*, *Rosmarinus tournefortii*

**4-Oleo-lentacetum:** Association xérophile et thermophile avec plusieurs faciès, généralement très dégradée elle représente l'expression typique de la végétation de la région sur terrain argileux dans l'étage semi-aride. Elle renferme les espèces suivantes: *Olea europea*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Calycotome spinosa*, *Chamaerops humilis*, *Withania frutescens*, *Phillyrea media*, *Rhamnus elicoïdes*, *Ziziphus lotus*, *Cistus villosus*

### 2.1.5.2 La végétation cultivée

Sur l'ensemble de la végétation concernant la zone d'étude, l'espace agricole est localisé sur les plaines ou la pente est inférieure à 6%, correspond essentiellement à la céréaliculture, au vignoble, à l'arboriculture et aux cultures maraichères. On remarque aussi des vastes étendus abandonnés induits par la jachère qui occupe en moyenne 25% de la superficie totale agricole (Sitayeb, 2009).

## 2.2. Cadre climatique

### 2.2.1. Les précipitations

La pluviométrie est parmi les principales composantes du climat, elle contribue à l'évolution et la répartition des espèces végétales dans les milieux naturels. De ce fait il est nécessaire de connaître l'évolution du régime pluviométrique de la station étudiée. La pluviométrie moyenne annuelle calculée sur les données disponible à la station météorologique de Bouhanifia pendant 20ans (1984-2004) est de 302mm. Cependant la variabilité interannuelle de cette moyenne est très importante.

**Les précipitations annuelles, mensuelles et saisonnières :** Les valeurs des précipitations annuelles et mensuelles de la station de Mascara montrent que le mois plus pluvieux est le mois de Novembre, et le mois de juillet est le plus sec. Cependant le régime annuel est caractérisé par une courte période d'hiver froide et sèche. Et une longue période d'été marquer par la sécheresse. Le régime pluviométrique saisonnier calculer sur 20 ans est de type **H A P E** ; la station reçoit 37.6% en hiver, 30.1% en automne, 27.9% en printemps et **4.3%**.

**Tableau 07 :** variation des précipitations dans la station de Bouhanifia (1984-2004)

saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Pluviométrie	20.1	25.7	45.2	33.2	37.5	43.0	36.2	27.0	21.2	4.9	3.6	4.4
Moy saisonnière	<b>91.0 mm</b>			<b>113.7 mm</b>			<b>84.4 mm</b>			<b>12.9 mm</b>		
% saison	<b>30.1</b>			<b>37.6</b>			<b>27.9</b>			<b>4.3%</b>		

### 2.2.2. Les températures

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

Seules les valeurs ayant une signification biologique sont prises en considération : Températures moyennes mensuelles (T moyenne), est de 13C°,

Température moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) est de 35.3C,

Température des moyennes des minima du mois le plus froid (m) est de 2.6C.

**Tableau 08:** répartition des Températures moyennes mensuelles et annuelle en C° (1984-2004)

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
m	2.6	3.4	5.0	7.1	10.2	14.2	17.2	17.8	14.9	11.0	7.0	4.3	8.1
M	14.6	16.1	19.0	21.1	25.4	31.0	35.2	35.3	30.6	25.0	19.3	15.6	21.1
Tmoy	12.0	12.7	14.0	14.0	15.2	16.8	18.0	17.5	5.7	14.0	12.3	11.3	13

### 2.2.3. Synthèse climatique

#### 2.2.3.1. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

C'est un quotient largement utilisé dans la région méditerranéenne localiser le type d'étages bioclimatiques auquel appartient la zone étudiée. Il renseigne d'une façon assez générale sur la tranche pluviométrique et la température moyenne minimale du mois le plus froid puisqu'il repose sur ces deux paramètres climatiques.

En abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid;

En ordonnées le quotient pluviométrique (Q<sub>2</sub>) d'EMBERGER;

La formule Q<sub>2</sub> est :

$$Q_2 = 2000P/M^2 - m^2$$

P = Moyenne annuelle des précipitations en mm.

M = Moyenne des températures maximums du mois le plus chaud en (K°)

m = Moyenne des températures minimums du mois le plus froid en (K°)

Après le calcul, on a pu localiser la station de Mascara dans un étage bioclimatique semi aride à hiver frais. Puisque Q<sub>2</sub> est égale à 31.2

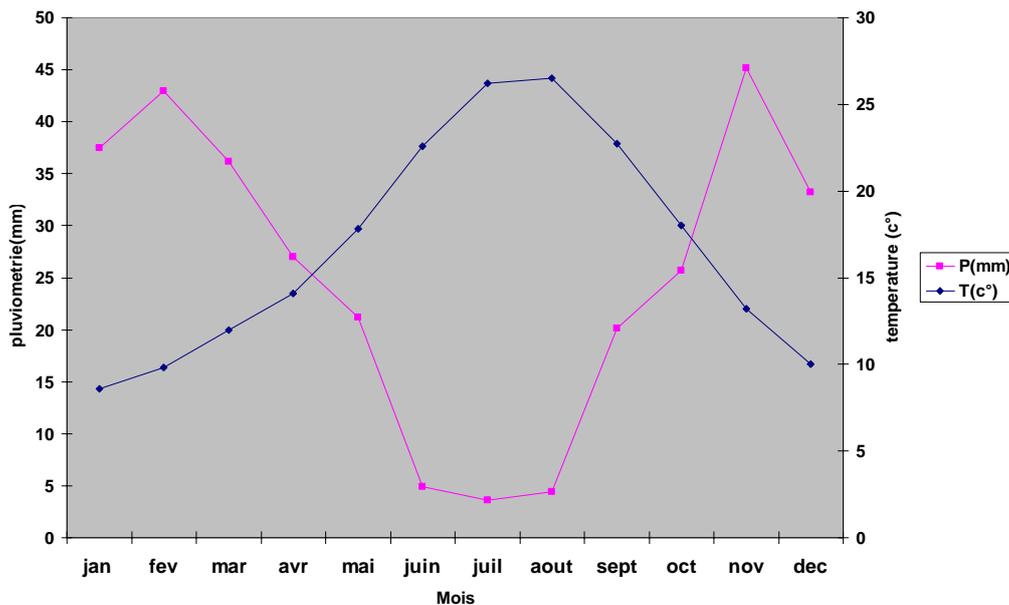
En Algérie c'est surtout le quotient pluviométrique de Stewart (1969) qui est utilisé pour sa simplicité et il est calculé par la formule suivante :

$$Q = 3,43 (P/m-m)$$

### 2.2.3.2. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1954) permet de calculer la durée de la saison sèche ; elle pèse de tout son poids tant sur la végétation que sur l'occupation et l'utilisation des sols. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température ( $P=2T$ ) et l'intersection entre ces deux courbes nous indique la période sèche de la station.

Dans notre cas la période sèche s'étale de la fin du mois d'avril au mi octobre cette allure permet de constater que la période sèche dure 6 mois par an, avec une intense sécheresse au mois de juillet la période humide commence au mois de Novembre jusqu'au mois d'avril avec une pluviométrie irrégulière.



**Figure 15** : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (Station de Bouhanifia)

### 2.3. Aspects socio-économiques

Toute étude d'aménagement doit tenir compte de tous les aspects socio-économiques de la zone puisqu'ils agissent sur l'occupation des sols et permettent de faire des analyses. Les principales données ayant une corrélation avec la dynamique de l'occupation des sols sont la population, l'agriculture et l'élevage. Ils façonnent selon leur importance l'occupation des sols et permettent d'expliquer en partie cette dynamique.

### 2.3.1. Les données démographiques

La zone d'étude est délimitée par les communes suivantes: Bouhnifia et Hacine (MASCARA), Sfifef et AinAddene (Sidi-Bel-Abbès). L'effectif et la densité de la population constituent des indicateurs pertinents et sont synthétisés dans le tableau suivant :

**Tableau 09** : L'effectif et la densité de la population des communes

Commune	Population	Superficie km <sup>2</sup>	Densité habitant/km <sup>2</sup>
Bouhnifia	27576	223.8	123
Hacine	10199	138	74
Sfifef	31081	189	164

### 2.3.2. L'agriculture

La dominance de la zone montagneuse de la région d'étude induit dans les conditions actuelles une surface agricole très faible représentée par quelques tâches de céréaliculture autour des fermes, tandis que les superficies des communes de Bouhnifia et de Hacine recèlent une surface appréciable en terres agricoles. Le tableau suivant donne un aperçu synthétique sur la répartition de ces terres dans les commune de Hacine et de Bouhnifia. Il met en relief une importante superficie agricole dans la commune de Bouhnifia, elle induit une population à dominance justifiée également par les potentialités en eau.

**Tableau 10**: Occupation des sols dans les 2 communes : Unité (ha)

Communes	S.T	S.A.U	Forêts	Parcours	Terre imp . des E.A	Terre imp . non affect
Bouhanifia	22 378	7 850	10 865	550	425	3 030
Hacine	10495	4870	3875	250	160	1340

### 2.3.3. L'élevage

L'élevage reste une activité dominante et dépend fortement de l'agriculture, même si cette activité connaît un recul imposé par les différentes restructurations du foncier et la libéralisation des pratiques agricoles (Benabdeli. 1998).

L'effectif animal est difficile à cerner au regard de la fluctuation et des mouvements constants ; cependant une approche peut être entreprise. Le tableau suivant peut nous donner une idée sur la répartition du cheptel dans les communes de Bouhnifia et Hacine.

**Tableau 11:** Répartition du cheptel

commune	Ovins	Bovins	Caprins
SFISEF (sidibelabes)	15300	630	1200
BOUHANIFIA (mascara)	12400	346	1620
HACINE (Mascara)	2550	223	585

### 3. La zone de plaine de la Macta

#### 3.1. Situation géographique

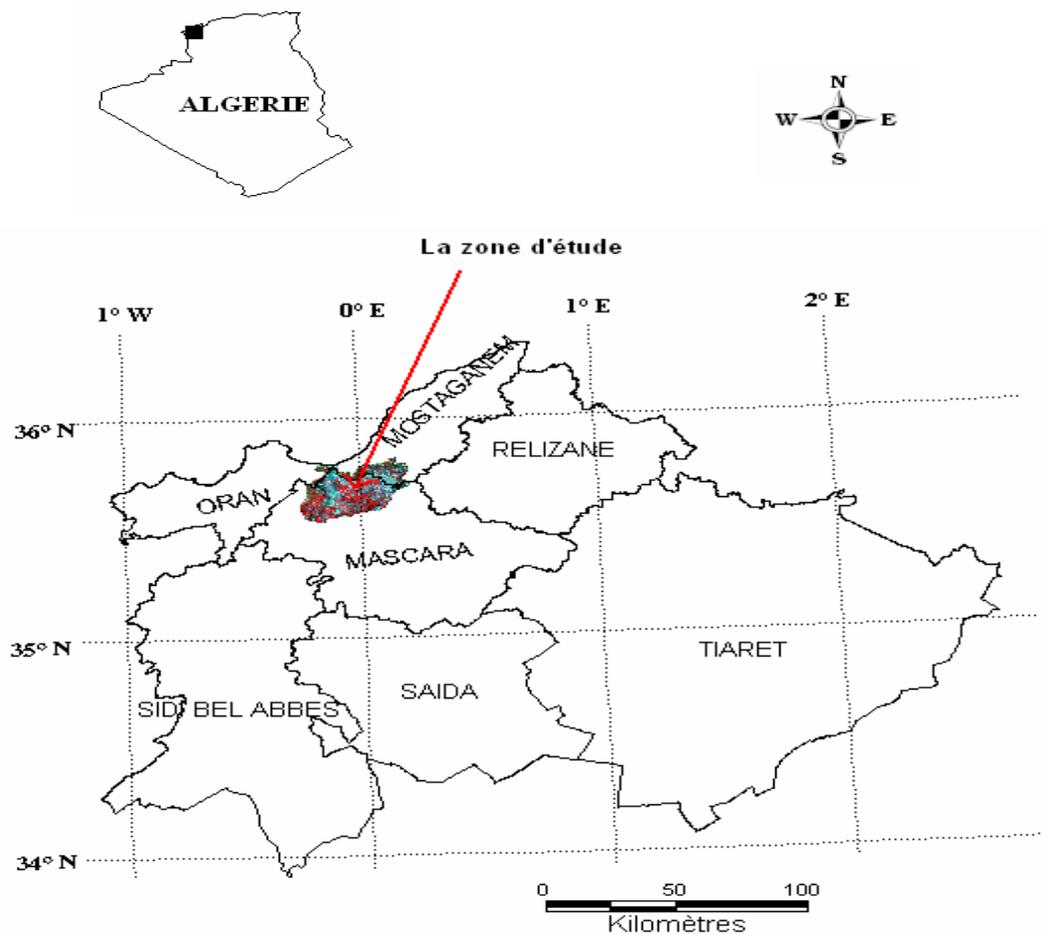
La zone d'étude est localisée à 0°15'W, 0°10'E et 35°32'N, 35°47'N, située à une cinquantaine de kilomètres à l'Est d'Oran, la zone d'étude est une dépression, entourée de montagnes et séparée de la mer par une rangée de dunes. Elle est limitée au Nord par le cordon dunaire par rapport au golf d'Arzew, au Nord ouest par le massif de la Sebkhia d'Arzew, au Nord-est par la retombée Sud du plateau de Mostaganem, au Sud par Sig et Mohammadia (fig. 16). L'altitude comprise entre 0 et 50 m.

2.2.2. Identification de la zone.

La zone d'étude d'une superficie d'environ 82000 hectares, elle est constituée par trois régions naturelles (fig. 17) :

**La plaine du Sig** : elle est limitée, à l'Ouest par le dôme de la forêt de Moulay Ismaël et le plateau des Hamyans, au Sud, par le glacis alluvial des monts des Ouleds Ali, à l'Est, d'une façon moins précise, par le cône de déjection de l'Oued Khrouf. Elle se compose de deux dépressions séparées l'une de l'autre par le cône de déjection de l'Oued Sig. A l'Ouest la dépression de la ferme de la prospérité où s'écoulent les eaux salées des oueds Ouggaz (Ouest -est ) et Tankrara ( Sud-ouest – Nord-est ).

A l'Est la dépression de l'Union agricole, d'après Gaucher et Simonneau (1952) : « Cette dépression constitue un caractère remarquable de la topographie de la plaine Sigoise. Les courbes de niveau traduisent son existence en aval jusqu'à la côte 10 m. les manifestations du salant, particulièrement visibles, remontent très haut vers l'amont.



**Figure 16** : Carte de localisation de la zone d'étude

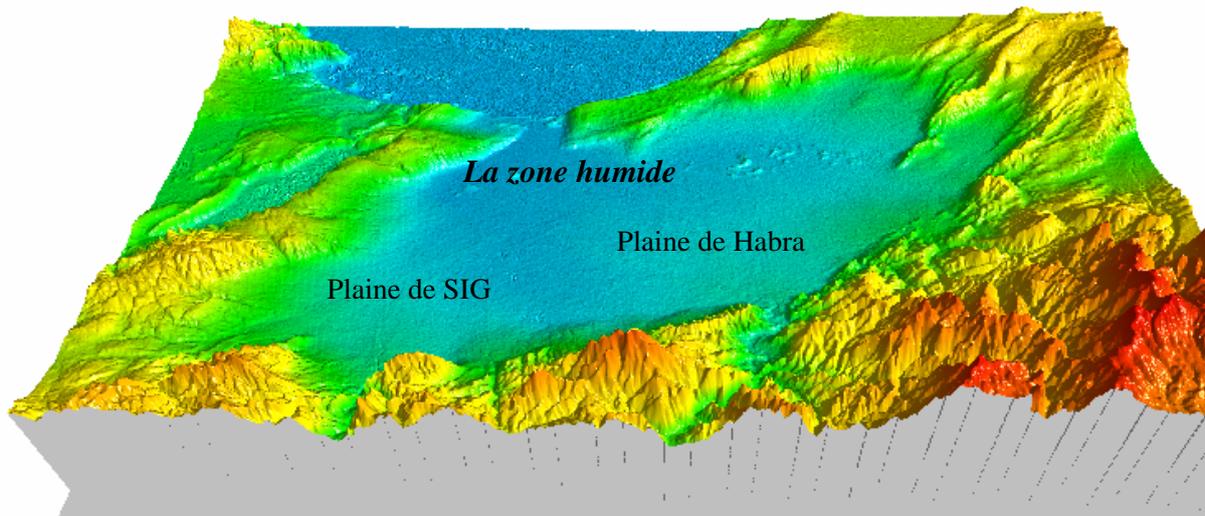
La présence de cette dépression s'explique par sa localisation à la limite des zones d'épandage du Sig et du Krouf. La sédimentation y a été beaucoup plus faible qu'à l'Est et à l'Ouest. Toutefois, on ne peut affirmer que ce soit le seul facteur. On observe, en effet, dans la structure du Djebel Bou Sella qui se trouve exactement au Sud de la ferme que les couches sahéliennes sont relevées à la verticale ».

La pente générale de la plaine Sigoise est accentuée, elle est nettement plus prononcée que dans la zone déprimée voisine de Bou-Henni, située plus à l'Est, dans la plaine de Mohammadia, entre les cônes de déjection des oueds Krouf et Habra. Le drainage est donc possible en direction de l'oued Krouf. Enfin, les cours d'eau dont est tributaire la plaine du Sig ont donné naissance à des cônes de déjection encore délimités en amont par la courbe de niveau des 20 mètres. Ce caractère dominant de la topographie conduit à une structure exempte de confusion où d'un cône de déjection à l'autre, les lignes de plus grande pente se répartissent avec une

certaine régularité induisant des alluvions variant avec les Oueds qui les a charriées. Les terres d'un même cône de déjection possèdent toujours des propriétés agrologiques particulières. (Simonneau, 1952 ).

- **La plaine de l'Habra** : elle apparaît comme un gigantesque delta intérieur des oueds Habra, Mellah et Tinn. La surface convexe n'offre de traces de discontinuité qu'à la hauteur de Sahouria, sur une ligne Sud-est Nord-Ouest, jalonnée par les marabouts de Sidi Kedina ( Simonneau, 1952 ). Les multiples cônes de déjection de Oued Habra, tout en affectant une disposition digitée, empiètent les uns sur les autres ainsi que sur les zones d'épandage des Oueds Mellah et Allach. A l'Est, et de chabet Yalou, à l'Ouest. Il en résulte une topographie heurtée, confuse, où les lignes de plus grande pente sont distribuées d'une façon incertaine. Les dépôts alluvionnaires quaternaires présentent une allure lenticulaire. Les eaux phréatiques sont compartimentées. Leur régime devient complexe, se ressentant de l'irrégularité de la structure. Néanmoins, il est possible de distinguer deux dépressions situées de part et d'autre du cône de déjection de Oued Habra : la « cuvette de Bou-Henni », à l'Ouest, entre les cônes de déjection des Oueds Krouf, et de Habra, à l'Est et une dépression moins accentuée, située à l'Est de Débrousseville et à l'ouest de la route de Mohammadia à Mostaganem qui endigue les alluvions apportées par les Oueds Mellah et Allach, correspond sensiblement à un ancien lit de l'oued Habra, formé de nombreux bras divergents, il traversait la région de ferme Blanche, Débrousseville et du canal du centre, se dirigeait vers les marais de la Macta et un hypothétique confluent avec Oued Tinn. Enfin, la plaine de l'Habra, apparaît comme un type de basse plaine avec une basse altitude et une pente très faible. Les terrains salés se trouvent souvent situé au pied des collines : le creusement des collecteurs a toujours décelé les eaux les plus chargées en chlorure à l'origine en amont. L'isolement se complète par l'existence des buttes argileuses de la partie septentrionale, en aval. Ce qui rend l'écoulement très lent et difficile.
- **La zone humide de la Macta** : elle se localise à 17 Km de Mohammadia et 50 Km d'Oran respectivement au Nord et Est. C'est une dépression sous forme triangulaire délimitée au Nord par des dunes littorales (Golf d'Arzew), au sud, à l'Est et à l'Ouest par des terres agricoles essentiellement et quelques formations végétales servant de parcours surtout à l'Est. En raison du mauvais écoulement des eaux, ces terrains sont inondés durant une longue période étalé entre Octobre et Mai. Un seul accident topographique remarquable, le Sbara (côte : 34 m), témoin superficiel d'un affleurement argileux continu en profondeur qui empêche le drainage naturel des eaux vers la mer, domine cette vaste plaine. ( Simonneau , 1952 ). La dépression de la Macta reste un exutoire des Oueds Sig, Habra et

Tinn qui l'alimentent généralement en période pluvieuse permettant la présence d'une humidité quasi annuelle en plus des infiltrations de la mer Méditerranée. Elle regroupe plusieurs types de zones humides (delta : embouchure d'Oueds se jetant dans la mer au niveau du golf d'Arzew ; marais ou lagune côtière, dépôts de sédiments à quelques centaines de mètres de la mer qui agit par des bras sur cette zone.



**Figure 17:** Vue en trois dimension de la zone

### 3.2 Topographie

**La pente :** Le terrain descend graduellement vers le Nord-Ouest, c'est-à-dire vers la mer. La pente généralement est très faible 3% (fig18, tableau 13). L'écoulement des eaux qui s'accumulent dans cette vaste cuvette est très lent, le drainage naturel étant pratiquement inexistant. Un caractère de la topographie entrave ce drainage : la présence d'un alignement de buttes argileuses qui marquent l'existence d'un important affleurement d'argile, vraisemblablement continu en profondeur, mais démantelé en surface probablement par l'érosion pré-flandrienne.

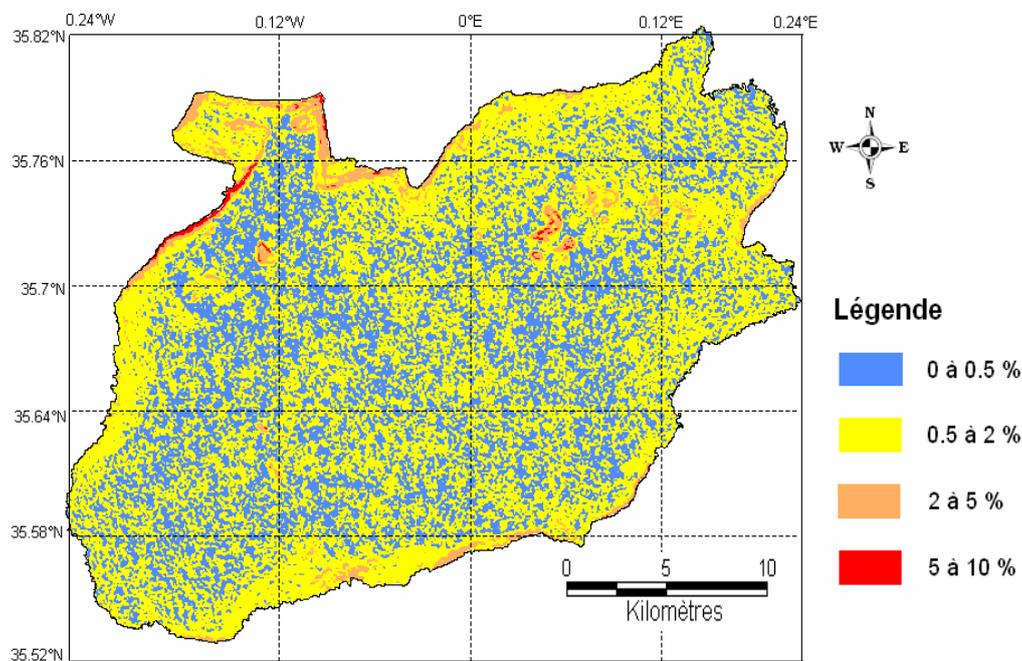
**Relief :** La zone d'étude est constituée par un terrain rigoureusement plat. La plaine est une dépression entourée de montagnes et séparée de la mer par une rangée de dunes. Les buttes de Bou-Adjemi, Bou-Nefer, Mocta-Douz, Sbara, les coupes de la région du Tinn et de la plaine des Bordjias apparaissent ainsi comme des reliefs témoins. (Pochet, 1847). Vu cette confirmation du terrain (terrain plat, en général), le microrelief a pris toute importance et a exercé une grande influence sur l'évolution des sols dans le passé. (Energoprojekt, 1967)

Deux classes de pente dominant :

- 0.5 à 2% couvrant plus de 59%

- 0 à 0.5% couvrant plus de 36%

La zone est extrêmement plate, facteur physique important à retenir.



**Figure 18:** Carte des pentes

**Tableau 12:** Répartition des superficies suivant les classes de pentes

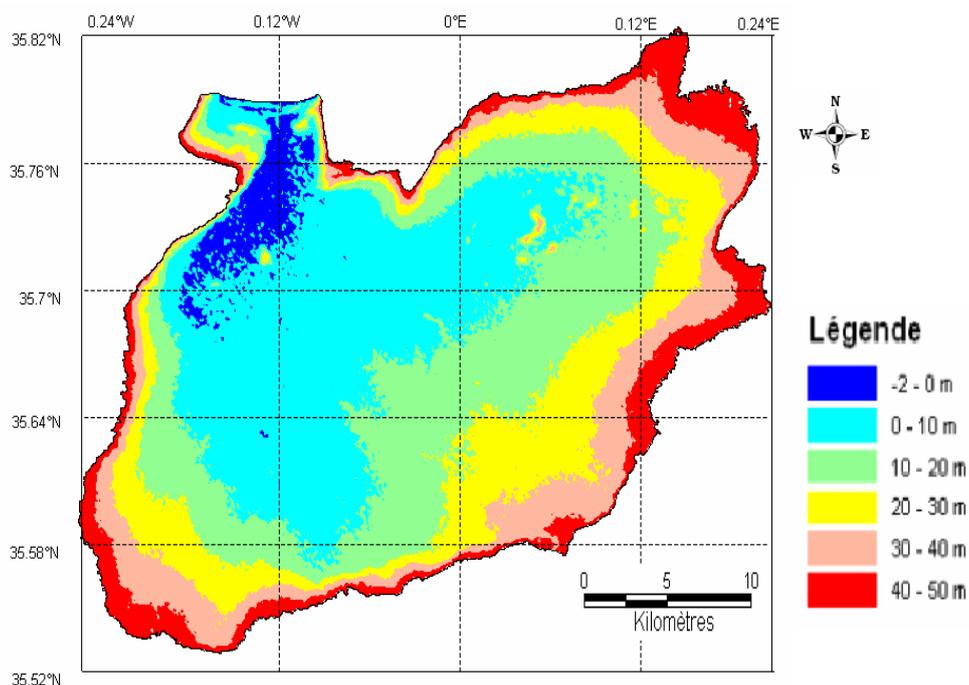
Classe de pente (%)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
0 – 0.5	30890	36.82
0.5 - 2	49830	59.40
2 - 5	2881	3.43
5 - 10	284	0.33

**Aperçut hypsométrique :** Pour la compréhension de l'occupation des sols l'altitude joue un rôle déterminant et a nécessité la réalisation d 'une carte qui renseigne sur la configuration de la zone humide de la Macta. Ce paramètre est à l'origine de plusieurs zones définies naturellement et qui agissent sur la répartition tant de la végétation naturelle que de l'occupation des sols.

L'altitude qui domine est celle de deux classe :

- 0 à 10 m couvrant plus de 30% de la surface totale

- 10 à 20 m couvrant plus de 26% de la surface totale



**Figure19:** Carte hypsométrique

**Tableau 13:** Distribution des superficies suivant les classes d'altitude

Classe d'altitude	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
-2 - 0	2526	3,06
0 - 10	25230	30,64
10 - 20	21570	26,20
20 - 30	14570	17,69
30 - 40	10450	12,69
40 - 50	7982	9,69

### 3.3 Hydrographie

L'importance du bassin versant de la plaine est considérable, des milliers de Km<sup>2</sup> parcourus par d'importants oueds et talwegs enchevêtrés. Les oueds ont des lits relativement bien organisés dans la partie supérieure de leur cône, où la pente est forte. Dans la plaine ils ne restent apparents que sur quelques kilomètres, puis ils s'effacent et leurs eaux divaguent. Sur le plan géomorphologique, l'importance de l'alluvionnement des différents Oueds contribue à modifier progressivement l'aspect de la surface de la plaine.

La plaine de la Macta reçoit toute une série d'Oueds Sig, Habra et Tinn, qui sont partiellement canalisés jusqu'à la rivière « Macta » qui se forme dans la partie Est de la dépression, à quelques kilomètres du littoral. Celle-ci se dirige d'abord directement vers la méditerranée. A 500 mètres du rivage, aussitôt après le pont de la Macta, elle tourne à l'angle droit vers l'Ouest et suit le cordon dunaire littoral pendant 8 Kms environ. Elle reprend alors la direction du Nord, vers la mer, où elle se jette au Sud de Mers-Elhadjadj. La dune, qui barrait cette embouchure, a disparu au moment des inondations de la zone humide de Janvier à Février 1948. ( Simonneau, 1951 ).

**Oued Tinn :** Autrefois vers le 16<sup>ème</sup> siècle il se perdait dans les marais de l'Haciane Mengoub ; des travaux d'endiguements et de canalisation ont été entrepris dès 1871 pour acheminer ces eaux tant bien que mal jusqu'aux marais de la Macta avec un débit faible. L'oued Tinn est devenu important par les apports du Mekrallouf, qui était autre fois, pour Gaucher (1939) un affluent de l'oued Mellah. Le débit de Tinn est 6 m<sup>3</sup> / seconde, dont 5,3 m<sup>3</sup> / seconde proviennent de l'oued Mekrallouf. Ces oueds n'arrivent pas jusqu'à la mer malgré les efforts faits depuis 80 ans pour les y amener. Tous finissent par se perdre dans les marais de la Macta.

**Oued Habra:** son apport moyen est évalué à 120.000.000 m<sup>3</sup> par an pour la période 1933-1945 ; c'est le plus important des cours d'eau qui se déversent dans la plaine de Mohammadia. La plus forte crue observée, celle ayant entraîné la rupture du barrage - réservoir de Oued Fergoug- le 27 novembre 1927 a été estimée à 5.000 m<sup>3</sup> /seconde ( Simonneau, 1951 ). Dans la plaine, d'après Gaucher (1939) l'oued Habra, coule sur une crête ; en cas de crue, il inonderait la dépression de Macta-Douz – Bou-Henni, utilisant soit son ancien lit, nommé oued Nechef, soit le faux bras qui rejoignait le Sig au Nord. Pour le moment, le lit est à peu près stable. Des endiguements, ont été établis en 1946, canalisant les eaux sur 3 Km en direction des marais de la Macta. Cette opération s'est soldée par un appréciable surcreusement du lit sur plus d'un kilomètre vers l'aval.

**Oued Sig :** Dans la plaine, l'oued Sig coule sur l'extrémité Ouest de son cône de déjection jusqu'à la côte 15 m (douar Beylic), il a y la tendance à surcreuser son lit, au Nord de la bergerie Ben Halima, il s'étale et divague dans la basse plaine sans lit bien précis. A trois reprises, depuis 1871 la canalisation de son cours inférieur a été tentée pour éviter la formation de marécages en amenant l'eau directement à la Macta : tous ces travaux ont été vains, l'Oued s'est remis à divaguer dès qu'il a eu comblé les lits artificiels ( Simonneau, 1951 ). La pluviométrie, l'étendue des marais et la nature géologique du bassin versant sont les facteurs qui commandent à la fois la quantité et la qualité des eaux. Sous les climats arides et semi-arides, les cours d'eau qui drainent des bassins

versants de grandes surfaces ont un écoulement plus ou moins constant, le débit est très irrégulier, la jeunesse du relief fait que le réseau hydrographique est mal hiérarchisé (Bendaanoun, 1981). C'est le cas de la Macta. La perméabilité décroît en relation avec l'alluvionnement, de plus en plus fin, et en relation avec la puissance décroissante des Oueds vers leur extrémité aval. Les eaux souterraines circulent dans deux directions, une subhorizontale Sud-Ouest selon la pente, une ascendante occasionne les émergences à la surface des terrains dans les zones déprimées, formant ainsi des lagunes (Tafer, 1993).

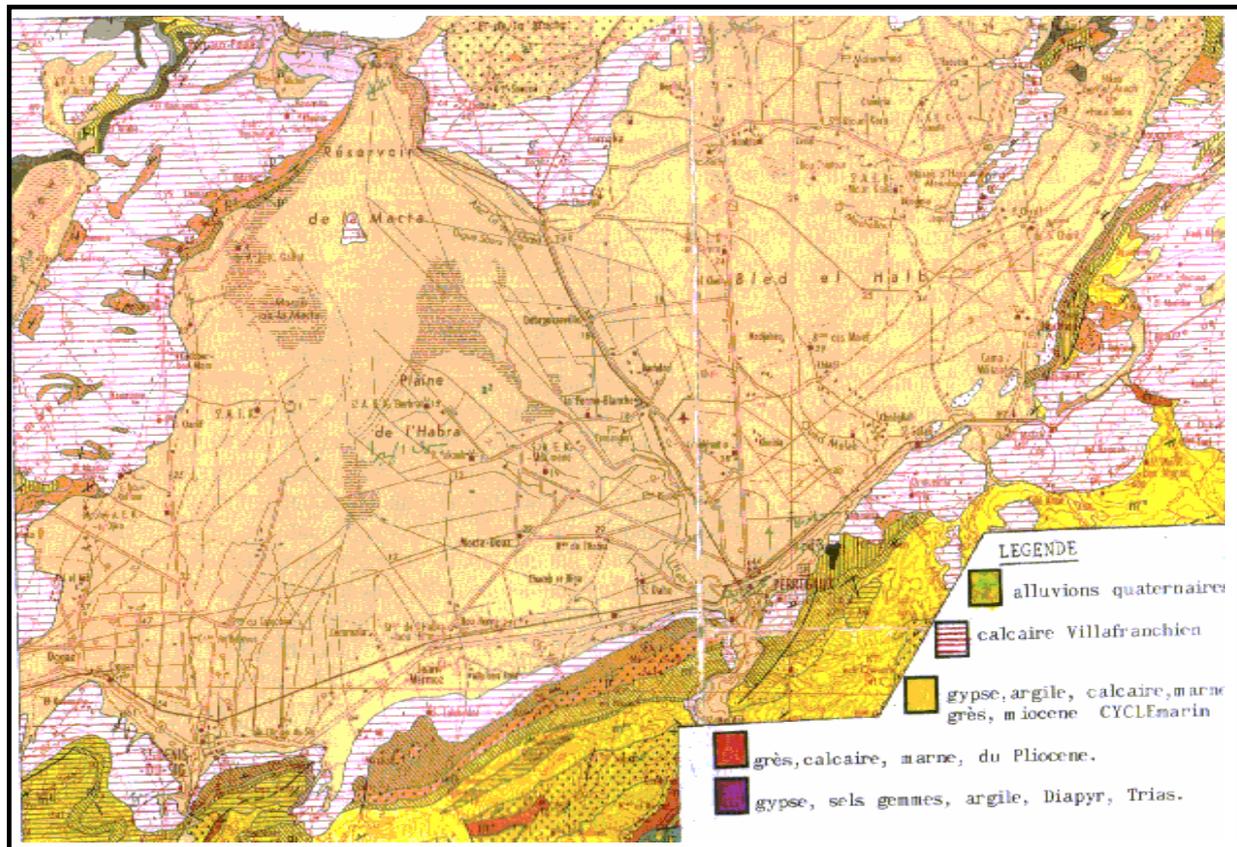
### 3.4 Géologie

**Structure de la plaine :** La Macta est un des éléments de la série des dépressions synclinales qui s'étend de Miliana à Oran, entre l'Atlas Tellien, au Sud, et les massifs littoraux, au Nord. L'Atlas Tellien est formé par un socle de terrains triasiques, crétacés et nummulitiques, plissé à la fin de l'Eocène et sur lequel sont venues se déposer des alluvions miocènes et pliocènes (fig. 20). L'ensemble fut affecté de mouvements tectoniques successifs qui se poursuivent jusqu'au quaternaire. La multiplicité de ces poussées orogéniques, les effondrements et les accidents divers (phénomènes volcaniques, affaissements, plis posthumes), qui les accompagnèrent, ont donné naissance à un relief particulièrement varié et heurté : les lignes directrices en sont souvent difficiles à dégager (Dalloni, 1919). Par endroits, des rides anticlinales s'en détachent, pointant vers le Nord. Elles vont se raccorder aux massifs littoraux, eux même par des noyaux de terrains secondaires entourés d'affleurements pliocènes ou miocènes. L'Atlas Tellien forme la limite méridionale et l'on retrouve, en bordure de la plaine, dans les monts de Beni Chougrane au Sud de Mohammadia, et dans les monts des Ouleds Ali, au Sud de Sig, les traces d'accidents géologiques : affleurements basaltiques, à Mohammadia, et redressement à la verticale du Sahélien sur les revers Nord de Djebel Touakés et Bou Sella à Sig. Cette structure particulière est certainement en rapport avec la faille importante qu'indique au Sud-ouest de ces reliefs.

**Les formations géologiques :** Le massif de la Sebkhah d'Arzew borde la plaine à l'Ouest et au Nord-Ouest. Dans cette région, les collines de Moulay Ismaël (altitude moyenne : 250 m — point culminant : 300 m au Djebel Djira) présentent une direction parallèle aux plis du Massif de Bel Hacel (chaînes de Djebel Milar et du Djebel Djir) qui, à l'extrémité opposée, à l'Est. Au Nord-Est, le rebord Sud du plateau de Mostaganem avec le dôme triasique du djebel chegaa (Aïn Nouissy). Le massif de Beni-chougrane qui forme la limite Sud de la plaine, est constitué par Djebel Bouziri, Djebel Touaka et Djebel Elmeraba. Les bas fonds très salés sont constitués par de légères dépressions situées à l'intérieur de la plaine.

### 3.5 Les origines de la salinité

La salinité de la plaine est le résultat d'apports détritiques continentaux (chargés de sels) construits par les oueds et de la submersion des terrains par la mer au cours des périodes géologiques. Elle est aussi entraînée par l'infiltration des eaux marines dans la nappe phréatique de ces terrains (Tafer, 1993).



**Figure 20:** Carte géologique de la plaine d'après Dalloni et al (1935)

### 3.6 La couverture végétale

La couverture végétale constitue le facteur écologique le plus important du milieu, son rôle majeur dans l'équilibre écologique, est bien connu elle est d'une considération vitale dans la protection des eaux et des sols. La présentation des espèces végétales se limitera aux principales espèces vivaces présentes sur notre zone d'étude. Elle sera effectuée en suivant la répartition de la végétation de la mer vers l'intérieur de la plaine.

**3.6.1 La végétation côtière :** Cette formation dunaire est constituée essentiellement par une strate arborescente composée par deux espèces dominantes : *Juniperus phoenicea* et *Tetraclinis articulata* (Photo n°03). Elle présente un cortège floristique constitué par : *Diotis candidissima*, *Polygonum maritimum*, *Euphorbia paralias*, *Cakile maritima*, *Salsola kali*, *Eryngium maritimum*, *Pancreatium maritimum*.

D'autres espèces importantes dans la fixation et la préservation des dunes tel que *Ammophila arenaria*, *Plantago coronopus*, *Centaurea Sphaerocephala*, *Ononis variegata* et *Silene ramosissima*. (Benabdeli et Mederbal, 2004)

**3.6.2 La végétation halophile ou halipèdes :** La plaine de la Macta présente une vaste étendue couverte par des aires de végétation halophiles et aquatiques (steppes salées ou halipèdes). Cette formation occupe les cuvettes argileuses riches en sels. On distingue les formations suivantes :

Le groupement halophile à Salicorne (Photo n°01) : Cette formation constitue une steppe halophile composée essentiellement par un groupement à *Salicornia fruticosa*, avec un cortège floristique constitué par *Suaeda fruticosa*, *Salicornia macrostachya*, *Salsola kali*, *Juncus acutus*. Il occupe la partie Nord de la plaine, sur des terrains inondés à drainage naturel très faible.

Sur la colline du Sbara où le terrain est plus salé et humide, on rencontre une formation herbacée constituée par le groupement à *Arthrocnemum macrostachyum*, il s'adapte au milieu le plus instable. Pendant la saison estivale le sol se couvre d'efflorescences salines. On voit apparaître entre les touffes une structure poudreuse engendrée par les cristaux de sodium. (TAFER, 1993)

Dans la partie Sud de la plaine, le groupement à *Suaeda fruticosa* (Photo n°04) occupe les terrains rarement submergés ; il se présente sous plusieurs faciès dominés par les thérophytes, on distingue le faciès à *Calendula algeriensis*, *Senecio gallicus* et *Ormenis praecox*.

Dans les parties situées le plus au Sud, le groupement à *Atriplex halimus* (Photo n°02) est localisé sur des terrains qui sont de moins en moins soumis à l'effet de salinité et qui ne sont jamais inondés. Il se localise à la limite Sud du groupement à *Suaeda* et en bordure Nord-Ouest et Nord-Est de la plaine. À l'intérieur de la plaine, on le trouve en mélange avec *Suaeda fruticosa* et *Salicornia fruticosa*. Le cortège floristique est constitué généralement par des espèces annuelles.

**3.6.3 La végétation hygrophile :** L'inventaire des principales espèces végétales présentes dans la zone humide de la Macta est récapitulé dans le tableau qui suit selon Belgherbi et Benabdeli, (2010). Huit relevés assez représentatifs des différentes sous-zones de la zone humide sont récapitulés dans le tableau qui suit :

**Tableau 14:** Relevées floristiques de la zone humide de la Macta

Relevées	Faciès oued Habra						Faciès oued Sig		
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
<i>Atriplex halimus</i> . L		+		+					
<i>Anacyclus clavatus</i>				3,3					
<i>Phalarix paradoxa</i>			1,2	3,4					
<i>Scolymus maculatus</i>		3,2							
<i>Beta macroupa</i>	1,1			+					
<i>Scorpiurus muricatus</i> L			1,1						
<i>Hordeum maritimum</i> Stokes				2,1	4,4	4,4			
<i>Plantago coronopus</i> L					2,3	2,3		1,1	
<i>Tamarix africana</i> Poir	1,1	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	+	1,1	+
<i>Juncus maritimus</i> Lam	1,1	1,1		1,2		1,2		+	
<i>Xantium sp</i>		1,1							+
<i>Centaurea pulchellum</i>		1,1							+
<i>Trifolium dasyurium</i>		1,1			1,3	1,3			
<i>Salicornia fruticosa</i> L	3,3	2,2	4,3		3,2	1,2	3,4	3,2	
<i>Polypogon monspeliensis</i> L			3,3			4,3			
<i>Suaeda fruticosa</i> L									1,1
<i>Phragmites communis</i>	1,1		+		+	+			
<i>Erodium malacoides</i> L				1,1					
<i>Cichorium spinosum</i>	2,2				+	+			
<i>Verbascum thapsus</i> L		4,1	1,1						1,1
<i>Oxalis corniculata</i> L				2,2					
<i>Spergularia diandra</i> Guss			1,1	1,1			3,2	3,3	
<i>Suaeda maritima</i> L				3,1					
<i>Salsola kali</i> L					2,2		+		
<i>Alenaria cassa piedra</i>				1,1					
<i>Echinops sp</i>	2,1								
<i>Tragopogon dubius</i>			1,1	+	1,3	1,3			
<i>Sonchus arvensis</i>					1,2	1,2			
<i>Centaurea calitrapa</i>	2,1								1,1
<i>Aizoon hispanicum</i> L				2,2					
<i>Calendula algeriensis</i>				3,3	4,4	4,4			
<i>Sinapis arvensis</i> L				4,2					

Généralement on distingue 4 groupements dominants, décrits comme suit :

- Le groupement à *Phragmites communis* situe dans les lits d'oueds à l'aval et les bordures des lagunes dans la partie Nord de la plaine. Ce groupement est présenté en mélange avec le *Tamarix*

*africana* et *Salsola oppositifolia*, il occupe la canalisation des oueds Sig, Habra et Tinn, jusqu'à l'embouchure de la Macta.

- Le groupement à *Juncus maritimus* occupe des surfaces réduites situés dans les zones d'épandages des Oueds Habra et Tinn. Ce groupement est fortement concurrencé par le groupement à *Scirpus maritimus*. (Tafer, 1993)

- Le groupement à *Scirpus maritimus* : localisé dans les dépressions à hydromorphie temporaire, il se présente en mélange avec le groupement à *Salicornia fruticosa*, *Juncus maritimus* et *Juncus subulatus*.

- Le groupement à *Typha angustifolia* : il est localisé dans le lit de l'Oued Tinn associé par le groupement à *Phragmite communis*.



Photo n°01 : *Salicornia fruticosa*



Photo n°02 : *Atriplex halimus*



Photo n°03 : *Juniperus phoenicea*  
sure dunes littorales



Photo n°04 : *Suaeda fruticosa*

### 3.7 Climatologie

Le climat est un élément très important, en raison de son influence comme un facteur écologique et un élément agissant sur les autres facteurs. Il joue un rôle primordial dans la répartition des formations végétales et justifie souvent l'occupation naturelle ou anthropique des sols. Il n'est qu'une interaction des différents facteurs atmosphérique et orographique agissant significativement sur les autres paramètres déterminants quand à l'utilisation des sols (sol, végétation).

Du point de vue bioclimatique, la zone appartient à l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à variante tempérée du climat méditerranéen. Les précipitations annuelles moyennes ne dépassent pas 350 mm avec un maximum en saison hivernale. Le climat à travers la tranche pluviométrique annuelle connaît une régression importante de l'ordre de 30% en comparant entre les périodes 1950-1983 et 1983-2007. Ce déficit agit sans aucun doute sur l'occupation des espaces et la végétation. Les données météorologiques des stations d'Arzew et de Mostaganem confirment cette tendance avec toutes ses conséquences sur la végétation. (Sitayeb et Benabdeli, 2008).

#### 3.7.1 Les précipitations

Elles constituent un facteur abiotique d'importance significative sur l'évolution et la répartition des espèces végétales dans les milieux naturels. De ce fait, la connaissance de l'évolution du régime pluviométrique est nécessaire pour mieux comprendre les interactions de la végétation avec les autres composantes de l'écosystème. Ainsi, nous avons jugé utile de prendre en considération les données pluviométriques d'une période déterminée.

- **Collecte des données :** la collecte des valeurs mensuelles des précipitations a été effectuée auprès de l'Office National Météorologique (O.N.M) d'Oran. Ces valeurs représentent des totaux pluviométriques mensuels relevés des documents originaux des tableaux climatiques mensuels de deux stations du réseau météorologique de la région.
- **Choix des stations utilisées :** pour le besoin de notre étude, nous avons choisi les stations les plus proches de la zone d'étude. Deux stations météorologiques assez représentatives de la zone d'étude ont été retenues Mostaganem et Sidi AbdelMoumen sur une période de 18 ans, 1983 à 2000.

**Tableau 15:** Caractéristiques des stations pluviométriques (O. N. M d'Oran).

Station	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Période
Mostaganem	35°.53' N	0°.07' E	225	1983-2000
Sidi-Abd-Elmoumen	35°.41'	0°.10' E	21	1983-2000

**Les précipitations annuelles et mensuelles :** Les valeurs des précipitations annuelles et mensuelles des deux stations sont données au tableau (16), elles représentent les moyennes mensuelles et annuelles sur une série de 18 ans.

**Tableau 16:** Variations des précipitations (1983 – 2000).

Station	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Mostaganem	50,04	46,9	31,13	30,31	21,66	8,18	3,2	4,8	28,4	46,24	58,59	55,37	384,43
Sidi-Abd-Elmoumen	32,00	28,3	33,90	23,8	18,60	4,00	1,7	2,0	17,6	17,8	39,0	24,3	243

Les précipitations restent assez faibles et la végétation en place se justifie par le taux d'humidité du sol et la brise marine, vu la localisation de la zone en bordure de mer. Le mois le plus pluvieux est le mois de décembre pour la station de Mostaganem et Novembre pour Sidi-Abd-Elmoumen ; le mois de juillet est le mois le plus sec pour les deux stations. Les fluctuations climatiques sont assez importantes comme souligné précédemment avec une tendance globale vers une diminution de l'ordre de 20 à 30%.

Les précipitations saisonnières et le régime pluviométrique saisonnier : Le régime saisonnier des précipitations est assez hétérogène d'année en année et la notion de saison perd de son identification. Mostaganem reçoit 39.56% en Hiver, 34.65% en Automne, 21.59% en printemps, et 4.21% en Eté. Le régime pluviométrique est donc de type H.A.P.E. Sidi-Abd-Elmoumen reçoit 34.81% en Hiver, 31.39% en Printemps, 30.61% en Automne, 3.16% en Eté, Le régime pluviométrique est donc de type H.P.A.E (tab. 17).

Dans l'ensemble la végétation est soumise à des précipitations moyennement assez faibles avec une forte concentration en hiver et en automne (74.21%) à Mostaganem, et 65.42% à Sidi-Abd-Elmoumen.

Les caractéristiques climatiques influent directement sur la végétation et justifie la régression constatée dans la dynamique de la couverture végétale en générale. Les espèces dominantes sont celles qui ont un large spectre écologique leur permettant de résister aux longues périodes de sécheresse et à la pression animale et humaine. Les travaux de Sitayeb et Benabdeli en 2008 et Belgherbi et Benabdeli en 2010 confirment ce constat. Cette dégradation est également confirmée par la disparition presque totale de la forêt de Tamarix dont il ne reste que quelques vestiges.

**Tableau 17:** Valeurs du régime saisonnier.

Saison Station	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Mostaganem(P%)	39.56	21.59	4.21	34.65
Sidi-Abd-Elmoumen (P%)	34.81	31.39	3.16	30.61

### 3.7.2 Les températures

La température constitue également un facteur significatif pour la croissance du végétal. D'ailleurs chaque espèce végétal ne peut se multiplier qu'au dessus d'un zéro de végétation spécifique et attend une bonne croissance en présence des conditions thermiques optimales.

**Les moyennes annuelles et mensuelles :** Le tableau qui suit donne un aperçut sur les températures moyennes mensuelles qui confirment qu'à travers les saisons on remarque une forte amplitude thermique à laquelle doit faire face la végétation.

**Tableau 18:** Températures moyennes M et m entre 1983 et 2000.

station	Jan	Fév	mars	avril	Mai	juin	juill	août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy annuelle
Mostaganem	11,08	11,72	13,25	14,82	18,29	21,75	25,05	26,2	23,11	19,24	15,4	12,15	17.67
Sidi-Abd-Elmoumen	11,29	12,55	13,59	16,56	19,47	23,2	26,51	27,49	24,54	20,4	15,94	11,43	18.58

D'après Bagnouls et Gaussen (1957), un mois est chaud lorsque la moyenne mensuelle est supérieur à 20°C, et qu'il est tempéré chaud lorsque elle est comprise entre 10°C et 15°C, Donc, on peut conclure que :

-Les mois chaud sont : Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre, pour Sidi-Abd-Elmoumen, et Juin, Juillet, Août, Septembre, pour Mostaganem.

-Les mois tempéré chauds sont : Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, pour Sidi-Abd-Elmoumen, et Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril, pour Mostaganem. Il n'existe pas de mois tempéré froid (entre 0°C et 10°C). Enfin, le mois le plus chaud est Août, contrairement à ce que l'on observe dans la plus part des payés méditerranéens. Vu la faible dispersion des moyennes annuelles et voir même des moyennes mensuelles au niveau des deux

stations, on peut admettre que les conditions thermiques qui règnent dans la plaine, sont très proches des conditions règnent en bordure de mer c'est-à-dire Mostaganem.

Les moyennes mensuelles des maxima : Les valeurs des températures maximales mensuelles sont présentées dans le tableau (19).

**Tableau 19:** Températures moyennes maximales des deux stations (1983 – 2000).

station	Jan	Fév	mars	avril	Mai	juin	juill	août	Sep	Oct	Nov	Déc
Mostaganem	16,18	17,07	19,09	20,37	23,87	27,4	31,1	32,15	28,56	24,44	20,4	17,14
Sidi-Abd-Elmoumen	17,1	18,9	20,6	23,1	25,9	29,8	33,6	34,6	3,12	27,1	21,8	17,2

C'est une caractéristique du climat méditerranéen, les moyennes mensuelles du mois le plus chaud (M) sont concentrées dans le mois d'Août, période où l'évaporation est maximale et où la végétation souffre de stress hydrique et puise son humidité du sol.

**Les moyennes mensuelles des minima :** Le tableau (20) donne les valeurs des températures moyennes minimales du mois le plus froid qui sont localisées dans le mois de janvier qui reste assez clémente et permet le maintien d'une végétation avec un développement appréciable.

**Tableau 20:** Températures moyennes minimales (m) entre 1983 et 2000.

station	Jan	Fév	Mars	avril	Mai	juin	juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Mostaganem	5,99	6,38	7,42	9,28	12,72	16,1	19	20,25	17,66	14,04	10,4	7,17
Sidi-Abd-Elmoumen	5,49	6,2	6,58	10,02	13,04	16,6	19,42	20,38	17,88	13,7	10,09	5,67

L'amplitude thermique annuelle : Si l'on considère les amplitudes calculées entre M et m (tab. 21), d'une part à partir des valeurs annuelles, et d'autre part à partir des mois les plus chauds et les plus

froids, le résultat se traduit par un impact climatique sévère sur la végétation qui heureusement est soumise à une influence maritime décroissante ; lorsqu'on se déplace vers l'intérieur de la plaine.

**Tableau 21:** L'amplitude annuelle des deux stations.

Station	M	m	M - m
Mostaganem	32,15	5,99	26,16
Sidi-Abd-Elmoumen	34.60	5,49	29.11

**3.7.3 L'humidité relative :** Elle exprime le rapport de la quantité de vapeur d'eau ( $Q_e$ ) dans un mètre cube d'air avec la quantité de vapeur d'eau nécessaire pour saturer le même volume d'air à la même température. Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relative atmosphérique ; ces données sont extraites des moyennes mensuelles des minima et des maxima de la station de Mostaganem. L'humidité de la plaine est la somme des pertes d'eau par évaporation et de l'humidité marine.

**Tableau 22:** L'humidité relative de la station de Mostaganem ( 1983-2000).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité moyenne %	70,74	65,8	62,34	62,44	61,21	60,43	59,45	55,1	59,33	63,01	72,26	75,4

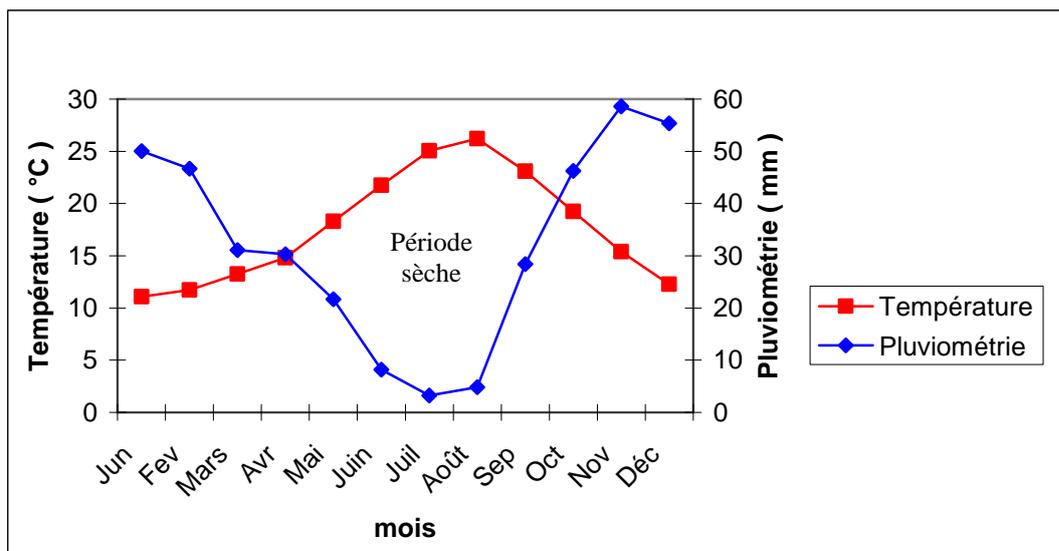
Il y a lieu de noter que l'humidité relative, présente un tau assez constant oscillant entre 55,1 et 75,4%, l'impact de cette humidité est assez intéressant puisqu'il comble en partie le déficit en pluviométrie et justifie la présence de certaines espèces végétales.

**3.7.4 Les vents :** La connaissance de la direction du vent, de sa force et de sa fréquence est importante. Dans la région les vents dominants sont de secteur Nord-Est et Nord-Ouest. Ils sont toujours chargés d'humidité. Au sol l'importance des vents est extrêmement variable, selon les conditions locales du relief. Leur effet dans les basses plaines est moins spectaculaire, mais provoque la formation des monticules appelés touradons, autour des touffes. Le sirocco est un vent chaud desséchant venant du Sud qui se manifeste plus particulièrement en été sur l'ensemble de la région. C'est un vent dangereux pour la végétation, la masse d'air très sèche et l'élévation brutale de la température de l'air provoquent des dégâts plus ou moins importants dans la végétation. Il souffle de 1 à 18 jours par ans, dans la région.

### 3.7.5 Synthèse bioclimatique

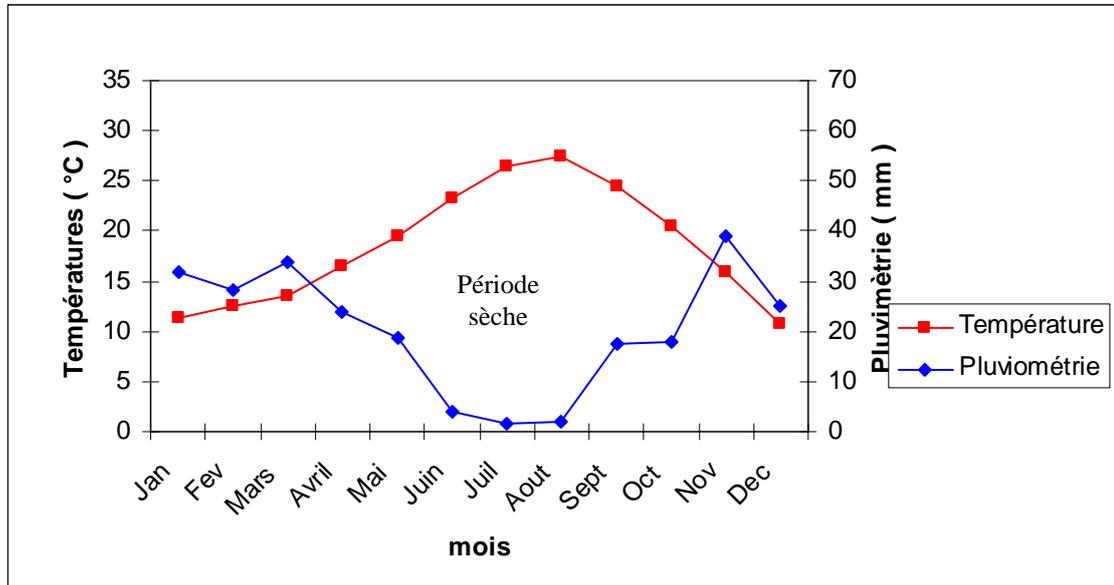
**Quotient pluviométrique d'Emberger :** Pour la station de Mostaganem, le  $Q_2$  est égal à 50.87 alors qu'il n'est que de 24.44 pour la station de Sidi-Abd-Elmoumen. En reportant ces valeurs sur le climagramme d'Emberger, qui comporte en ordonnée les valeurs de  $Q_2$  et en abscisse la température minimale du mois le plus froid en (°C), la station de Mostaganem se localise dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré, et la station de Sidi-Abd-Elmoumen est localisée dans l'étage bioclimatique aride supérieur à hiver tempéré.

**Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson :** La plaine réceptionne d'importantes quantités d'eau provenant du bassin versant, elle dispose de réserves hydriques assez intéressantes. Dans les nappes de surface, l'eau se maintient pendant plusieurs mois de l'année.



**Figure 21:** Diagramme Ombrothermique de la station de Mostaganem période ( 1983-2000 ).

La période sèche sera certainement moins importante que celle déterminée à partir du diagramme de Bagnouls et Gausson. La période sèche de Mostaganem s'étale entre le mi d'Avril jusqu'au début d'Octobre (fig. 21). Celle de Sidi-Abd-Elmoumen s'étale entre le début d'Avril jusqu'au début de Novembre (fig. 22).



**Figure 22:** Diagramme Ombrothermique de la station de Sidi-Abd-Elmoumen période (1983-2000).

**Indice de xérocité d'Emberger :** Pour un même  $Q_2$  et un  $m$  du même ordre de grandeur, deux ou plusieurs stations, peuvent avoir une végétation différente, selon l'intensité de la sécheresse estivale, cette dernière peut être exprimée par l'intermédiaire du quotient ou l'indice suivant :

$$I = PE / ME$$

P : précipitation annuelle des trois mois d'été ;

M : moyenne des ( $t^\circ$ ) mensuelles des trois mois d'été.

D'après EMBERGER, la période où  $I$  est inférieur à 7, considérer comme période sèche, dans l'aire de végétation méditerranéenne. Donc, Mostaganem ( $I=0,5$ ) et Sidi-Abd-Elmoumen ( $I=0,22$ ).

A l'échelle annuelle, les méthodes utilisées donnent des résultats très concordants, la région est soumise globalement à un régime semi-aride. Dans le détail, des caractéristiques plus particulières sont associées à chaque saison.

En conclusion notons que la région qui se situe dans un climat semi-aride avec une pluviométrie moyenne annuelle fluctuant entre 380 et 250 mm, une tranche importante de ces précipitations est concentrée en un nombre restreint de jours surtout en période hivernal, elles sont souvent des pluies

torrentielles. L'humidité et la proximité de la mer sont des paramètres à ne pas négliger dans toute analyse et approche.

### 3.8 Aspects socio-économiques

L'action de l'homme sur le milieu naturel à travers ses diverses activités constitue l'un des facteurs les plus importants agissant sur les caractéristiques physiques et biologiques de la zone humide. D'autres paramètres interviennent également sur la compréhension de la répartition de la végétation comme la géomorphologie, la topographie, l'hydrologie, ainsi que la nature des sols. L'ensemble de ces facteurs subissent une pression directe ou indirecte de l'action de l'homme. C'est surtout l'élevage et l'agriculture qui constituent actuellement les facteurs dégradants les plus redoutables.

**Les activités humaines :** Belgherbi et Benabdeli (2010) notent à ce sujet : « La zone humide de la Macta a subi des modifications importantes depuis l'arrivée des français en Algérie. Parmi les premières modifications de l'écosystème humide, l'introduction de cultures comme le tabac et la vigne. La superficie du tabac est passée de 65 ha à 176 ha en 1865. Quant à la vigne, elle fut installée en 1851 et depuis est passée de 35 ha pour atteindre 1000 ha en 1900. Cette culture a connu une nette régression depuis 1901 pour se stabiliser uniquement à 100 ha en 1930. Le coton, une autre culture introduite a connu une évolution en surface de 109 ha à 1200 ha entre 1850 et 1930 avec une régression enclenchée en 1940 pour disparaître totalement en 1960. L'introduction de ces nouvelles cultures dans toute la région et surtout au niveau de la zone humide depuis le début du 18<sup>ème</sup> siècle a été faite dans le cadre du programme de mise en valeur initié par le gouvernement français ».

Toute la zone a connu et connaît encore une exploitation humaine très intense dans ses environs ce qui se traduit par une pression humaine et animale sur la zone humide. Les labours et l'élevage sont les deux facteurs justifiant la régression de la zone humide.

**L'agriculture :** La plaine abrite 126 exploitations collectives (E.A.C.) et 20 exploitations individuelles (E.A.I.), sur une superficie d'environ 10.000 ha. (DGF, 2001). C'est les céréales et l'arboriculture (tab. 23), qui dominent actuellement avec une population de 10 000 habitants environ soit un ratio de 5 ha de la surface agricole totale par habitant.

L'exploitation de ces données montre que l'agriculture est dominée par les cultures maraîchères elle occupe environ 16700 Ha de la SAU soit 36.8 % du total, suivi par la jachère et les céréales avec 27,7 % de la SAU. Ces dernières occupations justifient la forte présence d'un cheptel. En deuxième position, on a les céréales.

**Tableau 23:** Répartition de surfaces cultivées dans la plaine

Commune	SAT (ha)	SAU (ha)	Céréales	Agrumes	Cultures maraîchères	Jachères
MOCTA DOUZ	8016	5646	1401	568	1997	2971
S.A.MOUMENE	6850	4451	1580	799	1648	1962
ALAÏMIA	4435	4066	1950	0	2665	1222
MOHAMMADIA	9926	7974	55	1796	1864	4193
EL GHOMRI	12209	7722	895	11	3859	3661
BOUHENNI	8536	7847	1030	448	2100	5187
SIG	5829	4250	740	14	1160	885
R.A.AMIROUCHE	4483	3380	875	0	1406	1032

(DPAT Mascara, 2005)

**L'élevage :** La zone humide de la Macta, de part sa richesse floristique (steppe halophile pérenne) et la présence de ses pâturages en saison sèche, attire des pasteurs de toute la région. Toutefois, l'élevage défini par Mainguet (1995) comme l'activité fondée sur la domestication des herbivores, leur moyen de production et bien de consommation n'est pas du tout à l'ordre du jour dans cette zone. Il ne saurait y avoir de pratique d'élevage sans terres productrices d'herbe, ce qui n'est malheureusement pas le cas dans cette zone.

L'élevage dans la plaine était pratiqué par les romains, et pendant les invasions arabes (Tafer, 1993). Au début du 19<sup>ème</sup> siècle, il a pris de l'ampleur grâce à l'augmentation des exploitants agricoles, et grâce à l'introduction de nouvelles techniques d'élevage et de production fourragère par les colons. A partir de ce moment, l'élevage est devenu un facteur notable de dégradation de la végétation. D'après Simonneau (1950), au début du 20<sup>ème</sup> siècle, le troupeau bovin variait entre 8000 et 15000 têtes, le troupeau ovin s'élevait à 30000 têtes pendant les années favorables. Aujourd'hui, le nombre d'ovins est trois fois plus grand (tab. 24). L'assèchement d'une grande partie des marais de la Macta depuis les années 1990 a encouragé les riverains à utiliser cet écosystème. L'extension des superficies agricoles (céréales essentiellement) et la richesse de la strate herbacée ont attiré les nomades et leurs troupeaux estimés annuellement à plus de 10 000 têtes. (Benabdeli et Mederbal, 2004)

L'utilisation intensive des ressources fourragères de la plaine a entraîné la régression de couverture végétale et l'augmentation des surfaces dépourvues de végétation. Le piétinement et le tassement du sol, ont provoqué l'apparition des espèces n'ayant aucune valeur fourragère (*Scolymus hispanicus*, *Eryngium amethystinum*, *Scilymus pullata*).

Les travaux de Lehouérou (1969), au Sud de Tunisie, ont déterminé une charge d'une tête pour 6.5 ha. Par contre, en Algérie la charge est de 11 têtes pour 2 ha. Ainsi le prélèvement pour le cheptel est

estimé à 1kg de matière sèche par 1kg de poids vif et par tête d'ovin ; un ovin peu donc prélever 15kg/ jour. Un bovin prélever 40kg/ jour, et 14400 kg/an. Donc ces chiffres donnent une estimation de la quantité de biomasse végétale prélevée par le cheptel.

**Tableau 24:** Répartition du cheptel animal.

Commune	Ovin	Bovin	Caprin
MOCTA DOUZ	11282	141	853
S.A.MOUMENE	13195	480	480
ALAÏMIA	12750	550	300
MOHAMMADIA	12690	1231	997
EL GHOMRI	9008	658	705
BOUHENNI	12645	214	447
SIG	8500	700	540
R.A.AMIROUCHE	14500	635	410
Totale	94570	4609	4732

(DPAT Mascara, 2005)

Le cheptel contrôlé par la population nomade et riveraine est évalué à 94570 têtes d'ovin, 4732 têtes de caprin et 4600 têtes de bovin. Le nombre de tête par hectare est très élevé, la végétation subit une forte pression. On retrouve chez les nomades les pratiques qui ont dégradé la couverture végétale : l'arrachage, et l'augmentation de la densité des pistes. Les emplacements des tentés et des enclos restent dépourvus de végétation pendant plusieurs années.



Photo n°05 : L'élevage transhumant dans la plaine

## Chapitre 03: Dynamique des formations forestières en Oranie

### Introduction

Les écosystèmes forestiers des zones arides et semi-arides sont soumis à une dégradation inquiétante et surtout accélérée sous la pression anthropique et animale en plus du stress hydrique et de la fluctuation des précipitations avec une tendance à la diminution. C'est surtout l'action de l'homme et de ses troupeaux qui causent les perturbations tant quantitatives que qualitatives aux écosystèmes forestiers. La diversité biologique est sévèrement atteinte par l'exploitation irrationnelle des espaces qui abritent les ressources naturelles. D'autres facteurs agissent également sur la dégradation des écosystèmes forestiers comme le déficit hydrique, le phénomène de la salinité et l'érosion.

Toute politique de préservation et de développement de ces espaces dégradés doit nécessairement passer par un inventaire de leur potentiel physique et biologique qui s'appuie sur une bonne connaissance des ressources en place. A ce sujet Benabdeli (2010) note : « D'année en année les espaces naturels et même modifiés diminuent et connaissent une mutation au gré du développement industriel, agricole et commercial de la région. Il m'était difficile d'envisager une approche scientifique classique de la préservation de la biodiversité sans essayer de dévoiler et d'identifier les causes déterminantes de cette situation catastrophique, de définir de nouvelles notions adaptées à nos réalités. Pour cela il est indispensable de comprendre le comportement des espaces dans leur dynamisme, dans leur composition, dans leur processus de dégradation et surtout dans leur intégration dans des programmes de développement socio-économiques imposés par des politiciens. Tous les efforts consentis depuis trois décennies se sont avérés vains car les espaces naturels sont considérés comme une ressource inépuisable où toutes les interventions étaient permises même celles à teinte politique ou sociale. Le résultat alarmant obtenu trouve son optimum dans l'érosion de la biodiversité, dans la perturbation du régime des eaux, dans l'accentuation de l'érosion et des inondations et dans l'altération des écosystèmes naturels et même modifiés ».

La gestion efficace de ce patrimoine nécessite, au préalable, la cartographie et l'inventaire des ressources disponibles caractérisant ce patrimoine. En plus de ces données statiques il est indispensable d'assurer le suivi et la surveillance de la dynamique de l'occupation du sol due aux changements du couvert végétal s'opérant sous l'effet de plusieurs facteurs : dégradation du sol, surpâturage, évolution de la population, surexploitation des ressources végétales, etc. Cette forte pression exercée sur les ressources exige une planification des activités et des interventions sur le territoire basée sur une connaissance plus précise des processus de dégradation du couvert végétal. Il est donc nécessaire de développer des stratégies de surveillance et de gestion des différents

espaces qui restent complémentaires mais doivent obéir à une exploitation durable. Ces stratégies doivent reposer sur des moyens et des approches performants en occurrence la télédétection et les systèmes d'information géographique.

Les images satellitaires constituent un outil important dont il faut tenir compte dans le cadre de la planification et de la gestion environnemental. Selon Pouchin (2001) les images sont descriptives et elles apportent une information visuelle beaucoup plus importante par rapport à l'homme. L'aspect multi-spectral des données de télédétection offre un atout crucial dans la caractérisation des objets dans une large bande spectrale. Quant à l'aspect multi-résolution le passage d'une échelle fine à une échelle plus petite est tout à fait possible. Ainsi, il sera possible de faire des diagnostics tant quantitatifs que qualitatifs permettant de cibler avec précision les sources des problèmes d'aménagement des différents espaces. Tout programme de gestion des espaces exige un état des lieux, objectif pouvant être atteint rapidement grâce à la télédétection et aux systèmes d'information géographique. Ces outils sont utiles puisqu'ils peuvent combler la carence en informations fiables, largement répandue dans les pays sous développés, comme les statistiques et les cartes. La télédétection est une source d'information incontournable dans l'étude du changement dans l'occupation du sol.

L'expression matérielle des changements à l'origine des conflits relève de plusieurs catégories qui peuvent être résumées en cinq points :

- la dynamique régressive d'un espace sous l'effet de pressions humaines
- la transformation d'un espace de sa vocation d'origine pour en tirer profit ;
- la modification d'un espace de sa vocation originelle (construction, infrastructures etc...) ;
- l'aménagement d'une manière générale des espaces ;
- les questions d'accès (restriction/exclusion, ou ouverture/servitudes).

### **Apport de l'approche développée**

L'approche innovante qui sera développée dans cette partie en agissant sur un espace assez grand, l'Oranie du Nord. L'utilisation de la télédétection et des systèmes d'information géographique doivent aboutir aux objectifs suivants :

- Permettre une grande efficacité dans l'inventaire et la cartographie de la végétation et dans le suivi de l'évolution des formations forestières ;
- Donner aux gestionnaires les moyens de disposer d'une information précise et actuelle sur la gestion et la protection des ressources naturelles;

- Apporter une assistance dans l'analyse et l'interprétation des images satellitaires pour la gestion des ressources naturelles.

La détection et l'identification des changements d'occupation du sol, constituent l'une des préoccupations essentielles pour les scientifiques et les gestionnaires impliqués dans la compréhension et la gestion des écosystèmes naturels et artificiels (Manière, 1987). Ainsi, ces trente dernières années, on assiste à un véritable changement dynamique de l'occupation du sol avec une dégradation intensive de la couverture végétale naturelles surtout en zone aride et semi-aride. En effet, les effets néfastes des périodes de sécheresses à partir des années de 1970 conjugués avec l'accroissement de la population ainsi que la conjoncture qu'a connu le pays dans les années 1990 ont fortement bouleversé l'équilibre fragile du milieu naturel. Ces effets néfastes risquent d'entraîner la disparition partielle ou totale de certains écosystèmes naturels parties des réserves. Cependant, la localisation dans l'espace et dans le temps des différents secteurs en mutation les plus significatifs permet aux spécialistes de l'aménagement du territoire et aux responsables locaux de bien comprendre ces différentes mutations spatiales qui affectent les écosystèmes naturels en Algérie et dans l'Oranie en particulier.

Dans le cadre de ce travail, la dynamique quantitative des formations forestières en Oranie a été étudiée durant les trente dernières années soit de 1984 à 2009. Ce travail a été possible par l'analyse de données de télédétection (images LANDSAT) et d'observations de terrain dans le but d'établir la typologie des principales formations végétales, au niveau de perception du capteur satellitaire. Les résultats obtenus sont présentés essentiellement sous forme de cartes, supports à une interprétation sur les facteurs qui sont à l'origine d'évolution de couvert végétal. Les apports de différentes méthodes d'analyse des images satellitaires, de la détection des changements et données de la télédétection sont permet de la compréhension des processus de cette évolution.

## **1. Acquisition des données**

L'acquisition des données reste un volet très important dans la télédétection et les systèmes d'information géographiques. Du choix des supports satellitaires dépend la qualité de l'exploitation et des cartes thématiques qui peuvent être élaborées.

### **1.1 Images satellitaires**

Les données satellitaires utilisées pour effectuer cette étude du suivi de la couverture végétale, sont des scènes acquises par le capteur Landsat (TM et ETM+) (Tab. 25).

Quinze images acquises par les satellites du programme Landsat ont été utilisées dans l'étude, cinq proviennent du capteur ETM+ datent en 2000, cinq du capteur TM4 de 1984 et les cinq derniers du capteur TM5 en 2009

Tableau 25: Caractéristiques des données utilisées

Capteur	Trajectoire	Rangée	Date
TM5	197	35	10/07/2009
	197	36	10/07/2009
	198	35	01/07/200/
	198	36	01/07/2009
	199	36	08/07/2009
ETM+	197	35	25/07/2000
	197	36	25/07/2000
	198	35	04/08/2000
	198	36	17/08/2000
	199	36	05/06/2000
TM4	197	35	12/06/1984
	197	36	12/06/1984
	198	35	28/07/1984
	198	36	28/07/1984
	199	36	03/07/1984

## 1.2 Le Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Les données exploitées et utilisées sont obtenues à partir de la mission STS99 de la NASA et de la NIMA (National Imagery and Mapping Agency du Ministère américain de la Défense) et des agences spatiales allemande et italienne. C'est une mission s'étalant sur 11 jours, qui a pour but d'établir un modèle numérique de terrain (MNT) de l'ensemble de la terre. La mission utilise l'interférométrie rada ; elle utilise des radars, à ouverture synthétique, SIR et SAR, en bandes C et X.

## 2. Méthodologies

Les techniques de cartographie ont sensiblement évolué depuis l'apparition de la photo aérienne dans un premier temps puis des images satellitaires actuellement. D'immenses zones réputées peu accessibles sont devenues rapidement observables par le recours à ces images.

L'interprétation des images satellitaires s'appuie sur un nombre limité de relevés de terrain judicieusement choisis. Le passage des photos aériennes analogiques aux images satellitaires numériques s'est traduit par un foisonnement de développements méthodologiques qui ont pour but d'en exploiter pleinement les caractéristiques essentielles. (Mayaux et al. 2003). Le développement de plusieurs logiciels de traitement de ces images est un autre facteur facilitant l'exploitation des images et leur transformation en cartes thématiques ciblées.

L'image offre une vue d'ensemble exhaustive du terrain à étudier et restitue fidèlement les caractéristiques du tapis végétal

L'imagerie satellitaire donne en effet la possibilité :

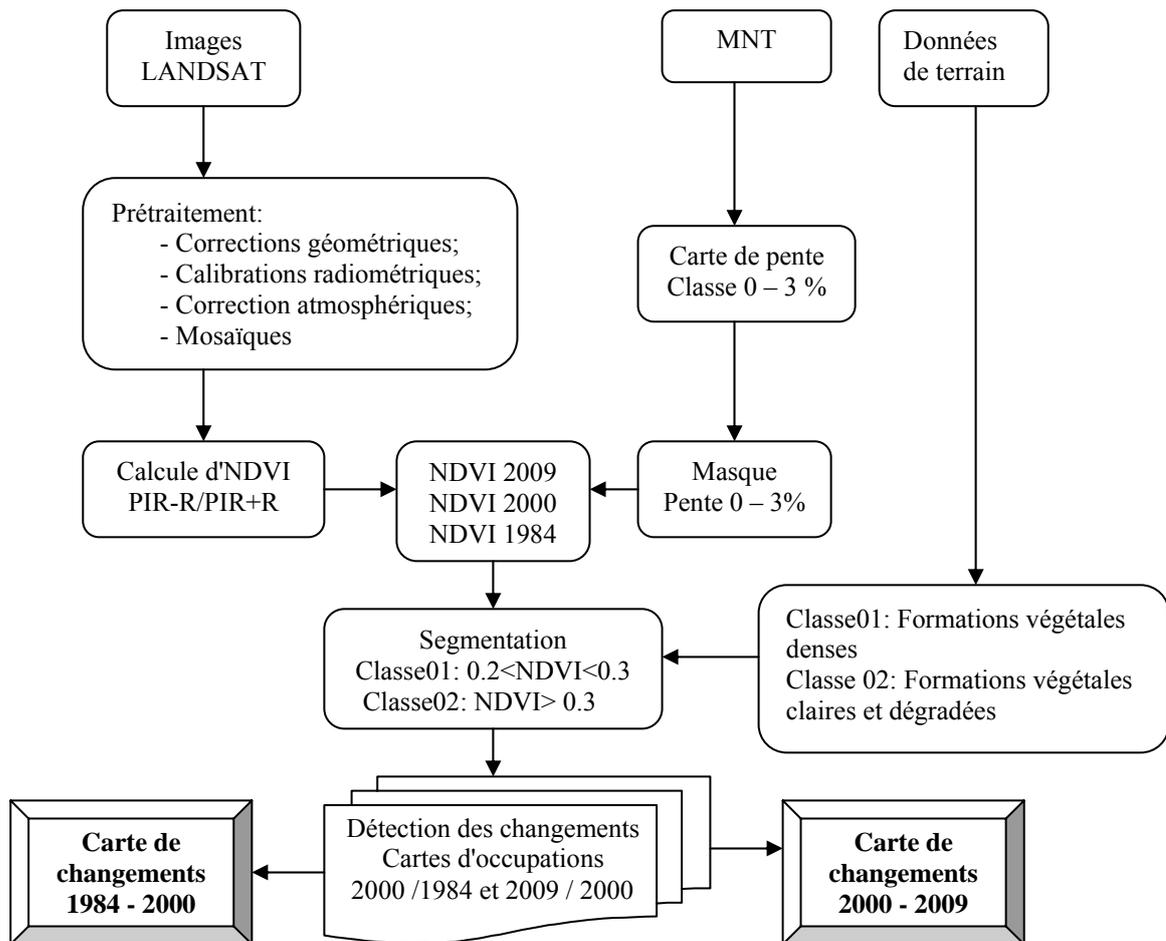
- d'observer simultanément de vastes surfaces correspondant à la totalité d'une aire protégée,
- de réaliser des traitements numériques sophistiqués (redressement géométrique, classifications numérique...),
- de répéter les observations pour suivre les changements inter et intra-annuel de l'occupation du sol.

La détection des changements est le processus par lequel on identifie des différences dans l'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à différentes dates (Singh, 1989). C'est l'une des principales applications de la télédétection satellitaire étant donné la couverture répétitive offerte et la constance dans la qualité des images. L'approche de détection des changements est caractérisée par la procédure de transformation des données et la technique utilisée pour identifier les zones ayant subi un changement. Certaines précautions doivent être prises à travers une sélection de canaux adaptés aux objectifs recherchés et permettant l'utilisation des différents logiciels de traitement des images satellitaires.

## **2.1 Préparation des images**

Dans une étude de détection de changements, les images utilisées doivent présenter des caractéristiques les plus homogènes possibles de sorte que les différences provenant de leur comparaison puissent être associées à de réels changements d'état du territoire et non à des artefacts liés aux images. Idéalement, les images doivent provenir du même capteur et la date d'acquisition doit varier le moins possible (Sitayeb, 2006). En raison de considérations physiques et économiques, ces conditions idéales n'ont pu être rencontrées. Afin de contrer ces lacunes, les images ont d'abord fait l'objet de corrections géométriques et radiométriques. Le logiciel utilisé pour réaliser tous ces traitements est ENVI 4.7.

La méthodologie générale de travail est présentée dans la figure (23).



**Figure 23:** Organigramme méthodologique.

### 2.1.1 Corrections géométriques

Une correction d'image à image a été appliquée sur toutes les images TM à travers un total de 20 points de contrôle qui ont servi à établir une relation géométrique entre les pixels des images TM par rapport au images ETM+ du 2000 (déjà géométriquement corrigée par le fournisseur). Les images ont été géoréférencées dans le système de coordonnées UTM 30 (WGS 84) puis elles ont subi une interpolation spatiale polynomiale de première degré et un rééchantillonnage selon la méthode du plus proche voisin. L'indice de distorsion ou *Root Mean Square (RMS)* indique une erreur de 0.2 pixels entre les images ce qui est à l'intérieur de la limite requise (0,50 pixel) pour effectuer une détection de changements entre deux images satellitaires (Jensen, 1996).

### 2.1.2 Calibration radiométrique

Il s'agit de convertir les valeurs numériques des images brutes en luminance, puis en réflectance. Les informations radiométriques contenues dans une image Landsat brute sont codées

numériquement de 0 à 255 (8 bits). Il est nécessaire de ramener ces valeurs numériques à une grandeur physique (luminance ou réflectance) pour pouvoir étudier le comportement spectral des objets étudiés.

Les images Landsat-5 ont été converties en radiance at-satellite en utilisant Eq. (1)

$$L_{\text{sat}} = (\text{DN} - \text{B})/\text{G} \quad (1)$$

Où:

L est la radiance au niveau du capteur ;

DN est la valeur du compte numérique;

B est le Bias

G et le gain

Le gain et le biais sont fournis dans le fichier d'en-tête relié aux images, alors que les coefficients des autres variables se retrouvent sur le site Internet du Landsat 7 Science Data User's Handbook Chander et Markham (2003). L'impact de la dégradation de capteur sur le paramètre de gain a été expliqué pour utiliser des données publiées par Thome et al. (1997) et Teillet et al. (2001), alors que les paramètres révisés de gains publiés par Chander et Markham (2003) ont été utilisés pour des images acquises et traité après 05 mai 2003. Les bias rapportées par Markham et Barker (1986) ont été utilisées pour toutes les images.

Les images Landsat-7 ont été converties en radiance at-satellite en utilisant Eq. (2)

$$L = ((L_{\text{max}} - L_{\text{min}}) / (\text{DN}_{\text{max}} - \text{DN}_{\text{min}})) \quad (2)$$

Où :

$L_{\text{max}}$  est la radiance spectral de la bande mesuré de  $\text{DN}_{\text{max}}$  ( $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ );

$L_{\text{min}}$  est la radiance spectral de la bande mesuré de  $\text{DN}_{\text{min}}$  ( $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ );

$\text{DN}_{\text{max}}$  est le compte numérique maximal (255);

$\text{DN}_{\text{min}}$  est le compte numérique minimal (0).

Puis conversion en reflectance en utilisant Eq. (3)

$$\rho_{\lambda} = \pi * L_{\lambda} * d^2 / \text{ESUN}_{\lambda} * \sin(\theta) \quad (3)$$

Où:

$\lambda$  est le numéro de la bande spectrale ;

L est la radiance au niveau du capteur ;

$\rho$  est la réflectance au niveau du capteur ;

d est la mesure entre la terre et le soleil en unités astronomiques ;

ESUN est l'irradiance exo-atmosphérique solaire moyenne ;

$\theta$  est l'angle d'élévation solaire.

### 2.1.3 Corrections atmosphérique

Une correction atmosphérique à l'aide de la méthode "QUAC" QUick Atmospheric Correction, cette méthode détermine des paramètres atmosphériques de compensation directement à partir de l'information contenue dans la scène (spectres observés de Pixel), sans besoin d'informations auxiliaires. Il exécute une correction atmosphérique plus approximative que FLAASH ou autre méthodes physique, produisant généralement des spectres de réflectance dans approximativement +/-15% des approches physique (Bernstein et al. 2005). QUAC est basé sur l'empirique constatant que la réflectance moyenne d'une collection de spectres de matériels divers, tels que les spectres d'endmember dans une scène.

QUAC exécute une correction atmosphérique rapide et assez précise dans les conditions suivantes :

- 10 matériaux divers au moins dans une scène.
- Suffisamment des Pixel foncés dans une scène pour une bonne évaluation du spectre de ligne de base.

### 2.1.4 Mosaïque

Dans certains cas en bordure des images, il n'est pas possible de couvrir complètement l'étendue de la zone d'étude. Donc, cette application est de construire qu'un seul fichier numérique couvre toute la zone d'étude à partir des 5 images (fig. 24) déjà géoréférencées avec une résolution de 30 m. Avant la mosaïque une normalisation des images été fait par la méthode de la ligne empirique.

Une fois toutes les images correctement géoréférencées (projection UTM 30N) et normalisées, la réalisation de la mosaïque ne présente pas de difficulté concernant la géométrie. Par contre, les données acquises dans des conditions différentes (angle de visée, angle d'élévation solaire, conditions météorologiques,...), les images présentent des différences radiométriques importantes d'une scène à l'autre. Alors, des ajustements radiométriques entre les lignes ont été nécessaires afin d'homogénéiser l'ensemble.

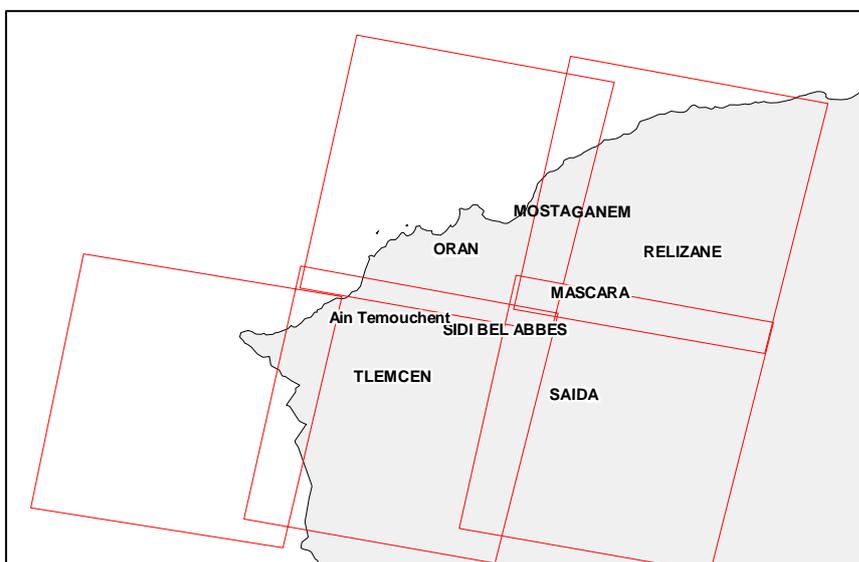


Figure 24 : Mosaïque des images Landsat utilisées

## 2.2. Les indices de végétation

C'est des indices permettant de délimiter des zones, bases de toute cartographie. C'est une étape qui a pour objectifs d'augmenter la sensibilité des images aux composantes végétales et d'exprimer la variance des images selon un nombre minimal de bandes spectrales afin d'augmenter le pouvoir de discrimination entre les différentes classes thématiques. Parmi les indices de végétation les plus populaires identifiés par Richardson et Everitt (1992), le *NDVI* est le plus utilisé en télédétection (Girard et Girard, 2000). Est un indice de végétation à différence normalisée qui est étroitement corrélé avec l'activité chlorophyllienne des surfaces végétales. Il est basé sur la différence des réflectances mesurées dans le rouge et le proche infrarouge :  $NDVI = (PIR - R)/(PIR + R)$ .

Où : *NDVI* est la valeur *NDVI* d'un pixel de l'image résultante ; *PIR* est la valeur numérique du même pixel dans la bande du proche infrarouge ; *R* est la valeur numérique du même pixel dans la bande du rouge. Les valeurs se situent sur une échelle de -1 à 1 où la valeur des pixels augmente avec la présence de végétation.

## 2.3. La segmentation

Il consiste à définir une classe sur l'histogramme, à lui affecter une couleur donnée, puis à représenter par cette même couleur sur l'image tous les pixels qui appartiennent à cette classe de l'histogramme. On peut alors analyser la distribution et l'organisation spatiale de tous les pixels ayant la même valeur spectrale sur l'image. Il est possible de faire de même avec une classe voisine, ou avec un ensemble de classes, ce qui permet de lier la position géographique des objets à leur comportement spectral sur l'image. Cette phase constitue le fondement théorique des classifications qui seront faites ultérieurement, puisqu'elle permet d'établir le lien entre les aspects spectraux et géographique, donc de définir les lois chronologiques. Cela facilitera le choix des seuils radiométriques pour les classifications, ou le tracé des limites des zones d'apprentissage servant de noyaux aux classifications. Toutes ces opérations peuvent être faites très rapidement sur les logiciels de traitement d'image, et alors on acquiert l'information sans la garder. Pour sauvegarder cette information sur le plan géographique, un néo-canal est créé ; celui-ci comporte sur le même espace géographique, la valeur de chaque pixel après sa transformation. Ce néo-canal pourra être utilisé dans une étape ultérieure du traitement. (Girard, 1999).

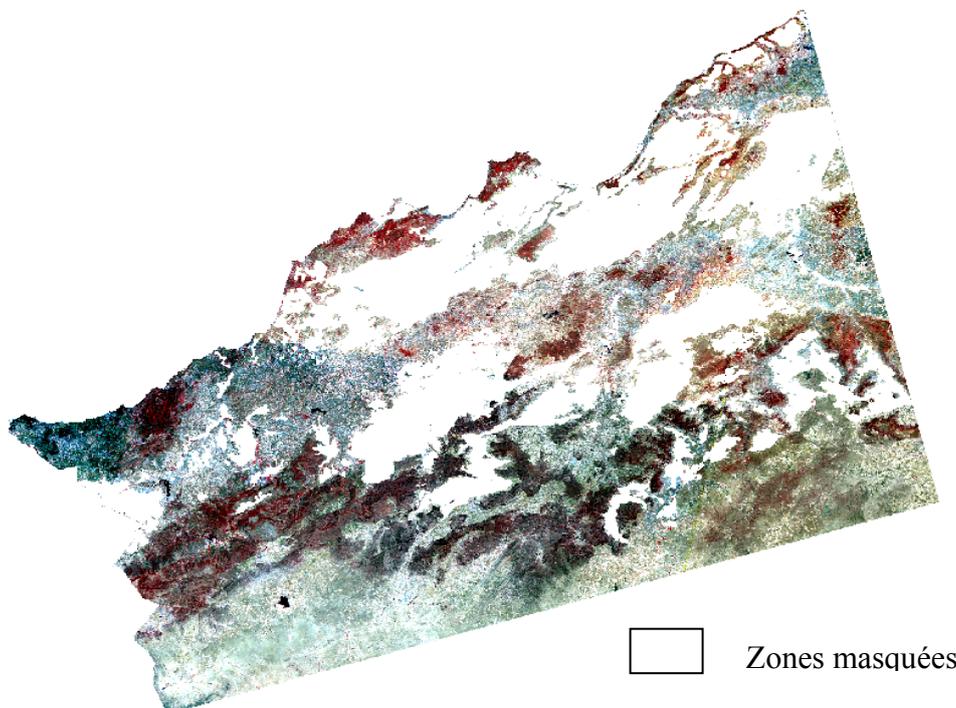
Une segmentation des images de l'*NDVI* en trois classes a été réalisée basés sur la valeur de chaque Pixel (Sitayeb et Benabdeli, 2010):

- Classe 01:  $NDVI < 0.2$ , sont les zones où la couverture végétale est absente, présente les zone urbaine, les sols nus, surface d'eau, ...ect.

- Classe 02:  $0.2 < NDVI < 0.3$ , les Espaces forestier ouvert et fragmenté avec une densité inférieur à 40 %, sont inclus forets fragmentés, matorrals troués, claires et dégradés, les broussailles et autre formation de couvert faible.
- Classe 03:  $NDVI > 0.3$ , Espaces forestier et pré-forestier fermé avec une densité de couvert supérieur à 40 %, sont inclus les forêts et les matorrals denses et fermés

## 2.4 Le masque

L'opération de masquage consiste à cacher une partie de l'image et à conserver intact d'autres parties. Il est fréquent que pour une application thématique donnée, seule une partie de l'image est ciblée (zone agricole, zone urbaine, zone forestière, zone montagneuse ou zone de plaine etc..) pour éviter des confusions dans la classification de certains phénomènes. Les confusions entre diverses classes de végétation agricole et végétation forestière ou naturelle seront ainsi évitées. Le traitement portera uniquement sur la partie de l'image identifiée afin de supprimer l'espace géographique non traité. Pour ce faire un découpage de type géométrique sur l'image est effectué en traçant les limites de la zone à traiter et en éliminant le reste. Un masque réalisé à l'aide d'une image de MNT pour éliminer toutes les zones agricoles de la région d'une pente inférieur à 3 % afin d'éviter les confusions entre la végétation agricole et végétation naturelle (Sitayeb et Benabdeli, 2010), la surface du masque couvre les zones agricoles (fig 25).



**Figure 25:** Répartition des zones masquées

## 2.5 Missions de terrain

Les missions de reconnaissance de terrain effectuées ont permis de repérer et de connaître un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol rencontrés sur la zone d'étude. Avant d'entamer les missions de reconnaissance et de repérage des zones test, un travail de photointerprétation a été entrepris au préalable.

La composition colorée ainsi réalisée a été corrigée géométriquement et imprimée à une échelle moyenne 1/200000. La correction géométrique de la composition colorée a permis une localisation facile et immédiate des zones test dans le système de projection UTM WGS 84 zone 30 Nord. Une spatio-carte a été élaborée où il est possible d'identifier les coordonnées (x,y) de n'importe quel échantillon. L'aspect visuel sur cette spatio-carte rend instantanément compte du type d'occupation de sol (végétation naturelle, sol nu, agriculture, bati, etc.).

Dans le but d'augmenter la précision des résultats cartographiques, plusieurs zones ont été définies à l'intérieur desquelles ont été retenus les différents échantillons parcellaires. Le choix de ces parcelles repose sur des critères tels que la teinte de couleur de la strate, la texture, la forme géométrique et la localisation géographique. Ces zones ont été facilement identifiées grâce à l'utilisation du GPS doté d'une précision de 20 mètres. Cette précision est suffisante lorsque qu'on travaille à petite échelle soit au 1/200 000. Pour chaque parcelle, des relevés de terrain ont été réalisés suivis d'observations et mesures comme :

- La description générale du relevé : localisation, géomorphologie, pente et type de sol;
- Le recouvrement de la végétation naturelle et état de dégradation.

Enfin, après confrontation de l'image à la réalité physique (composition colorée avec les informations récoltées sur terrain) une généralisation de l'analyse de l'image a été établie à partir des clés d'interprétation. Cette généralisation a par conséquent abouti à une typologie des principaux types d'occupation du sol retenus dans cette étude et de fixer les seuils des valeurs de l'indice de végétation correspond au chaque classe (voir segmentation).

## 2.6 Détection des changements

Deux types de méthodes de détection des changements ont été exploités, la comparaison d'images pixel à pixel (basé sur les données radiométriques des images) et la comparaison entre les cartes de végétation ou d'occupation du sol. Ces méthodes de détection des changements ont été scindées deux groupes :

- les méthodes ayant recours à un traitement numérique,
- la comparaison entre deux cartes d'occupation du sol

C'est la méthode de comparaison entre deux cartes d'occupations du sol issues de la segmentation des images de l'NDVI pour les trois dates (1984, 2000 et 2009) qui a été utilisée pour atteindre les résultats escomptés.

La méthode de différence d'image intuitive est la plus utilisée pour détecter des changements. Cependant, l'interprétation des résultats est délicate car les différences n'indiquent que le degré de changement et non sa qualité. En effet, une même différence peut être obtenue à partir de deux pixels appartenant à deux classes thématiques différentes (exemple :  $0.5 - 0.4 = 0.1$  et  $-0.2 - (-0.3) = 0.1$ ) (Bouziri, 1999).

### 3. Résultats obtenus

Dans l'ensemble ils sont assez significatifs puisqu'on observe des changements dans les trois zones retenues

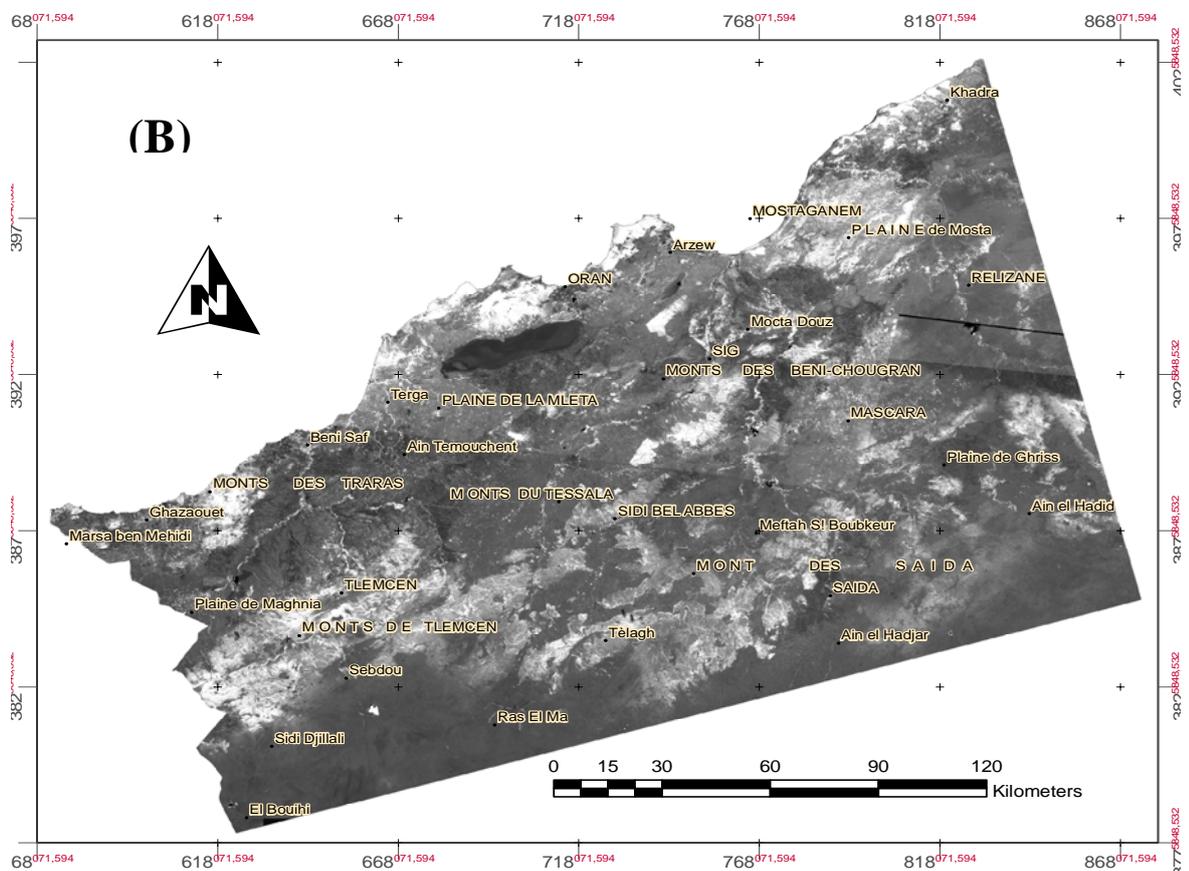
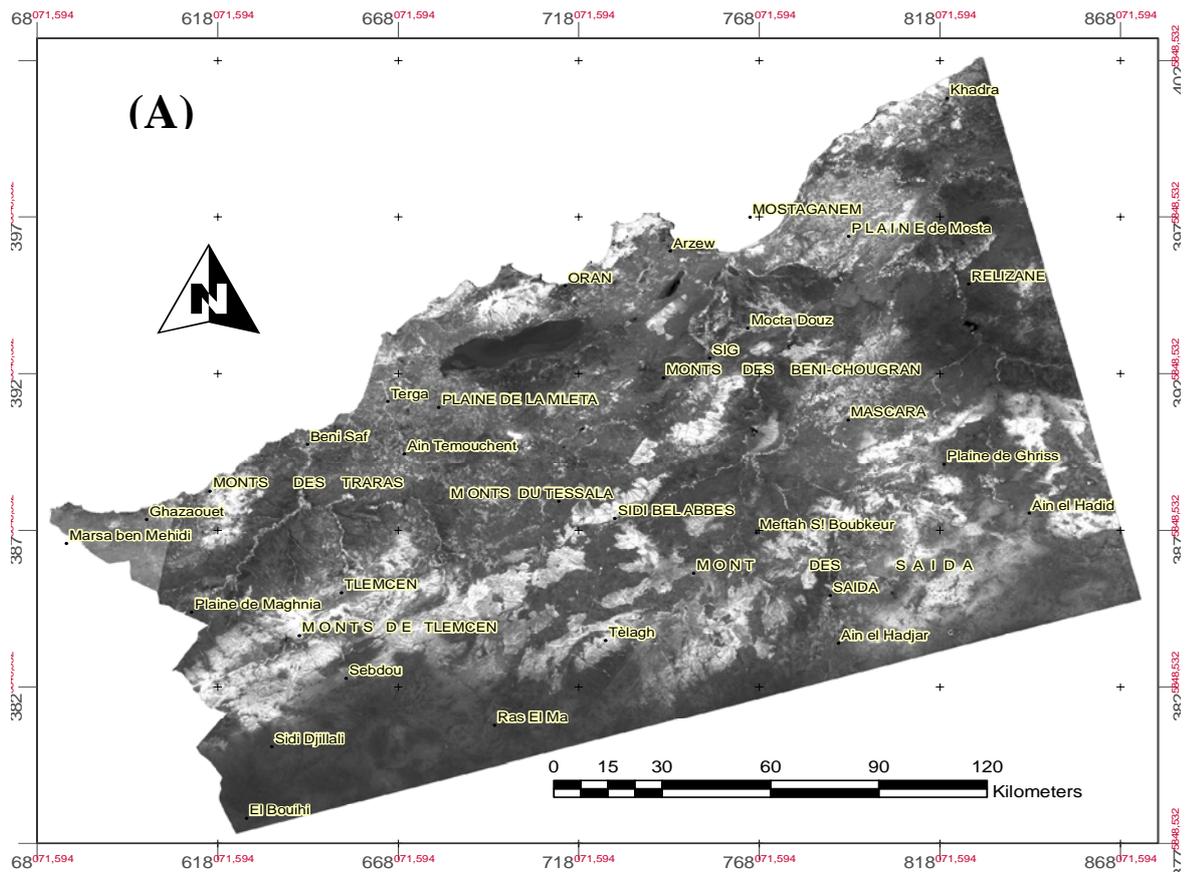
#### 3.1 Interprétation visuelle

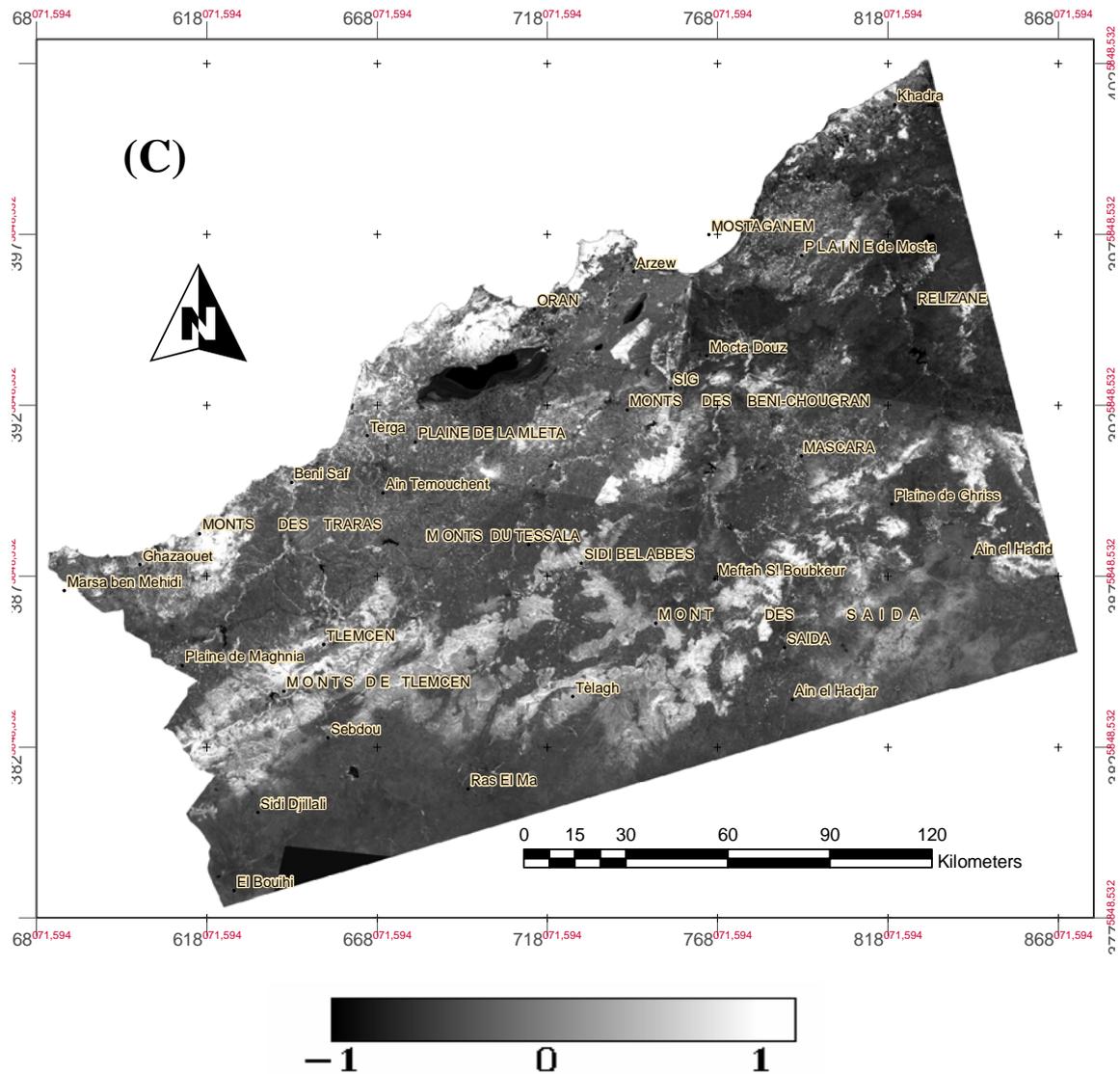
**Indice de végétation (NDVI) :** Dans la figure (26), nous présentons une visualisation des trois images NDVI de la zone d'étude de (1984, 2000, et 2009), Ce type de visualisation consiste à présenter en noir et blanc le rapport entre le canal du rouge et du proche infrarouge d'une image satellitaire. Cette présentation est réalisée par la mise en équivalence d'une échelle en tons de gris. Plus les tons sont blancs, plus les valeurs des pixels sont grandes alors que les tons foncés et noirs représentent les petites valeurs.

La comparaison entre les deux périodes des trois zones étudiées laisse apparaître de nets changements entre les images NDVI. Ces zones sont localisées selon une progression du Nord au Sud. La première zone représente le littoral oranais, la deuxième zone concerne les monts de Tlemcen, les monts de Tessala et les monts des Beni Chougrane et la troisième zone les monts de Dhaya et les monts de Saida (fig. 26).

Durant la première période (1984-2000), la zone des massifs montagneux du Tell oranais (monts de Tlemcen, monts de Dhaya et les monts des Beni Chougrane) et la zone des monts intérieurs (les monts de Dhaya et les monts de Saida) sont caractérisées par une forte diminution des valeurs de NDVI ce qui traduit par une dégradation intense de la couverture végétale naturelle. Dans ces zones, les formations forestières qui dominent sont les matorrals suivis par les forêts. Par contre la zone littorale se distingue par une régression moyenne des valeurs de NDVI.

Pour la deuxième période (2000-2009), c'est essentiellement par une augmentation de la couverture végétale qui est à souligner dans la totalité de la zone à l'exception des monts de Tessala où le couvert végétal connaît une régression.





**Figure 26:** Visualisation des images d'NDVI en ton de gris, (A) 1984, (B) 2000, (C) 2009

**Composition colorée :** La composition colorée couvrant la totalité de la région d'étude a été obtenue à partir d'une mosaïque de cinq compositions colorées issues de la superposition des canaux (TM2, TM3 et TM4) des cinq scènes de Landsat pour chaque période (1984, 2000 et 2009) (fig. 27). L'ensemble des images des les scènes ont subi un traitement de rehaussement et d'amélioration de contraste afin de parvenir à une composition colorée mettant en évidence la plus grande partie de l'occupation des espaces qui composent l'écosystème naturel. Cependant, elle a été utilisée comme un document d'interprétation de départ afin de guider les traitements numériques.

subséquents, l'échantillonnage au sol (reconnaissance des différents types d'occupation du sol) et l'extraction des points d'appui pour une éventuelle correction géométrique des images.

L'utilisation de couleurs permet de mieux apprécier la localisation des zones de changements mais ne donne aucune indication sur la nature et la quantité de changement (fig.27). Les compositions colorées des images en fausse couleur infrarouge, permettent bien de visualiser les zones de changement de la couverture forestière, un fort changement négatif visible pour la période (1984 – 2000) dans les monts de Tlemcen, les monts de Tessala, les monts de Dhaya, les monts de Saida et les monts des Beni Chougrane, caractérisée par une diminution de la surface des formations forestières et de leur densité.

Les techniques de comparaison visuelle ne permettent pas une détection directe des changements ; elles demandent du temps à cause du manque de nuances et cette analyse, dépendant du niveau d'expertise du photo-interprète, qui reste très subjective. Par ailleurs, elles ne fournissent pas de statistiques sur les zones affectées par des changements. La comparaison visuelle peut être toutefois utilisée comme une première étape pour la détection de changements.

### **3.2 Répartition de l'espace forestier entre 1984 et 2009**

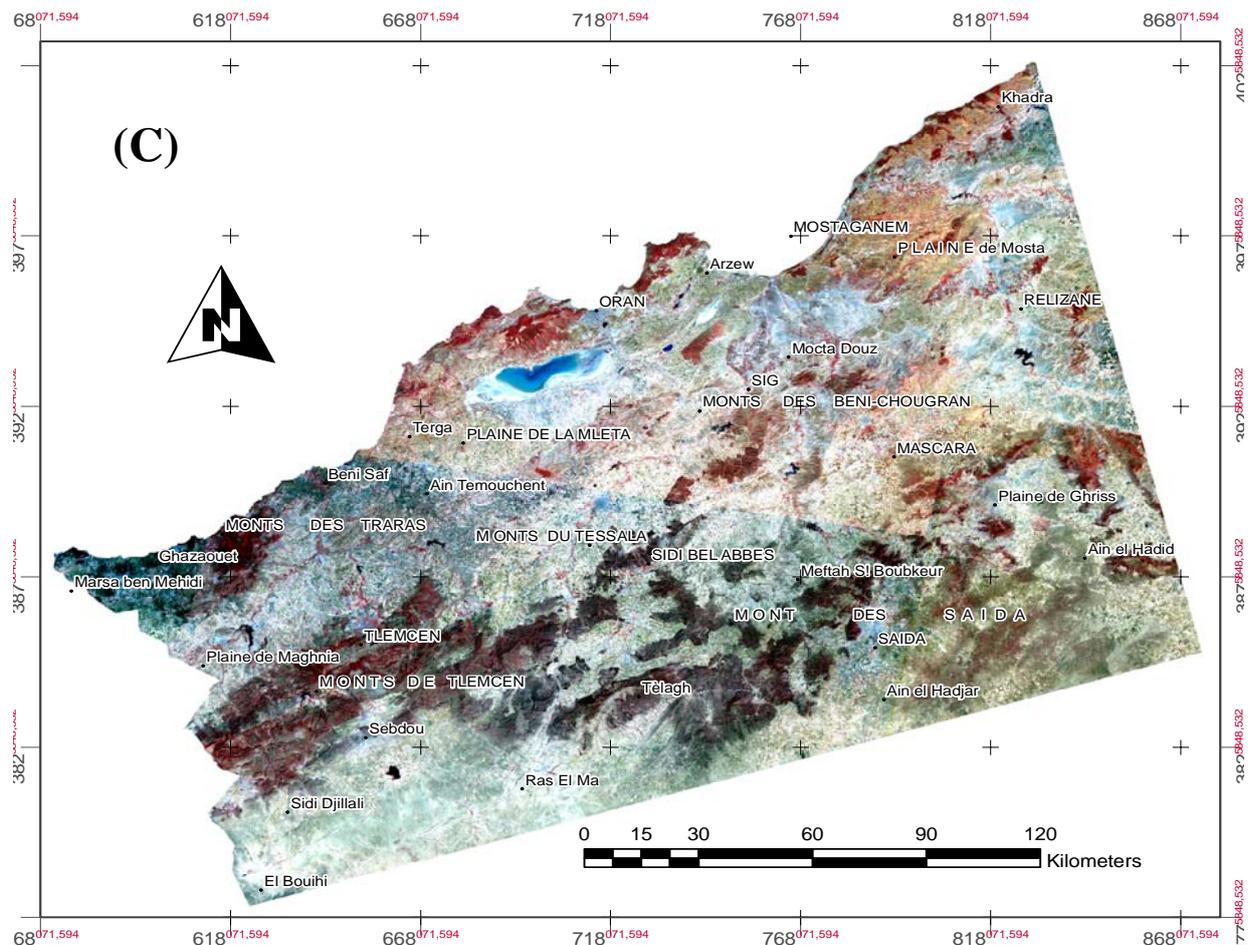
Les résultats d'analyse et d'interprétation des images LANDSAT pour chaque période présentent une variation des superficies occupées par les formations végétales naturelles (fig. 28 et 30).

L'espace occupé par les forêts et les maquis a connu une forte régression estimée à 22.5% soit de 2661,7 km<sup>2</sup> en 1984 à 2062 km<sup>2</sup> en 2000 (Tab. 26), dont 1271 km<sup>2</sup> ont été transformés en formations de matorrals et 306 km<sup>2</sup> en sol nu, durant la même période cet espace a gagné 748 km<sup>2</sup> de formations de matorrals et 229 km<sup>2</sup> de sol nu.

Cette régression ne peut être expliquée que par les pressions humaines (défrichement, incendies, coupes illicites) et animales (surpâturage, piétinement, éradication d'espèces) et par une occupation des terres non raisonnée.

Par contre, ces espaces ont connu une dynamique progressive évaluée à 83,2% (fig. 29) durant la période 2000-2009 soit de 2062 km<sup>2</sup> en 2000 à 3777,8 km<sup>2</sup> en 2009 dont, 1875,7 km<sup>2</sup> de formations de matorrals et 138,8 km<sup>2</sup> de sol nu étaient transformés en maquis et en même temps, il a perdu 259 km<sup>2</sup> en espaces de formations de matorrals et 40 km<sup>2</sup> en sol nu. Cette augmentation ne peut trouver son explication que dans cette période la pression humaine et animale était totalement absente des formations naturelles.





**Figure 27:** Composition colorée en fausse couleur infrarouge, (A) 1984, (B) 2000, (C) 2009

Les espaces occupés par les matorrals ont connu une augmentation entre 1984 et 2009 même s'ils sont dans un état de dégradation très avancé ; les aspects quantitatifs priment sur les aspects qualitatifs. La superficie totale de ces formations forestières a passée de 5430,6 km<sup>2</sup> en 1984 à 6392,2 km<sup>2</sup> en 2000 soit un gain de l'ordre de 17,7%, ce qui est appréciable. Il est enregistré en 2009 plus de 6951,8 km<sup>2</sup> se traduisant par une extension de 560 km<sup>2</sup>, ce qui reste assez appréciable dans un tel espace.

Durant la première période cet espace a perdu 2438 km<sup>2</sup> de sa superficies, dont 748,5 km<sup>2</sup> ont régressé en formation basse (garrigue et erme) et 1689,7 en sol nu à cause d'incendies répétées. En sens inverse 1271,4 km<sup>2</sup> de forêt et matorral dense et 2128,3 km<sup>2</sup> de matorral se sont dégradés et devenus des formations basses et claires (garrigue et erme).

Les graphes qui suivent synthétisent et visualisent cette dynamique à tendance régressive des formations forestières au courant des trois périodes retenues.

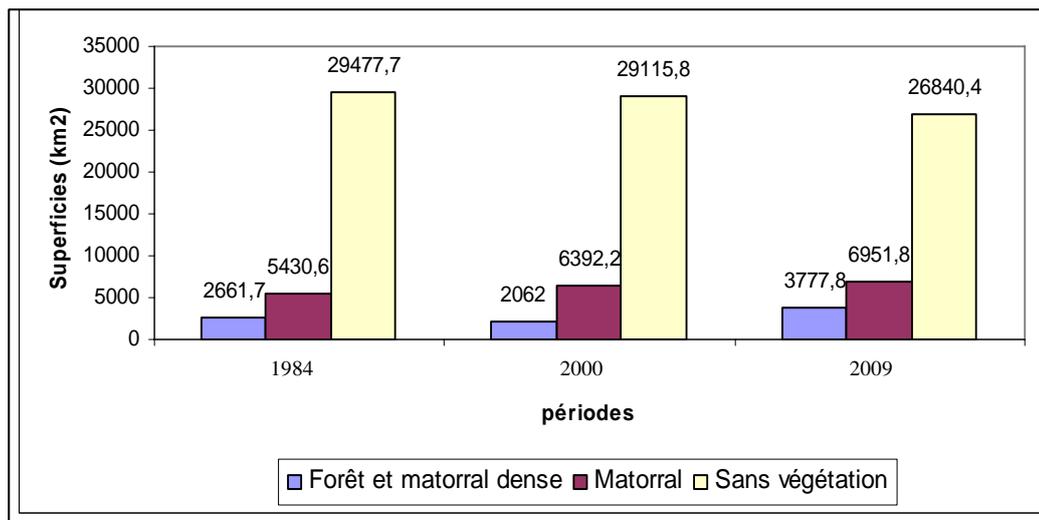


Figure 28: Répartitions des superficies des formations forestières

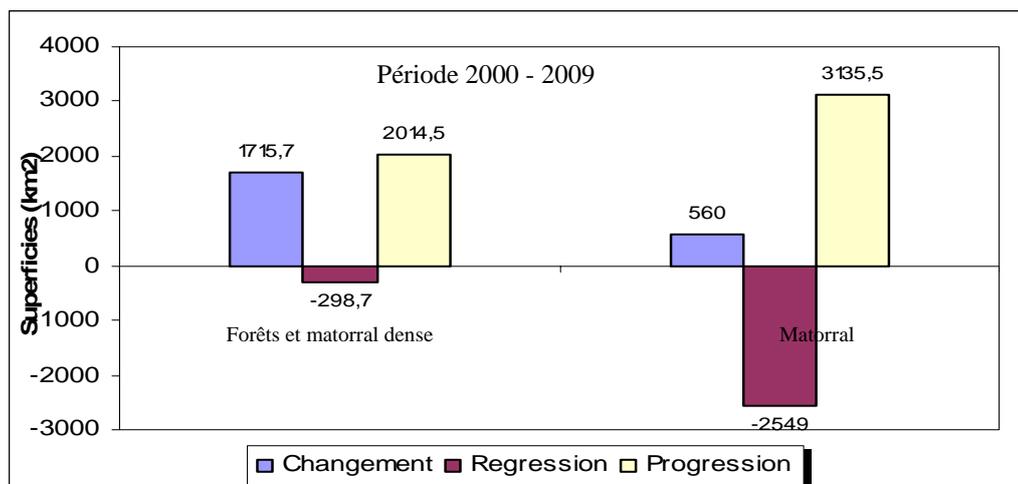
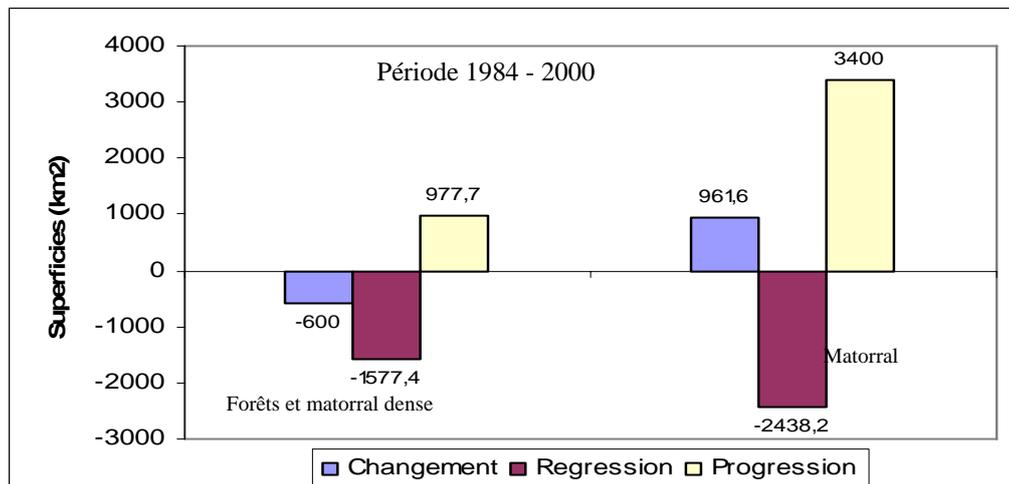
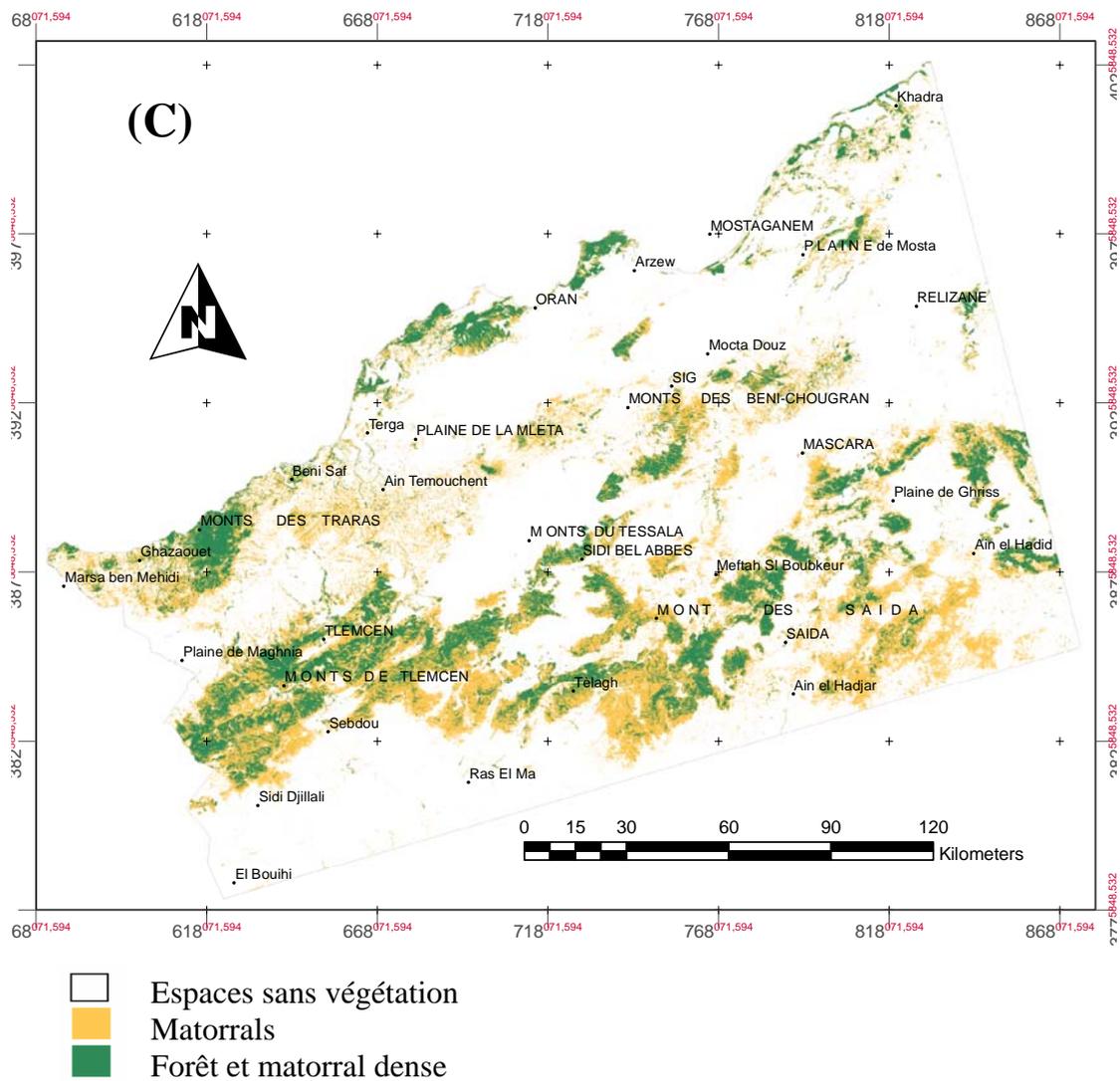


Figure 29: Quantités de changements de superficies des formations forestières





**Figure 30:** Répartition des formations végétales naturelles, (A) 1984, (B) 2000, (C) 2009

La figure (29) donne un aperçu assez significatif sur la dynamique spatiale des formations végétales forestières sur une période de 25 ans, ces changements sont traduits par les gains et les pertes au niveau des superficies de chaque type de formation végétale.

Les espaces occupés par les formations forestières (forêts et matorral dense) ont subis une régression importante durant la période 1984-2000 où ils ont perdu 600 km<sup>2</sup>, dont 22,5 % a été perdu en 16 ans. L'impact intensif de l'action anthropozoogène sur ces espaces tel que le défrichage, les surexploitations, le surpâturage, l'extension des champs cultivées et les incendies très intenses durant la période 1995-2000.

Par contre 09 ans plus tard, entre 2000 et 2009, la situation s'est inversée, ces espaces ont récupéré ces pertes et avec des gains supplémentaires estimés à 1715,7 km<sup>2</sup> soit 83 %. Les conditions sécuritaires (période de terrorisme) et l'effort en matière de reboisement dans le programme national de reboisement, auxquels s'ajoutent des précipitations clémentes stimulant le pouvoir de régénération naturelle des formations végétales. voir le détail de changement en annexe (01 à 04).

Les espaces occupés par les matorrals et les broussailles représentent les deux stades de dégradation de la forêt méditerranéenne. Ils ont connu une importante régression entre 1984 et 2000 dans certaines régions; ils avaient perdu 748,5 km<sup>2</sup> à cause essentiellement des incendies, des défrichements et d'une exploitation comme terrain de parcours pour les troupeaux. Ces espaces sont considérés comme d'excellents terrains de parcours puisqu'ils sont de pénétration facile, très accessibles toute l'année et offrant une biomasse verte de plantes herbacées palatables même en période sèche (Benabdeli, 1996).

Durant la même période, la superficie de ces espaces a augmenté d'une façon remarquable soit 961,6 km<sup>2</sup> de gain et 560 km<sup>2</sup> entre 2000 – 2009. Cette augmentation est traduite par la dégradation de la forêt et par la diminution d'utilisation de ces espaces dans cette période par la population à cause des problèmes de sécurité, où les broussailles ont occupée les terres abandonnées par les agriculteurs.

La figure (31) présente les quantités de changement de couvert forestier par région, durant la période (1984 – 2000) le couvert forestier de la région de Sidi bel-Abbes a connu une forte régression estimée à 288 km<sup>2</sup> soit 50 % de sa superficie, en deuxième position les formations forestières de la région de Mostaganem avec une perte de 44 % puis de Mascara avec 32 % de perte (Tab. 26). Les formations de matorral ont connue un mouvement progressif dans certaines régions, à Sidi Bel-Abbes avec 42% de gain et 48,5 % à Saida. Un mouvement régressif avec une perte de superficies occupées par cet espace, de 48,5 % à la région de Saida, 30,5 % à Ain Témouchent et 22,8 % à Mostaganem.

Durant la deuxième période (2000-2009), les surfaces occupées par les formations denses (forêt et matorrals denses) ont connue une augmentation importante dans la totalité de la zone d'étude sauf dans les régions de Sidi Bel-Abbes, Saida et Oran où la superficie de ces formations a connu une diminution. (tab.26).

**Tableau 26** : Evaluation de la dynamique des formations forestières de 1984 à 2009

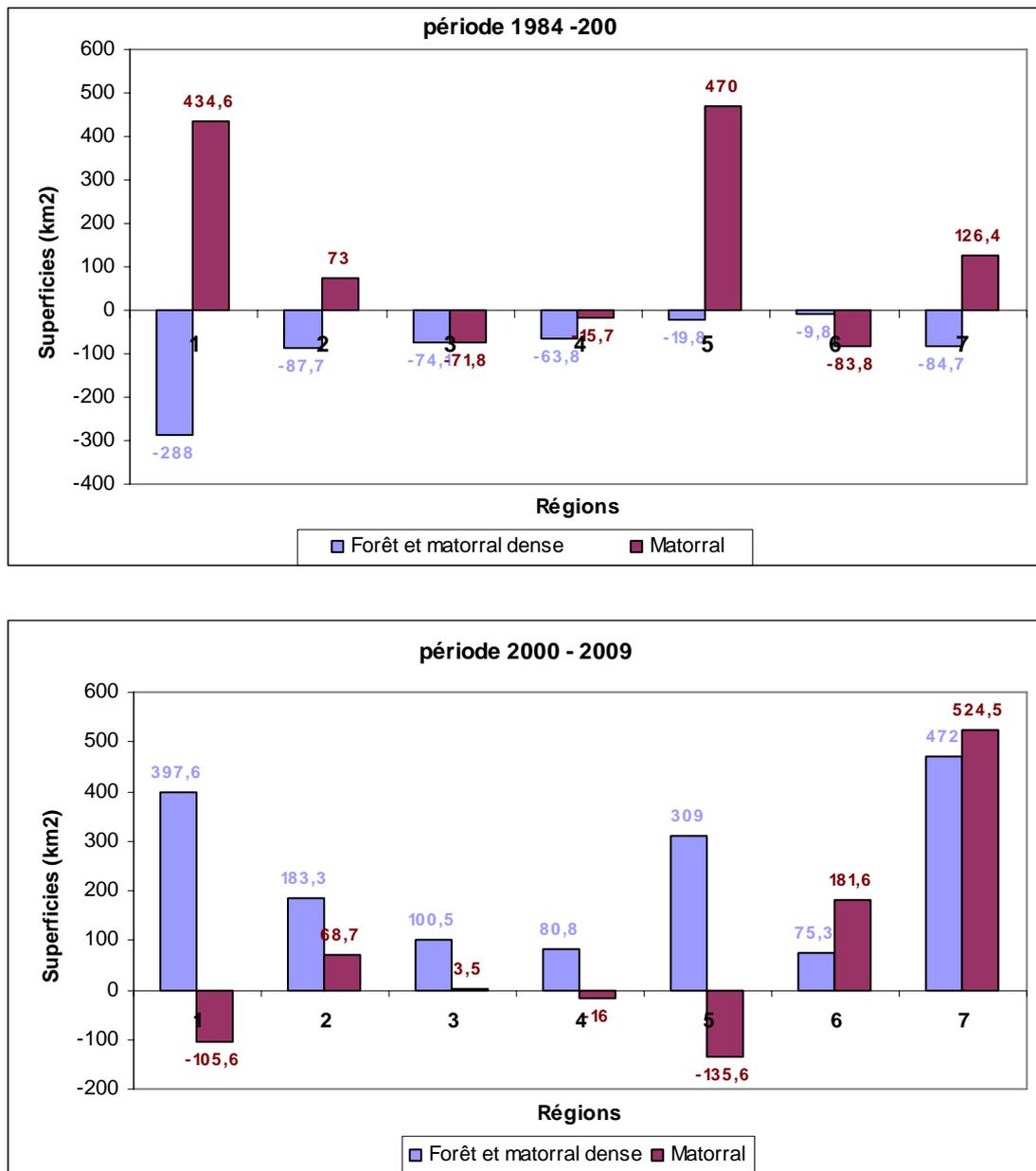
Région	Classes	Superficie (km <sup>2</sup> )			Changements (km <sup>2</sup> ) (1984 – 2000)		Changements (km <sup>2</sup> ) (2000 – 2009)	
		1984	2000	2009				
Sidi Bel-Abbes	Forets et maquis dense	587	299,2	696,8	- 287,9	- 49 %	+ 397,6	+ 132,8 %
	Matorrals clairs	1034,5	1469	1363,5	+ 434,6	+ 42 %	- 105,6	- 7,2 %
Mascara	Forets et maquis dense	271,2	183,5	366,8	- 87,7	-32,3 %	+ 183,3	+ 100 %
	Matorrals clairs	692,5	765,7	834,5	+ 73,1	+ 10,5 %	+68,7	+ 9 %
Mostaganem	Forets et maquis dense	168,2	94,1	194,6	- 74,1	- 44 %	+ 100,5	+ 106,8 %
	Matorrals clairs	314	242,2	245,7	-71,8	-22,8 %	+ 3,45	+ 1,4 %
Oran	Forets et maquis dense	264	200,2	281,7	- 63,8	-24,1 %	+ 80,8	+ 40,3 %
	Matorrals clairs	222,1	206,4	190,3	-15,7	-7 %	- 16	- 7,77%
Saida	Forets et maquis dense	203	183,3	492,3	- 19,8	- 9,7 %	+ 309	+ 168,5 %
	Matorrals clairs	967,8	1438	1302,2	+ 470	+ 48,5 %	- 135,6	- 9,4 %
A. Témouchent	Forets et maquis dense	62	52,2	127,5	- 9,8	-15,8 %	+ 75,3	+144 %
	Matorrals clairs	274,3	190,4	372	-83,8	- 30,5 %	+ 181,6	+ 95,3 %
Tlemcen	Forets et maquis dense	980,5	895,8	1368	-84,7	- 8,6 %	+ 472	+ 52,7 %
	Matorrals clairs	1591,8	1718,2	2242,8	+ 126,4	+ 8 %	+524,5	+30,5 %

**Tableau 27:** superficies totales des formations végétales naturelles par région

Région	Superficies (km <sup>2</sup> )		
	1984	2000	2009
Sidi bel-Abbes	1621,5	1768,2	2060,3
Mascara	963,7	949,2	834,5
Mostaganem	482,2	336,3	440,3
Oran	486,1	406,6	472
Saida	1170,8	1621,3	1794,5
A. Temouchent	336,3	242,6	499,5
Tlemcen	2572,3	2614	3610,8

Le tableau (27) montre les changements de superficies de l'ensemble des formations végétales naturelles de 1984 à 2009, les surfaces occupées par ces espaces ont augmenté dans les régions de Sidi Bel-Abbes, Saida, Ain Temouchent et de Tlemcen, cette augmentation ne s'explique que par la diminution d'utilisation de ces espaces par la population riveraine à cause des problèmes de sécurité, où les formations de broussailles ont occupée les terres abandonnées par les agriculteurs.

Dans les autres régions ces espaces ont diminué à cause des défrichements et les incendies intensives qu'à connu la zone surtout entre 1994 et 2000.



(1 Sidi Bel Abbas, 2 Mascara, 3 Mostaganem, 4 Oran, 5 Saida, 6 A. Témouchent, 7 Tlemcen)

**Figure 31:** Quantités des changements des formations végétales par Wilaya.

### 3.3. Facteurs de perturbation

Les facteurs de dégradation des formations forestières de la région ouest de l'Algérie agissant sur leur dynamique sont au nombre de cinq : les incendies, le défrichement, les travaux forestiers mal entrepris, l'agriculture éphémère et le parcours.

**Défrichement :** Le défrichement constitue encore une action majeure de dégradation des formations végétales surtout dans les milieux fragiles et à proximité des villes et des terrains agricoles. L'Oranie connaît une action de défrichement continue, la population rurale utilise l'espace naturel pour installer ces activités agricoles notamment la céréaliculture et les cultures maraîchères et les activités d'élevage, où l'espace naturel mal protégé est considérée comme une ressources exploitable gratuitement. Ces activités ont contribué à l'accélération du degré du processus de dégradation surtout des formations claires facilement pénétrables et à proximité des agglomérations.

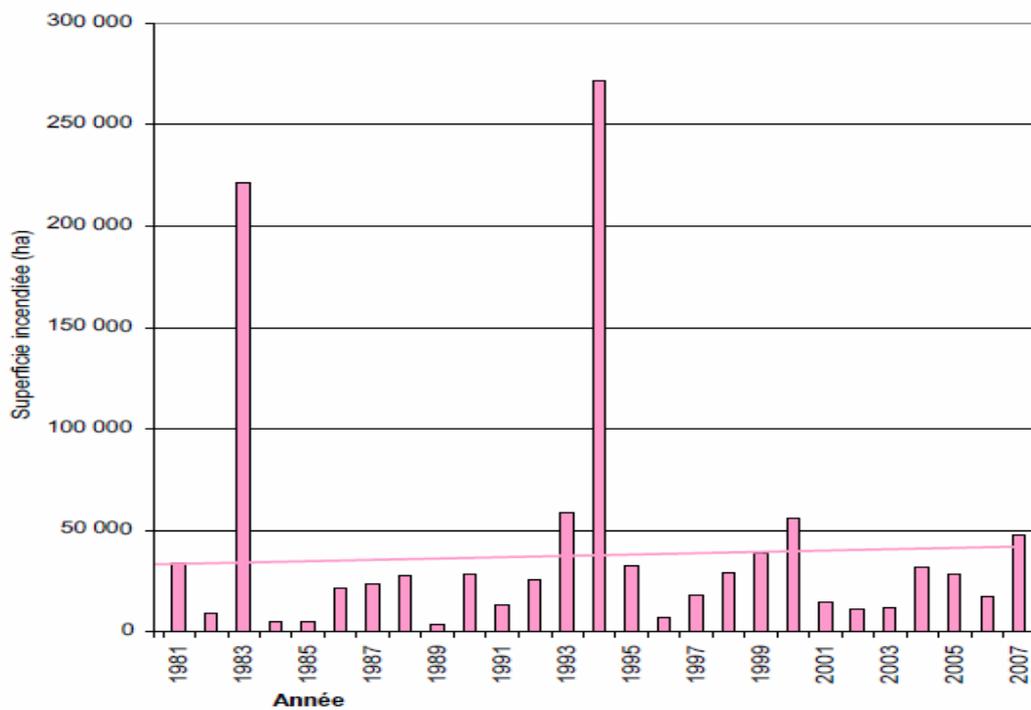
**Les travaux forestiers :** L'inadaptation des travaux réalisés avec les types des formations végétales et les conditions écologiques du milieu sont à l'origine des taux d'échec élevés des reboisements et de l'absence de régénération naturelle induite par des travaux sylvicoles inadaptés. Les techniques utilisées se sont traduites par une perturbation de la végétation naturelle la rendant plus vulnérable aux incendies et aux pressions des troupeaux (piétinement, coupes, inflammabilité).

**L'agriculture :** C'est la principale activité dans la région, l'espace agricole est dominé par la céréaliculture, la jachère et les parcours. Les extensions agricoles sur les terres forestières ont contribué fortement à la régression et de la superficie des formations forestières et à leur dégradation. Le surpâturage dans un milieu fragilisé par les pressions, la mauvaise gestion et le climat avec ses caprices (longues périodes de sécheresse) constitue une plaie majeure de dégradation et de perturbation de toute végétation naturelle.

**Les incendies :** Les statistiques en matière d'incendies de forêts de la direction générale des forêts confirment le chiffre de 204 290.68 ha de forêts et de matorrals détruits par le feu entre 1996 et

2005 (fig. 32). L'absence d'un aménagement forestière adapté et luttant efficacement contre la propagation des feux, laisse les formations forestières face aux risques d'incendie répétés.

**Le parcours :** Toutes les études entreprises dans la région soulignent l'impact désastreux du parcours en forêt à travers le surpâturage se traduisant par une éradication des espèces palatables ligneuses jeunes. Le piétinement et le broutage de rejets constituent une menace permanente sur l'avenir des formations forestières. La charge pastorale réelle est évaluée selon Benabdeli (1983, 1996 et 2006) à 6.5 équivalent ovin par hectare alors que les possibilités des formations végétales ne sont que de 2 au maximum.



**Figure 32:** Evolution annuelle des superficies incendiées en Algérie (1981 -2007)

#### **4- Utilité de la télédétection à travers les résultats obtenus**

L'utilité de la télédétection dans l'étude de la dynamique des écosystèmes naturels n'est plus à démontrer au regard des résultats rapides obtenus à une échelle régionale. Les données du satellite LANDSAT ont permis d'évaluer la dynamique spatiale des formations végétales forestières à travers le temps et de détecter quantitativement des changements assez significatifs sur une période de 25 ans découpée en deux tranches, afin de mieux comprendre l'origine de la dynamique pour chaque période. Pour en tirer des résultats exploitables pour l'aménagement du territoire et la gestion des écosystèmes forestiers, la connaissance du milieu et la validation sur terrain sont des aspects indispensables.

La présente analyse met en évidence que toutes les formes de végétation naturelle ligneuse sont soumises à une forte régression imposée par les incendies et de la surexploitation (humaine et animale). La couverture végétale forestière en Oranie perd, sur une période de 14 ans 600 km<sup>2</sup> soit environ 49 km<sup>2</sup> par an, sur une superficie totale de 2660 km<sup>2</sup> soit 5,5 %.

Cette situation est alarmante et doit être prise en charge par une meilleure approche stratégique et une politique où les activités agricoles, urbaines, pastorales et sylvicoles doivent être bien identifiées et gérées durablement.

## Chapitre 04 : Détection des changements de l'occupation du sol dans les monts de Beni-chougrane

### 1. Elaboration des cartes d'occupation du sol

#### 1.1. La composition colorée

Elle a été réalisée à partir des bandes du visible et le proche infra rouge de l'image Landsat 1984 et 2002 par une combinaison en fausse couleur. Le résultat de la composition colorée a été la mise en évidence à l'aide d'une première clé d'interprétation des éléments constitutifs des milieux. La forêt est caractérisée par une teinte très sombre de rouge foncée tandis que le sol nu peu correspondre à un bleu claire et les cultures à un rouge vif. Le résultat final de cette composition est représenté sur les figures (33 et 34).

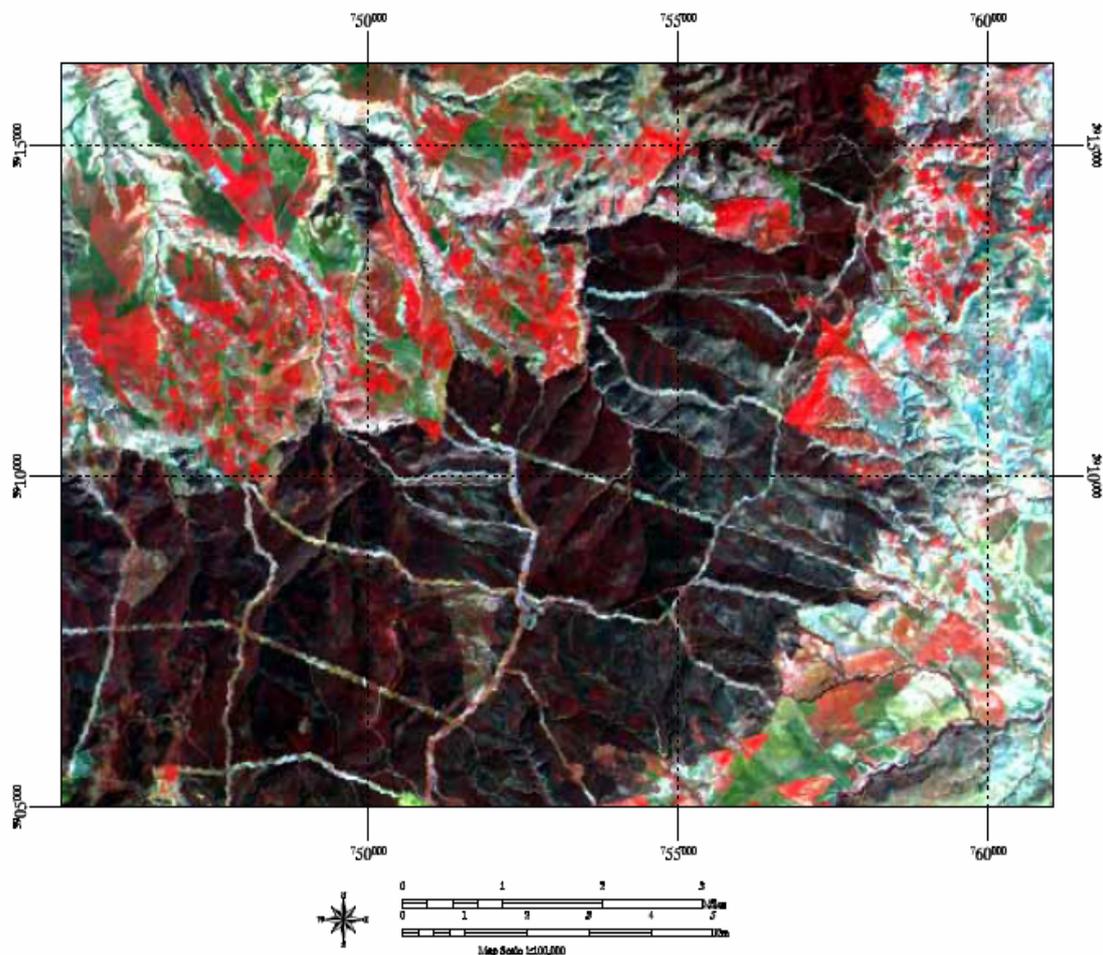
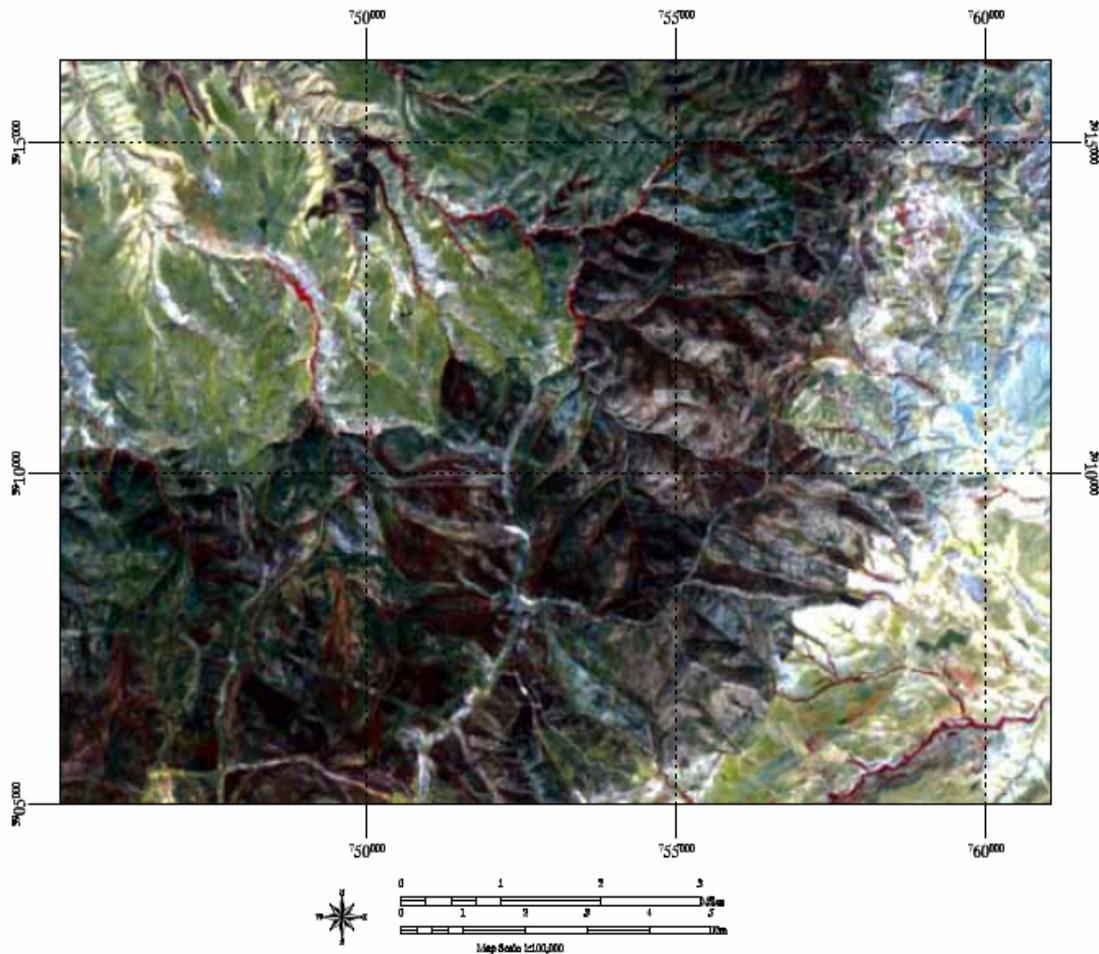


Figure 33: la Composition colorée de l'image Landsat 1984

Pour la composition colorée de l'image Landsat 2002, on remarque très clairement l'absence de la couleur rouge et une dominance du vert qui pourrait être les zones dégradées.



**Figure 34:** Composition colorée de l'image Landsat 2002

## 1.2 La vérité de terrain

Le but de la vérification sur terrain est de déterminer les cinq classes obtenues lors de la classification non supervisée, la méthode consiste à identifier des points de sondage à partir des images Landsat et les localiser sur la carte topographique. Devant la difficulté de localiser ces points sur terrain, les résultats de la classification non supervisée de l'image Landsat 2002 ont été utilisés, avec les cinq classes pour se repérer sur terrain. En fonction de la possibilité d'accès sur un terrain difficile, on a identifié les groupements végétaux suivants :

- Formation forestière mixte à base de Pin d'Alep et Thuya de Berberie ;
- Formation thermophile dégradée à base *Calycotome* et de *Chamérops* ;
- Formation relevant de *Oleolenticetum* ;
- Terrains agricoles.

Tandis que les autres classes correspondent à des sols nus et quelque tache de jachères.

### 1.3 La validation

#### 1.3.1. La classification supervisée

La classification est réalisée conjointement à l'interprétation visuelle des données satellitaires. Elle se base sur les informations acquises lors de la mission terrain lors de la validation des interprétations réalisées. Cette connaissance conforte l'identification de 4 types de formations correspondant à 5 classes radiométriquement différentes.

Sur cette interprétation de l'image de la zone d'étude, les massifs forestiers, les maquis et matorrals ont été délimités de manière assez détaillée, en plus de la distinction entre les surfaces de sol nus et les espaces agricoles. Cette première classification a permis de définir cinq strates différentes :

- Classe1 : formation forestière de *Tetraclinis articulata* et de *Pinus halepensis*
- Classe2 : broussaille à base de *Chamerops humilis* et du genre *Calycotome*
- Classe3 : matorral à base de *Pistacia lentiscus*
- Classe 4 : terres agricoles
- Classe5 : sols nus

#### 1.3.2 Estimation de la qualité de classification

L'évaluation de la précision d'une classification implique la comparaison de l'image classifiée avec des données de terrain. Cette comparaison est habituellement basée sur une matrice de confusion qui indique les agréments et les désagréments entre les ensembles de données. Des mesures telles que le pourcentage de classification correcte et le coefficient kappa peuvent être dérivées des éléments d'une matrice de confusion, elles sont utilisées pour exprimer la précision d'une classification.

#### 1.3.3 Matrice de confusion

L'analyse des résultats de la classification avec une comparaison avec les échantillons de validation permet d'avoir une matrice. Cette dernière est obtenue par commission permet de vérifier pour chaque thème la proportion de Pixels surestimés qui ne devraient pas appartenir à la classe. Le total par colonne des pourcentages (hors diagonale) correspond au pourcentage de superficie du thème qui a été surestimé. Les résultats montre un pourcentage d'exactitude pour la classification de l'image 1984 est de 82.84%, soit 700pixels bien classés sur 845 et 89.8383% soit 389 pixels sur 433 pour la classification de l'image 2002. Les tableaux suivants présentent les détails de cette validation.

Le premier présente les erreurs dues aux commissions (pixels non classés) et omissions (pixels mal classés).

Le second met en évidence la réparation des pixels dans différentes classes en pourcentage.

**Tableau 28 :** Validation de la classification (image1984)

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
forêt	31.18	7.87	53/170	10/127
broussaille	42.11	55.10	48/114	81/147
agriculture	4.57	1.05	9/197	2/190
sol nu	1.43	6.12	2/140	9/147
matorral	14.73	18.38	33/224	43/234

**Tableau 29:** Validation de la classification ( image2002)

Class	Commission (Percent)	Omission	Commission	Omission
		(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Forêt	36.49	26.56	27/74	17/64
Broussaille	13.68	21.09	16/117	27/128
Matorral	0.73	0.00	1/137	0/136
Sol nu	0.00	0.00	0/105	0/105

**Tableau 30:** Matrice de confusion en pourcentage de la classification de l'image1984

Class	forêt	broussaille	agriculture	sol nu	matorral	Totale
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
forêt	92.13	32.65	0.00	0.00	2.14	20.12
broussaille	7.87	44.90	0.00	0.00	16.24	13.49
agriculture	0.00	0.00	98.95	6.12	0.00	23.31
sol nu	0.00	0.00	1.05	93.88	0.00	16.57
matorral	0.00	22.45	0.00	0.00	81.62	26.51
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Tableau 31:** Matrice de confusion en pourcentage de la classification de l'image2002

Class	forêt	broussaille	matorral	sol nu	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
forêt	73.44	21.09	0.00	0.00	17.09
broussaille	25.00	78.91	0.00	0.00	27.02
matorral	1.56	0.00	100.00	0.00	31.64
sol nu	0.00	0.00	0.00	100.00	24.25
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

### 1.3.4 Coefficient KAPPA

L'analyse KAPPA est une technique discrète multivariable, utilisée pour évaluer la précision d'une classification. L'analyse KAPPA produit une statistique KIA (une estimation du KAPPA), qui est une mesure d'accord ou de précision. La statistique KIA se calcule selon l'expression suivante :

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

Dans l'expression  $r$  est le nombre de lignes de la matrice de confusion.  $x_{ii}$  est le nombre d'observations dans la ligne  $i$  et la colonne  $i$ .  $x_{i+}$  et  $x_{+i}$  sont les totaux marginaux de la ligne  $i$  et de la colonne  $i$ , respectivement, et  $N$  est le nombre total d'observations. La valeur de kappa est entre  $-1$  et  $+1$  dont :

KIA =  $-1$   $\Rightarrow$  la concordance est nulle

KIA  $\pm 0$   $\Rightarrow$  la concordance est peu significative

KIA =  $+1$   $\Rightarrow$  la concordance est très forte

En calculant ce coefficient, KIA= 0.7832 pour la classification de 1984 et il atteints 0.8621 pour 2002, ce qui signifie que la classification est plus au moins précise avec une concordance forte.

Le résultat final de la classification est l'élaboration de deux cartes de végétation suivantes (figure 35 et 36):

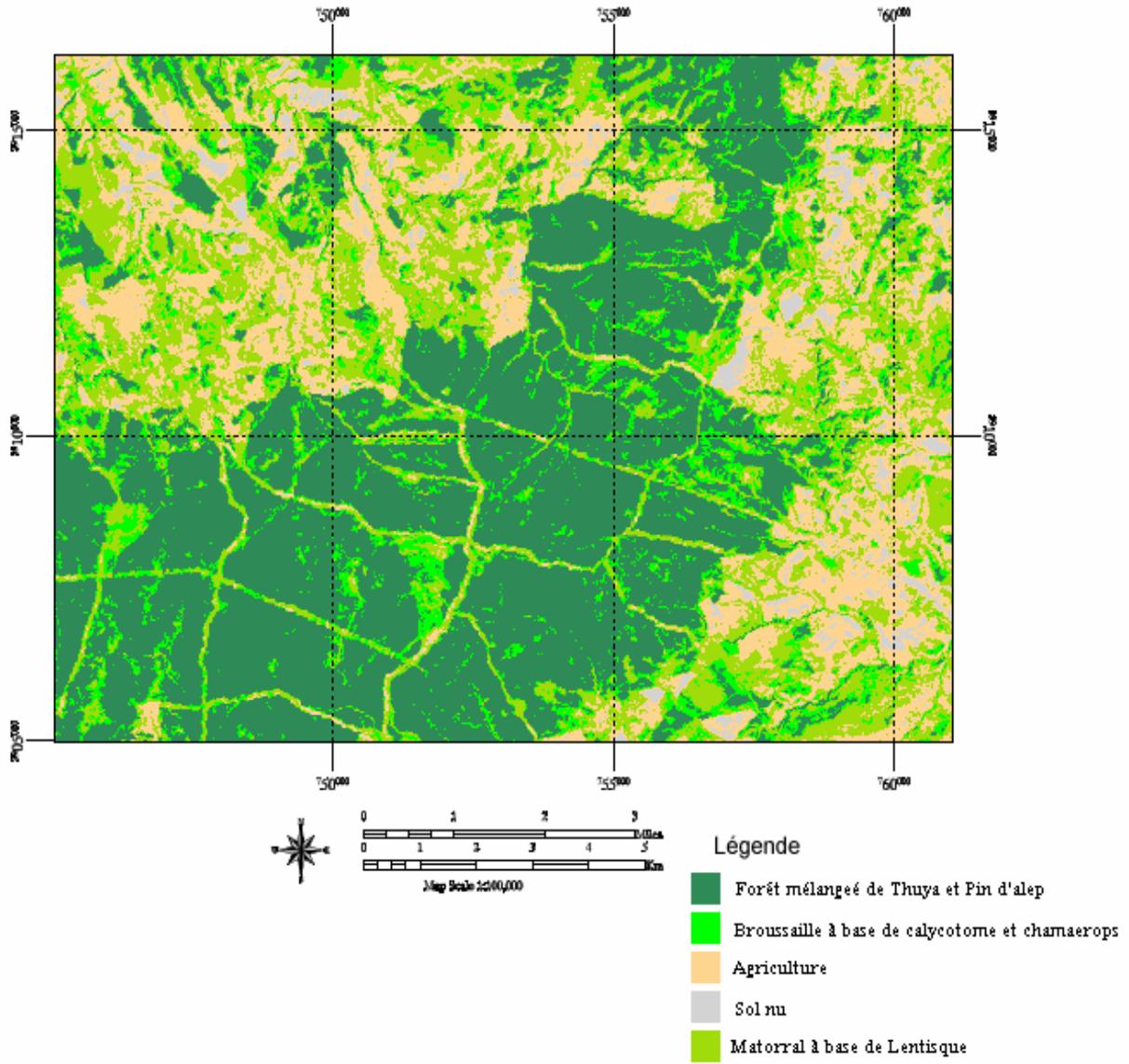
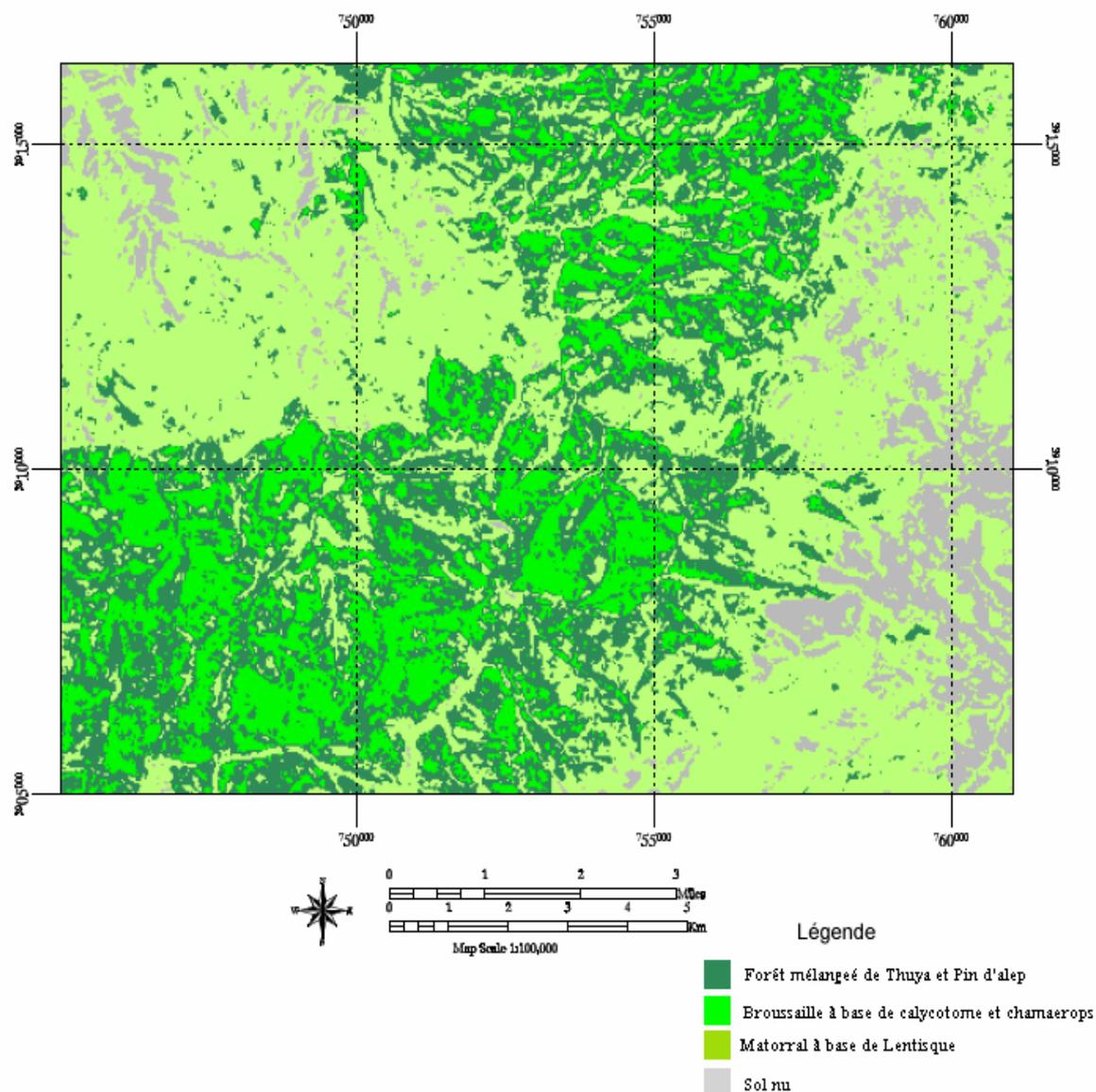


Figure 35 : Carte d'occupation du sol de 1984



**Figure 36 :** Carte d'occupation du sol de 2002

## 2. Cartographie de l'évolution d'occupation du sol

### 2.1. Occupation du sol en 1984

A partir de la carte d'occupation finale du sol réalisée pour l'année 1984, il est possible de donner un aperçu sur la répartition de la végétation de la zone. La forêt occupe une place intéressante et appréciable écologiquement avec un taux de 40% soit une superficie de 7380 ha, elle s'étend sur les piémonts des Beni Chougrane. Elle est globalement composée d'un

mélange de *Pinus halepensis* et de *Tetraclinis articulata*. Les formations de dégradation (matorrals bas et ouvert) occupent cependant une superficie inquiétante, elle est estimée à 4588 ha correspond. C'est essentiellement *Pistacia lentiscus* qui domine grâce à son pouvoir de rejeter de souche, sa grande résistance aux aléas climatiques et son accommodation aux sols argileux de la zone. Tandis que la surface colonisée par la broussaille est constituée essentiellement de *Chamaerops humilis* et de *Calycotome intermedia* colonisant une superficie de 2018 ha, sur des sols calcaires peu profond.

L'agriculture demeure la seule source de revenu pour la population rurale, elle repose surtout sur une pratique de la céréaliculture pluviale et s'étend sur les plaines au même titre que les sols nus sur plus de 4000 ha. (Tableau 32)

**Tableau 32:** Répartition des classes d'occupation du sol en 1984

classe	Superficie (ha)	Porcentage %
Forêt mélangée	7 380	40.951%
Matorral	4 588	25.457%
broussaille	2 018	11.195%
Agriculture	3 546	19.668%
Sol nu	492	2.729%

## 2.2. Occupation du sol en 2002

La carte de végétation réalisée à partir de l'image satellitaire Landsat 2002 donne un aperçu intéressant et utile sur la répartition des groupements végétaux. La majorité de la région est colonisée par le groupement de Pistachier lentisque dépassent 8800 ha, tandis que la surface de la forêt est marquée par une régression importante estimée à 4783 ha. Le groupement de *Chamaerops* et de *Calycotome* s'étend sur les surfaces agricoles abandonnées localisées sur les plaines. Les sols nus connaissent une extension vers le sud de la zone avec une surface de 1460 ha.

Le tableau présente la répartition de ces classes.

**Tableau 33 :** Répartition des classes d'occupation du sol en 2002

classe	Superficie (ha)	Porcentage %
Forêt mélangée	4 783	26.540%
Matorral	8 803	48.844%
broussaille	2 776	15.513%
Agriculture	200	1.1 %
Sol nu	1460	8.103%

### 2.3. Etat de changements entre 1984 et 2002

La comparaison entre deux périodes de répartition d'occupation du sol (1984,2002), estimés pour l'ensemble de la zone et un résumé des changements nets par classe pour la période 1984-2002 (tableau 34). Les changements ont été obtenus en calculant la différence entre les estimations de la superficie en 2002 et 1984, et montrent les pertes et les gains pour chaque classe.

**Tableau 34:** Degrés de changement de chaque classe d'occupation du sol entre 1984 et 2002, en pourcentage et en surface.

Classe	Etat initiale (km <sup>2</sup> )	Etat finale (km <sup>2</sup> )	Degré de Changement	
			Surface (km <sup>2</sup> )	Pourcentage
Forêt	73.8	47.83	-25.97	-35.19
Broussaille	20.18	29.76	+9.58	+47.5
Sol nu	4.92	14.6	+9.69	+196.9
Matorral	45.88	88.03	+42.15	+91.86
Agriculture	35.46	2	- 33.46	-98

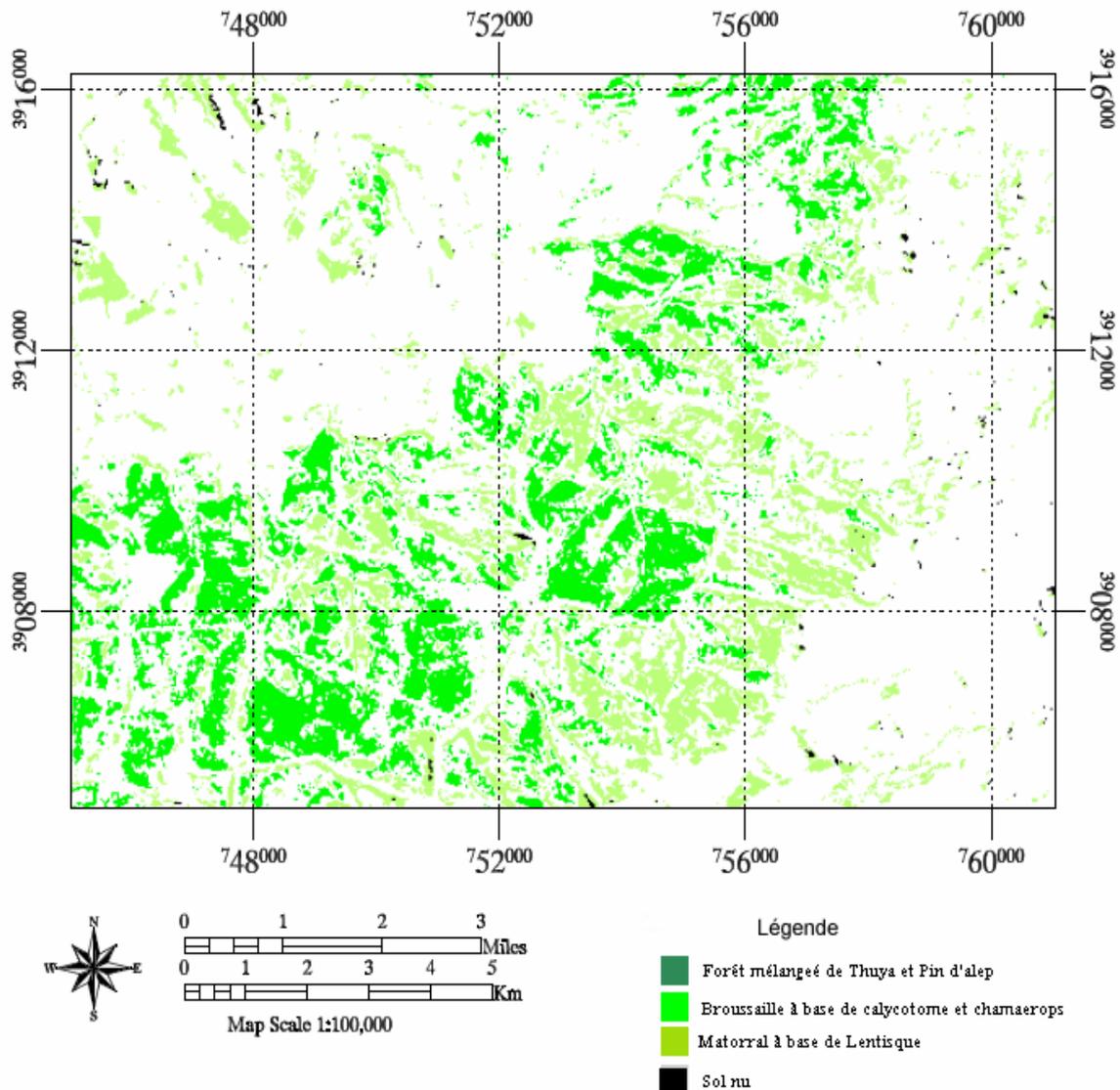
### 2.4. Le changement par classe

Le principe de détection de changement par la méthode de l'ENVI est basé sur la différence entre deux images (image finale2002 – image initiale1984). Le tableau en annexe 11 montre les résultats de changement par classe en pourcentage puis en superficie et recèlent les informations suivantes :

- En colonne : le nombre de pixels (soit en % ou en superficie) de la classe initiale
- En ligne : le nombre de pixels (soit en % ou en superficie) de la classe finale
- Row Total : le nombre total des pixels des classes dans l'image initiale ou bien la somme des classes initiales.
- Classe Changes : le taux de changement de la classe finale.
- Image difference : la soustraction du total des pixels dans la classe initiale du total de la classe finale (annexe 11).

Quatre cartes de changement ont été soustraites:

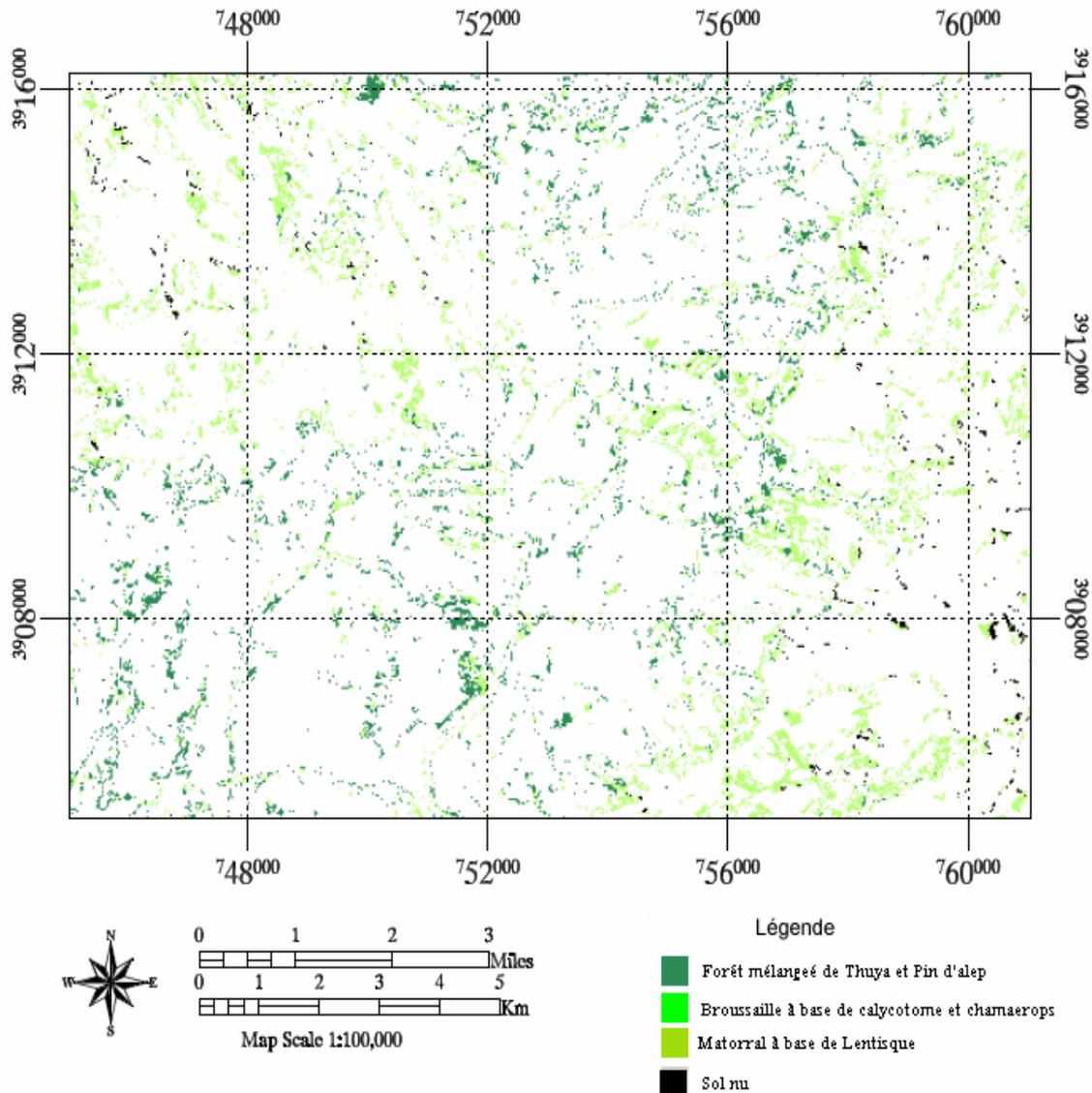
**Forêt mixte de Thuya et de Pin d'Alep** (fig. 37): Le pourcentage de cette classe dans l'image initiale était de (40.98%). Elle a subi un changement dans l'image finale c'est-à-dire elle est transformée de 30.544% en broussaille, 27.957% en Matorral et 0.519% en Sol nu. Autrement dit, cette classe a subi un changement de 59.02% de sa superficie initiale. On peut aussi en déduire que la forêt a perdu 35.19% de sa superficie qui fait 2597 ha cette, tandis que la superficie de broussaille a gagné 47.5 % qui fait 958ha.



**Figure 37 :** Carte d'évolution de la classe forêt de thuya et pin d'Alep entre (84/2002)

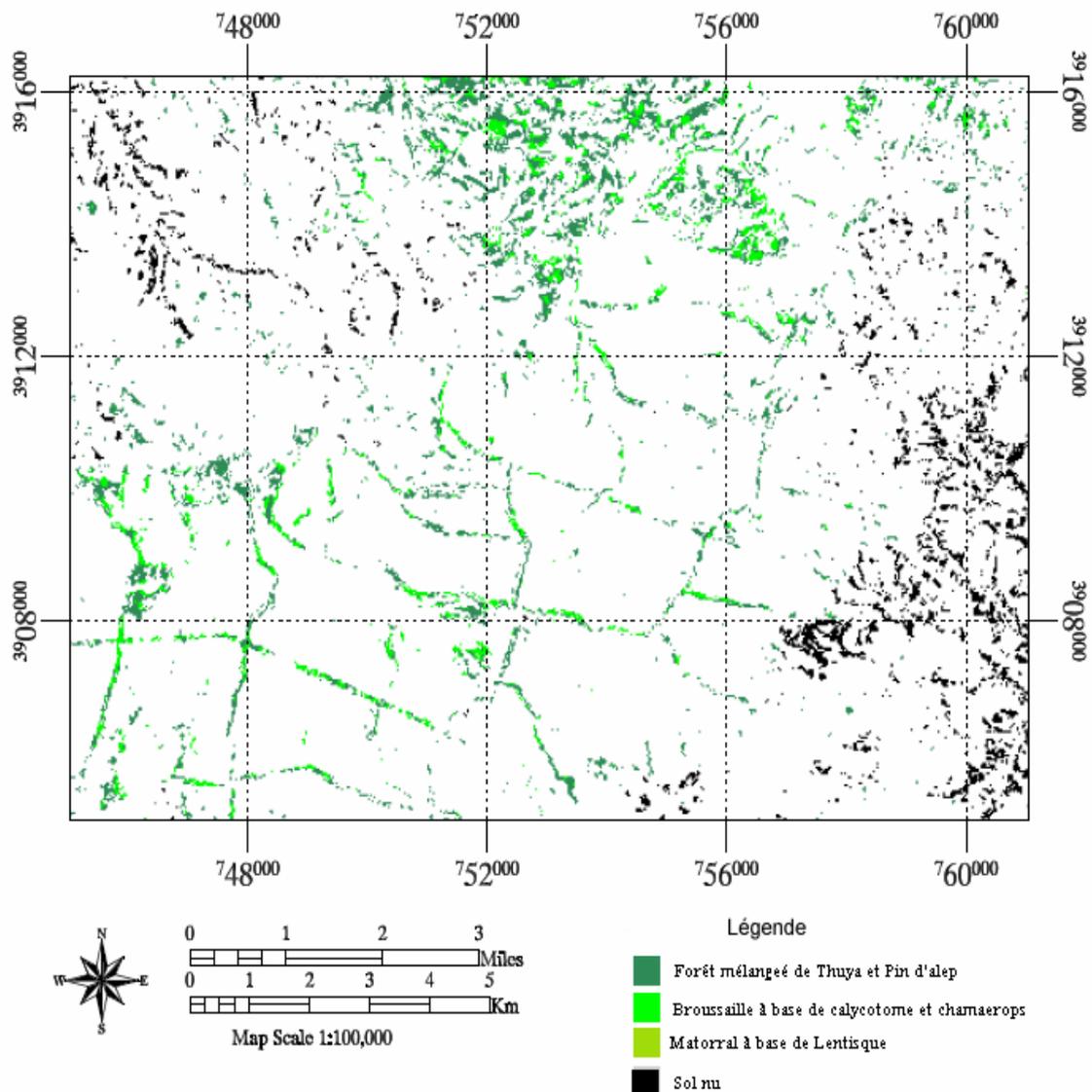
**Les broussailles :** le pourcentage de cette classe était de 14.21% (fig.38) elle a subi un changement de 85.58% de sa superficie initial. Un pourcentage de 29.22% de cette classe a été transformé en forêt, et 52.76% en matorral à base de lentisque. Et un changement de

3.52% en sol nu. Donc un changement positif de 47.5% qui fait le gain de 958ha pour cette classe.



**Figure 38 :** Carte d'évolution de la classe broussaille entre (84/2002)

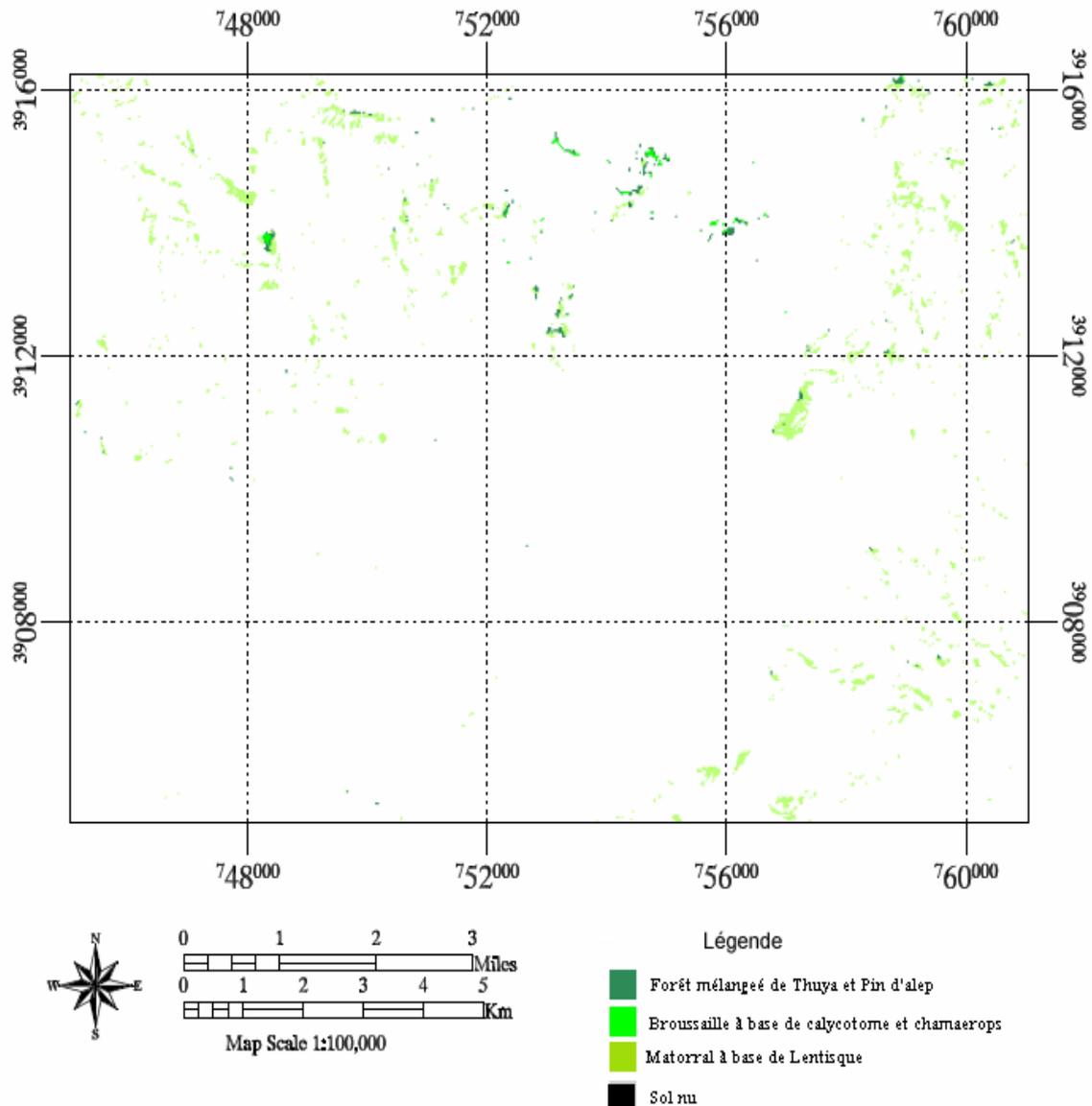
**Les matorrals :** il représentait 65.76% (fig.39) il a subit un changement de 34.23% de ça superficie dont 17.31% à été évolue en forêt, 6.74% en broussaille et 10.17% en sol nu. Le matorral à subi un changement positif fort avec le gain de 4215ha avec un pourcentage de 91.86 %.



**Figure 39:** Carte d'évolution de la classe matorral à base de Lentisque entre (84/2002)

**Les sol nus :** leur superficie initiale était de 35.21%, et le changement 64.78% (fig.40). Dont 2.01% à été transformée en broussaille et 57.33% en matorral.

Les sols nus ont à leur tour bénéficié d'une grande superficie du matorral, un changement positif très fort de 196.98% c'est-à-dire +969ha, ce qui demande des interactions le plutôt possible aux niveaux des zone touchés.



**Figure 40 :** Carte d'évolution de la classe sol nu entre (1984/2002)

### 2.5. Exploitation et analyse des résultats obtenus

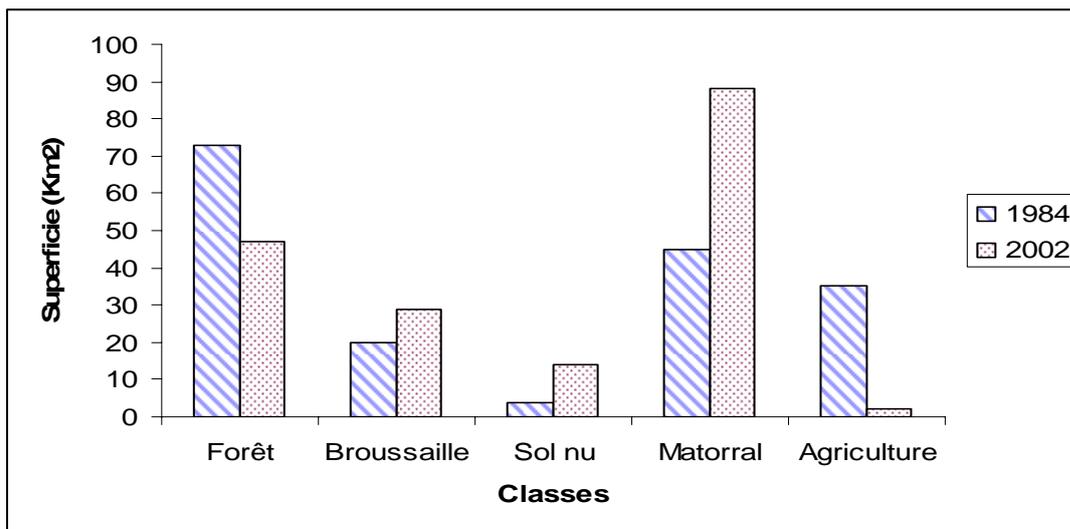
Pour la période 1984-2002 (figure 41), l'étude met en évidence que la forêt est la classe la plus sujette aux pertes avec une régression de 35.19% soit presque la moitié de cette formation dont le rôle n'est plus à démontrer pour la gestion durable des espaces. Une grande partie de cette formation forestière s'est transformé par un processus assez rapide de dégradation en formation basse buissonnante et en matorral. C'est surtout les incendies répétés à intervalles courts et les défrichements réalisés dans le cadre d'urbanisation ou de mise en valeur qui sont à l'origine de cette régression.

La classe des formations buissonnantes qui regroupe les zones avec une faible végétation ligneuse, enregistre une augmentation remarquable en superficie dans l'ensemble de la zone.

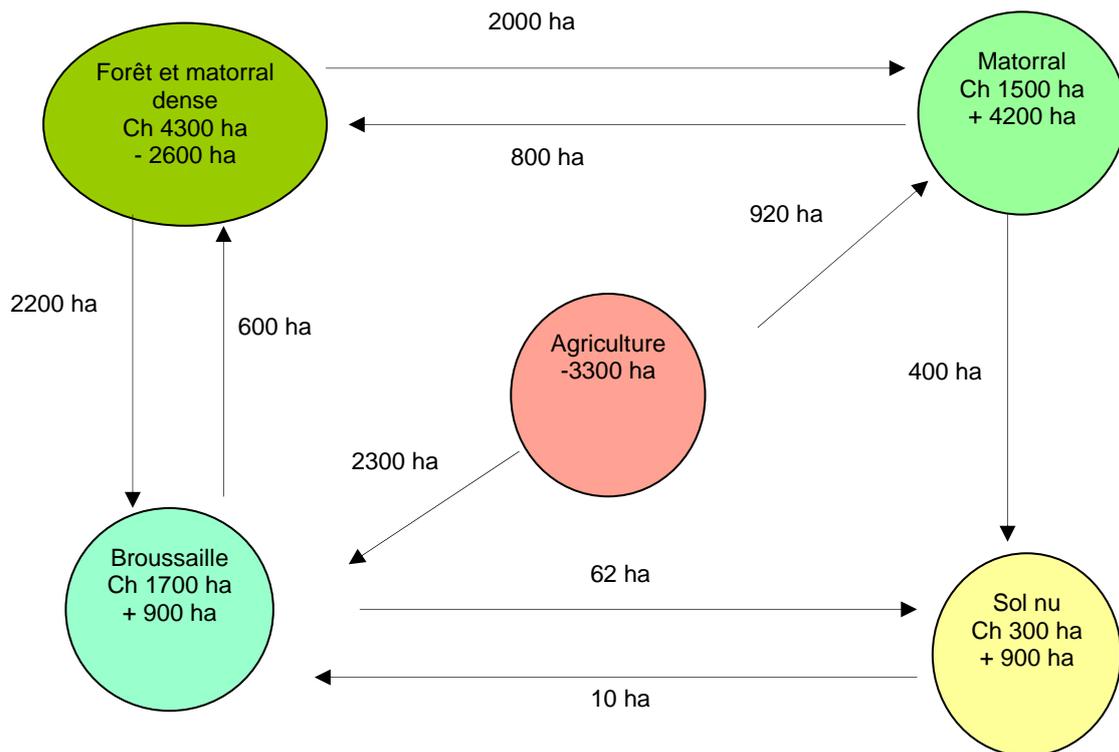
Le matorral à base de *Pistacia lentiscus* a subi le plus grand changement positif, ce gain est dû à la régression du couvert forestier offrant plus de lumière et d'espace vital au lentisque. Qui est doté d'un pouvoir de régénération important et d'une faculté de croissance élevée.

Tous les changements positifs se traduisent par des matorrals denses dominés par une végétation arbustive où la quantité de biomasse ligneuse augmente avec un gain de 47.15% pour les matorrals denses et 91.86% pour les formations buissonnantes induits essentiellement par une la régénération naturelle du *Thuya* après les incendies et l'apparition des espèces de matorral (*Chamerops*, *Ampelodesma* et *Calycotome*...) après la dégradation de la forêt.

Des pourcentages élevés de zone agricole ont été transformés en jachère et en sols nus. L'extension des surfaces nues a également touché les formations basses claires soumises à une érosion et un surpâturage détruisant totalement les caractéristiques du sol.



**Figure 41:** Distribution des classes entre 1984 et 2002.



**Figure 42:** Modèle de la dynamique de l'occupation du sol dans la zone de Bénichougrane

### 3. La dynamique de l'occupation du sol et les facteurs du milieu

Depuis les années 80 la végétation de la zone d'étude a subi une évolution remarquable, surtout au niveau de la forêt, d'après d'anciens documents, la végétation était dense avec une forêt dense rassemblant une richesse faunistique très importante mais elle est en régression continue. Cette évolution de la végétation est due essentiellement aux facteurs naturel et anthropique.

Depuis le début du siècle, le rythme et l'intensité des perturbations que l'homme inflige aux écosystèmes augmentent. Les perturbations sont de plus en plus rapprochées, couvrent des surfaces de plus en plus grandes, Ces phénomènes diminuent les possibilités d'adaptation des systèmes écologiques aux pressions humaines. L'évolution régressive de la forêt est dû essentiellement aux pressions et utilisations négatives de l'homme comme le pâturage incontrôlé et excessif empêchant toute la régénération des semis ou repousse et s'accompagne d'un émondage qui conduit à la destruction progressive de la forêt. L'incendie est l'agression la plus grave car non seulement il entraîne la destruction totale de la végétation mais en plus il détruit également la biologie des sols, enlaidit le paysage et compromet souvent la reconstitution végétale.

Dans un étage bioclimatique semi-aride caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 300 mm, tous les écosystèmes forestiers et toute la végétation éprene sont fragilisées.

Ajouté à cela les périodes cycliques de sécheresse que connaît la région ouest du pays ; l'explication d'une régression est confirmée et doit être prise en charge à travers une stratégie globale en matière de gestion de tous les espaces et les facteurs humains.

Les conséquences de ce climat avec une opposition dans l'année de deux saisons bien tranchées sont considérables : de chaleur et aux vents desséchant de l'été succède trombe d'eaux ruisselante de l'hiver. Pris séparément, chacun de ces phénomènes apparaît comme un facteur d'érosion particulièrement agressif (Benchetrit, 1972). Les effets de ce facteur sont remarquables surtout sur les dépressions où on peut remarquer des griffes et des ravines sur les piémonts, provoquant une altération et un appauvrissement de sol donc une régression du couvert végétal.

Il faut reconnaître que l'évolution régressive de la forêt est rapide tant que la pression anthropique est très forte, accentuée par l'agressivité du climat et à la sensibilité du milieu à l'érosion.

### **Conclusion**

Conformément à ses objectifs la présente étude a permis d'effectuer une évaluation des situations du couvert végétal dans la zone de Beni-chougane. A cette occasion on a constaté que la nature de l'information disponible a permis l'analyse de la dynamique d'occupation du sol de la zone pendant la période (1984-2002).

Grâce au traitement et à la classification des images satellitaires du satellite Landsat (1984-2002), nous avons élaboré deux cartes de végétations de la zone d'étude et extrait une carte de changement de cette zone. Suivant la reconnaissance et l'interprétation de ces cartes nous avons pu déduire que le couvert végétal est composé surtout d'une forêt ouverte avec un mélange de pin d'Alep et thuya, de matorral à base de pistachier lentisque, de la broussaille constituée de chamérops et calycotome et d'une grande superficie transformée en sol nu.

Une étude diachronique basée sur une comparaison entre deux cartes d'occupation du sol extraites nous a mené à constater que les différentes strates du couvert végétal ont subi une évolution surtout la forêt qui est en régression intense.

La régression du couvert végétal est due particulièrement à des pressions anthropiques et aux travaux souvent inadaptés. Ce qui suggère une intervention immédiate pour une politique forestière reposant sur des priorités relatives à la préservation, la protection, la mise en valeur et l'utilisation rationnelle des espaces végétal.

## Chapitre 05: Dynamique de l'occupation du sol dans la plaine de la Macta

### Introduction

La pression induite par les activités humaines sur les différents espaces contribue à modifier, dans un premier temps, l'occupation du sol et dans un second temps les potentialités. L'intensité de ces modifications diffère en fonction des paramètres climatiques et anthropiques surtout à travers les systèmes de production appliqués, les politiques de conservation et de gestion des écosystèmes et de l'application de la réglementation. Ces changements peuvent être détectés tant à l'échelle régionale que locale. Ils se traduisent par une perturbation des paysages naturels et agissent sur la dynamique de la végétation. Ils ont également des conséquences directes sur la configuration de l'occupation des sols et sur la biodiversité.

La plaine de la Macta représente un espace intéressant en raison de la diversité physique et biologique de son milieu (Simonneau, 1951). Les marais de la Macta, qui constituent un biotope particulier (flore et faune spécifiques), ont été classés zone humide en 1996 et continuent à subir des pressions quasi permanentes, surtout de la part d'éleveurs attirés par la présence d'une végétation halophile vivace, très recherchée par les troupeaux d'ovins (Benabdeli et Mederbal, 2004).

L'étude de l'occupation du sol donne des informations pertinentes sur l'écosystème typique de la plaine de la Macta et renseigne sur leur dynamique dans le temps et dans l'espace. Elle permet également la mise au point d'une méthode de surveillance du processus de dégradation ; il sera possible ensuite de proposer un système capable de protéger effectivement les zones classées et leurs espèces végétales et animales. Pour cela, le point de connaissance sur l'état de l'occupation du sol en général et du couvert végétal en particulier est à réaliser le plus rapidement possible.

La télédétection permet une vision globale des phénomènes reste un moyen d'étude privilégié pour contribuer à assurer une meilleure gestion des écosystèmes. Elle offre la possibilité d'avoir une meilleure connaissance de l'état de l'occupation du sol et l'appréciation de la vitesse de dégradation selon l'intensité des impacts humains.

L'étude de la dynamique de la végétation de la plaine halophile de la Macta sur les quarante dernières années (1958 à 2005) à l'aide d'analyse de données satellitaires (images LANDSAT et ASTER) et d'observations de terrain permettent d'établir la typologie des types de végétation. Les résultats obtenus identifient les principaux facteurs à l'origine de l'évolution quantitative et qualitative des différents groupements végétaux de la Macta. Les apports de différentes méthodes d'analyse des images satellitaires, de la détection des changements et des données de la télédétection permettent la compréhension des processus de cette évolution.

## 1. Méthodologie

Les techniques de cartographie ont sensiblement évolué depuis l'apparition de la photo aérienne dans un premier temps, des images satellitaires ensuite. D'immenses zones réputées peu accessibles sont devenues rapidement observables par le recours à ces images.

L'interprétation des images satellitaires s'appuie sur un nombre limité de relevés de terrain judicieusement choisis. Le passage des photos aériennes analogiques aux images satellitaires numériques s'est traduit par un foisonnement de développements méthodologiques qui ont pour but d'en exploiter pleinement les caractéristiques essentielles. (Mayaux et al. 2003)

L'image offre une vue d'ensemble exhaustive du terrain à étudier et restitue fidèlement les caractéristiques du tapis végétal. Elle donne également la possibilité :

- d'observer simultanément de vastes surfaces correspondant à la totalité d'une aire protégée,
- de réaliser des traitements numériques sophistiqués (redressement géométrique, classifications numérique...),
- de répéter les observations pour suivre les changements inter- et intra-annuel de l'occupation du sol.

La détection des changements est le processus par lequel on identifie des différences dans l'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à différentes dates (Singh, 1989). C'est l'une des principales applications de la télédétection satellitaire étant donné la couverture répétitive offerte et la constance dans la qualité des images. L'approche de détection des changements est caractérisée par la procédure de transformation des données et la technique utilisée pour identifier les zones ayant subi un changement.

### 1.1 Cartographie de l'occupation du sol de la Macta

On entend par traitement des images numériques la manipulation et l'interprétation d'images numériques obtenues à partir de données de télédétection. (ONU., 2001)

Le traitement des données satellites ou encore appelé analyse quantitative permet d'identifier les propriétés des pixels en se basant sur leurs valeurs numériques. L'intérêt du traitement des images par ordinateur réside dans les limites de l'observation visuelle qui discrimine difficilement un nombre élevé de valeurs numériques. L'ordinateur peut analyser les données satellites en considérant pleinement l'aspect multidimensionnel des données images ainsi que leur résolution radiométrique. Le traitement d'image s'articule, quel que soit le programme utilisé à un rehaussement des contrastes, à une classification, une transformation multi spectrale ou au calcul d'images dérivées comme les indices de végétation.

La méthodologie générale de travail est présentée dans la figure 43.

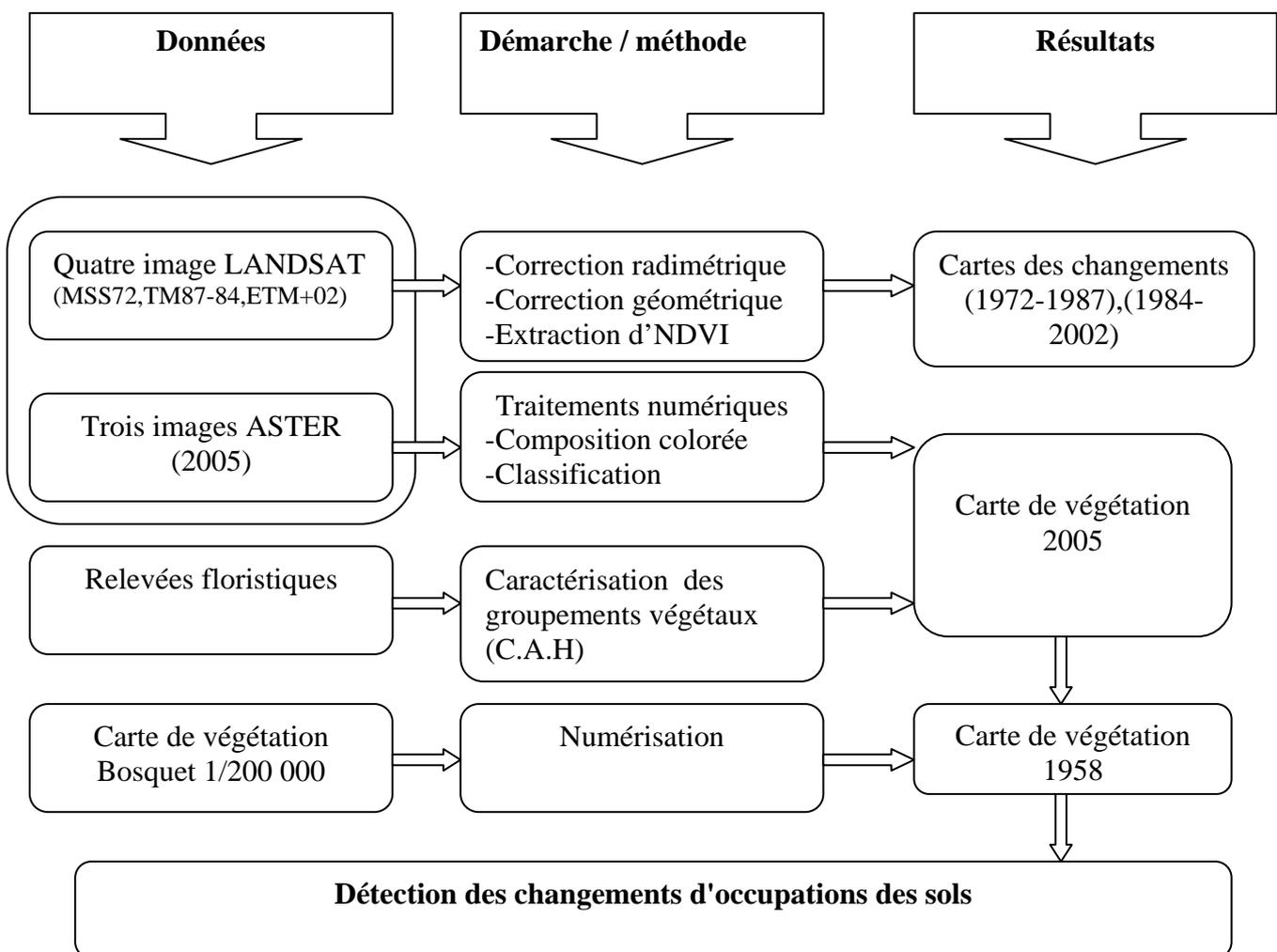


Figure 43: Organigramme méthodologique générale de travail

Les divers traitements appliqués aux images satellitaires ont un seul objectif, faire ressortir l'information recherchée. Les traitements appliqués dans cette thèse sont ceux pouvant répondre aux objectifs recherchés, la modification de l'occupation des sols par type d'occupation.

Dans la première étape, les traitements appliqués aux images ASTER pour la cartographie des unités de la végétation seront présentés. Les critères de sélection des images satellitaires ASTER retenus sont :

- l'année d'acquisition (la même pour les trois images) ;
- la saison d'acquisition (idéalement mai et juin) ;
- le champ au sol de l'image (chaque image couvre une partie de la zone) ;

- la nébulosité (minimale) ;
- la résolution spatiale (15 mètres) et spectrale (14 bandes).

### 1.1.1 Préparation des images ASTER

#### Ré-échantillonnage

L'image Aster présente deux fichiers, le premier comporte 4 bandes spectrales dans le visible et le proche infrarouge avec une résolution spatiale de 15 mètres et le deuxième comporte 6 bandes dans le moyen infrarouge avec 30 mètres de résolution. Alors, pour obtenir des fichiers qui soient plus facilement utilisables, c'est à dire un fichier multibande. Pour atteindre cet objectif il faut ré-échantillonner les six bandes multispectrales originalement de 30 mètres. Grâce à cette technique intégrée dans les logiciels de traitement des images satellitaires, la résolution spatiale des bandes spectrales 4, 5, 6, 7, 8, et 9 passe donc de 30 à 15 mètres. Cette technique permet une augmentation des détails de l'image lors d'une visualisation en ne modifiant que très faiblement les caractéristiques spectrales de chaque bande. Il est donc toujours possible de faire une analyse détaillée (classification) après cette transformation. La technique est appliquée à toutes les bandes de chaque image (scène satellitaire complète).

#### L'assemblage ou la mosaïque

Dans certains cas en bordure des images Aster, il n'est pas possible de couvrir complètement l'étendue de la zone d'étude, pour parer à cette contrainte, l'application retenue est de construire un seul fichier numérique couvrant toute la zone d'étude à partir des 3 images déjà géoréférencées, ré-échantillonnées avec une résolution de 15 m. Avant la concrétisation de la mosaïque, une normalisation des images a été faite par la méthode de la ligne empirique.

Une fois toutes les images correctement géoréférencées (projection UTM 31N) et normalisées, la réalisation de la mosaïque ne présente pas de difficulté concernant la géométrie. Par contre, les données acquises dans des conditions différentes (angle de visée, angle d'élévation solaire, conditions météorologiques,...), les images présentent des différences radiométriques importantes d'une scène à l'autre. Alors, des ajustements radiométriques entre les lignes ont été nécessaires afin d'homogénéiser l'ensemble. Pour créer une mosaïque de trois images ASTER (annexe 10) nous utilisons le module Mosaicking implémenté dans le logiciel ENVI4.7.

#### Rehaussement (amélioration des contrastes)

Le rehaussement d'une image sert à améliorer le contraste de données (valeurs radiométriques) afin d'en faciliter son interprétation. Un large éventail d'algorithmes d'amélioration du contraste est disponibles sur le logiciel ENVI. Dans ce cas, l'algorithme de l'étalement linier (basé sur la valeur

médiane de l'histogramme de fréquence) a été retenu et utilisé car le plus performant. Durant le rehaussement (linéaire), le premier et le dernier 2 % des pixels de l'image sont laissés de côté. Il s'agit d'une approche standard d'amélioration du contraste utilisée en télédétection et traitement numérique d'images qui permet d'éliminer les effets de bordure. (CITS., 2002)

### **1.1.2 Traitement numérique**

#### **Analyse en Composantes Principales**

La quantité d'information contenue dans les images de télédétection est considérable (par exemple 120 Mo pour des données multispectrales ASTER couvrant une surface de 60 x 60 km. La réduction de la dimension de l'étude est une étape importante dans le traitement d'images. Plusieurs méthodes de réduction de dimensions existent. (Cécile., 2004). La méthode d'Analyse en Composantes Principales a été appliquée aux données utilisées. Cette méthode se base sur une transformation mathématique développée pour représenter la complexité d'un ensemble de données multidimensionnel. L'espace de données de départ est transformé en un espace orthogonal de même dimension. L'ACP a été tout d'abord utilisé en télédétection pour compresser les images, en réduisant la dimension des données tout en préservant la variabilité de celles-ci.

#### **La composition colorée**

La composition colorée est la combinaison de trois canaux auxquels on affecte une couleur différente. La création de compositions colorées fait partie des premières démarches d'amélioration et d'interprétation visuelle des images. Avec les images ASTER le choix des canaux est très important. La composition colorée est réalisée en combinant les informations recueillies par trois des neuf canaux ASTER. Ces canaux sont choisis comme étant les mieux adaptés pour la mise en valeur d'une classe recherchée (Douette, 2001) (suivant les comportements radiométriques des éléments du paysage et sur les caractéristiques des canaux). Une composition colorée 3-2-1 a été effectuée dans les plans image Proche infrarouge, Rouge et Vert, cette composition dite composition colorée en fausse couleur. Le canal 3 étant dans le proche infrarouge, il était possible de discriminer les différentes formations végétales naturelles ou cultivées ; alors que les bandes rouge et vert permettent de discriminer les surfaces réfléchantes dans le visible : sol nu, les habitations, l'eau, routes, etc.

#### **La classification**

L'objectif d'une classification est de simplifier la réalité d'un paysage pour pouvoir l'interpréter plus facilement. La classification est définie comme une procédure dans laquelle les pixels

similaires d'une image sont regroupés dans une classe. Une classification spectrale est intéressante lorsque la seule utilisation des signatures spectrales, due à une bonne qualité de l'image et à une structure paysagère adéquate, suffit à classer l'image (Dos Santos, 2001).

Deux Méthodes de classification existent :

- la classification non supervisée
- la classification supervisée

La classification non supervisée est utilisée lorsque l'identité de la réalité de terrain n'est pas connue. Elle permet un premier dégrossissage des grandes unités de l'image. L'algorithme de classification non supervisée, appelé agrégation autour des centres mobiles ou ISODATA (Dos Santos., 2001) implémenté dans ENVI est retenu. L'algorithme ISODATA est auto-organisateur et itératif parce qu'il effectue plusieurs passes à travers l'ensemble de données, jusqu'à ce que les résultats spécifiés soient obtenus. Il permet de déterminer les seuils globaux en ne nécessitant, comme a priori, que le choix initial des valeurs moyennes associées à chacune des classes. Ces valeurs moyennes sont mises à jour itérativement 10 (Tonye et Lontchi, 2003). Cette méthode a été mise en oeuvre dans un premier temps afin d'avoir une première représentation sur les types des formations végétales dans la zone d'étude.

L'intérêt de cette classification non supervisée repose sur la faculté d'orienter l'approche de la diversité de terrain. Elle est complétée par une analyse plus fine de détection basée sur une classification supervisée.

Une classification supervisée de l'image est possible à condition de définir au préalable des sites d'entraînement correspondant à des régions homogènes et dont on connaît la nature des groupements végétaux. Les caractéristiques spectrales de ces échantillons vont ensuite être utilisées pour réaliser la classification. L'évaluation de la qualité des échantillons est donc nécessaire au bon déroulement de la classification. Si les régions d'entraînement sont validées par des méthodes statistiques, on peut lancer la classification supervisée en choisissant l'algorithme Maximum de vraisemblance implémenté dans ENVI. Une zone d'entraînement est un échantillon de pixels d'identité connue sur un ensemble homogène. De telles zones doivent être à même de représenter les propriétés spectrales des classes qu'elles représentent ; par conséquent, elles doivent avoir un niveau d'homogénéité conforme à la catégorie à classer. Comme tout échantillon, les zones d'entraînement doivent contenir un nombre de pixels suffisamment représentatif de l'ensemble. A partir des données de terrain, on a sélectionné un certain nombre de zones d'entraînement sur l'image à analyser. Pour définir correctement les sites d'entraînement, on choisit tout d'abord un territoire où est présent le type de groupement végétal que l'on souhaite mettre en évidence. Pour cela, trois fenêtres de l'ENVI pour naviguer sur l'image sont exploitées :

- Scroll window : image entière avec une très faible résolution ; une fenêtre zoom permet de sélectionner la partie de l'image représentée dans la fenêtre Image ;
- Image window : portion de l'image à la résolution maximale ; une boîte de contrôle permet de sélectionner l'image représentée dans la fenêtre Zoom ;
- Zoom window : petite partie de l'image à très grande résolution où l'on peut travailler pixel par pixel. Les paramètres de taille et de positionnement sont modifiables pour ces trois fenêtres.

Le territoire du site d'entraînement est sélectionné à partir des résultats de la première classification non supervisée, de la composition colorée et de l'image de l'NDVI. Ensuite, grâce à l'outil 2D-Scatter Plot de ENVI, la répartition radiométrique des pixels est représentée par un diagramme selon deux canaux (les deux canaux les plus appropriés pour mettre en évidence le type de groupement végétal cherché. Dans la fenêtre zoom on sélectionne des pixels homogènes qui vont constituer un ROI (Region of Interest). Autant de ROI peuvent être définis pour un même type d'occupation du sol, ils pourront ensuite être combinés ou supprimés selon leur degré de pertinence. Chaque fois que l'on définit un nouveau ROI et qu'on lui attribue une couleur, tous les pixels présentant le même rayonnement sont sélectionnés dans la fenêtre image et dans le diagramme radiométrique. La visualisation des pixels sélectionnés sur le diagramme bidimensionnel des canaux R et PIR permet d'évaluer le degré d'homogénéité radiométrique du site d'entraînement (pixels regroupés ou au contraire dispersés). Ces analyses permettent de combiner ou supprimer des classes selon leur pertinence. Pour éviter toute confusion entre classes, les ROI apparaissant sur le diagramme doivent être disjoints.

Une fois le site d'entraînement défini, on enregistre le ou les ROI retenus pour lancer ensuite la classification.

## 1.2 Les observations de terrain

Cette opération est incontournable, elle a pour objectif de procéder à l'évaluation de la qualité des résultats obtenus par classifications non dirigées et d'effectuer des relevés de végétation sur l'ensemble de la zone étudiée. Elle s'est déroulée au mois de mai, donc bien après la date d'acquisition de l'image, mais néanmoins dans la même saison. Afin d'effectuer des relevés de végétation de la zone d'étude, plusieurs stations ont été sélectionnées avant à l'aide du document utilisé (composition colorée, classification non supervisée). Pour chaque relevé de terrain, les coordonnées du site sont notées à l'aide de la carte topographique à 1/50 000, une fiche de relevé de végétation est établie et des photos de la végétation prises.

Les relevés de végétation doivent être effectués sur des zones répondant aux conditions suivantes:

- elles doivent être à la fois les plus grandes et les plus homogènes possibles.

- les zones où sont effectués les relevés de végétation ont été pour partie présélectionnées avant la mission et pour partie définies sur le terrain ;
- les cartes topographiques au 1/50 000 ont servi à repérer des classes peu fréquentes telles que les marais, à vérifier que les relevés étaient accessibles par la route et à repérer les itinéraires à suivre ;
- la composition colorée des trois canaux (3-2-1) a été produite afin de sélectionner les zones homogènes d'un point de vue radiométrique. Les zones homogènes sur la composition colorée est accessibles par la route ont été notées sur les cartes afin d'y effectuer éventuellement des relevés de végétation.
- la classification non dirigée de l'image de l'ACP à 15 classes pour nous repérer sur le terrain, cette classification permis de déterminer divers stations suivant la localisation des différentes classes ;
- le long des voies d'accès des relevés ont été effectués a chaque changement majeur de paysage intervenant au niveau de la végétation (espèce, recouvrement). Chaque relevé est localisé sur la carte topographique, la végétation est décrite aussi précisément que possible.

### 1.2.1 Traitement des relevés

Le traitement des données à pour but de faire apparaître les différents groupes de végétation existante dans la zone d'étude. Alors, nous avons appliqué une méthode statistique dite classification hiérarchique ascendante (C.H.A). Cette méthode à pour objectif la construction de groupes aussi peu nombreux que possible d'individus ou d'objets tels que soient groupes dans une même classe les individus ou objets semblables ou proches tels que soient affectées à des classes différentes des individus ou objets dissemblables, plus lointains.

#### Choix d'un indice de dissimilarité

Plusieurs méthodes de mesures de la "distance" sont utilisées, celle de "Distance Euclidienne" a été retenue ; c'est probablement le type de distance le plus couramment utilisé puisqu'il s'agit simplement d'une distance géométrique dans un espace multidimensionnel.

$$d(I_i, I_j) = \sqrt{\sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

## **Choix d'un indice d'agrégation**

L'application de la méthode suppose également de faire le choix d'une "distance" entre classes et là encore, de nombreuses solutions existent. Il faut noter que ces solutions permettent toutes de calculer la distance entre deux classes quelconques sans avoir à recalculer celles qui existent entre les individus composant chaque classe. Parmi les méthodes existantes, nous avons proposé la méthode de Ward (méthode du moment d'ordre 2).

La méthode de Ward, aisée à mettre en œuvre lorsque la classification est effectuée après une analyse factorielle (les objets à classer étant repérés par leurs coordonnées sur les premiers axes factoriels), constitue une excellente méthode de classification ascendante hiérarchique (PARDOUX, 2002).

## **1.3 Détections des changements**

### **1.3.1 Les traitements préliminaires**

Dans une étude de détection de changements, les images utilisées doivent présenter des caractéristiques les plus homogènes possibles de sorte que les différences provenant de leur comparaison puissent être associées à de réels changements d'état du territoire et non à des artefacts liés aux images. Idéalement, les images doivent provenir du même capteur et la date d'acquisition doit varier le moins possible. En raison de considérations physiques et économiques, ces conditions idéales n'ont pu être rencontrées. Afin de contrer ces lacunes, les images ont d'abord fait l'objet de corrections radiométrique et géométrique. Le logiciel utilisé pour réaliser tous ces traitements est ENVI 4.7. Les traitements de corrections atmosphériques et calibration radiométrique ont été présentés dans le chapitre 03, Les paramètres de normalisation des images TM87, TM84 et MSS 72 par la méthode de la ligne empirique ont été présentés en annexe 07.

### **Corrections géométriques**

Une correction d'image à image a été appliquée sur l'image TM du 1987,1984 et l'image MSS du 1972. Un total de 11 points de contrôle (annexe 06) ont servi à établir une relation géométrique entre les pixels des images TM 87, 84 et MSS 72 par rapport à l'image ETM+ du 2002 (déjà géométriquement corrigée par le fournisseur). L'image a été géoréférencée dans le système de coordonnées UTM 30 (WGS 84). Elle a subi une interpolation spatiale polynomiale de première degré et un rééchantillonnage selon la méthode du plus proche voisin. L'indice de distorsion ou *Root Mean Square (RMS)* indique une erreur de 0.006 pixels entre les trios images ce qui est à l'intérieur de la limite requise (0,50 pixel) pour effectuer une détection de changements entre deux images satellitaires (Jensen, 1996).

### 1.3.2 Méthodes de détection des changements

Deux types de méthodes de détection des changements ont été utilisés, une méthode quantitative la comparaison d'images pixel à pixel (basé sur les données radiométriques des images) et une méthode qualitative la comparaison entre les cartes de végétation ou d'occupation du sol (Sitayeb, 2006). Les méthodes de détection des changements peuvent être divisés en deux groupes :

- les méthodes ayant recours à un traitement numérique (l'analyse en composantes principales, la différence d'images, l'analyse en vecteurs de changements),
- la comparaison entre deux cartes de végétation (cartes de végétation 2005 et 1958)

Il est possible d'utiliser trois techniques permettant de détecter les changements à partir des données multi-dates (L'ACP, la différence et le rapport d'image et l'analyse en vecteur de changement).

**L'analyse en composantes principales (ACP) :** Une analyse en composantes principales a été appliquée aux images NDVI dans les deux périodes (1984,2002 et 1972, 1987).

**L'analyse en vecteurs de changements :** L'analyse en vecteurs de changements des images NDVI s'apparentent à une simple différence entre les images NDVI deux à deux (1972 et 1987 ; 1984 et 2002). Il reste à caractériser la direction et l'intensité des vecteurs de changements. Pour simplifier l'interprétation des résultats, nous avons choisi cinq classes de vecteurs. Les deux premières classes représentent des changements positifs, la troisième classe symbolise les zones de non changements, et les deux dernières classes expriment les changements négatifs.

**La différence d'images :** Cette méthode intuitive est la plus utilisée pour détecter des changements. Cependant, l'interprétation des résultats est délicate car les différences n'indiquent que le degré de changement et non sa qualité. En effet, une même différence peut être obtenue à partir de deux pixels appartenant à deux classes thématiques différentes (exemple :  $0.5 - 0.4 = 0.1$  et  $-0.2 - (-0.3) = 0.1$ ) (Bouziri, 1999).

#### Comparaison spatiale entre deux cartes de végétation

Elle se base sur l'observation des cartes de la végétation, carte de végétation Bosquet Mostaganem à 1/200 000 réalisée par Simonneau et al (1958), et la carte de végétation réalisée dans ce travail à partir des images satellitaire ASTER de (2005). Donc la démarche est la suivante :

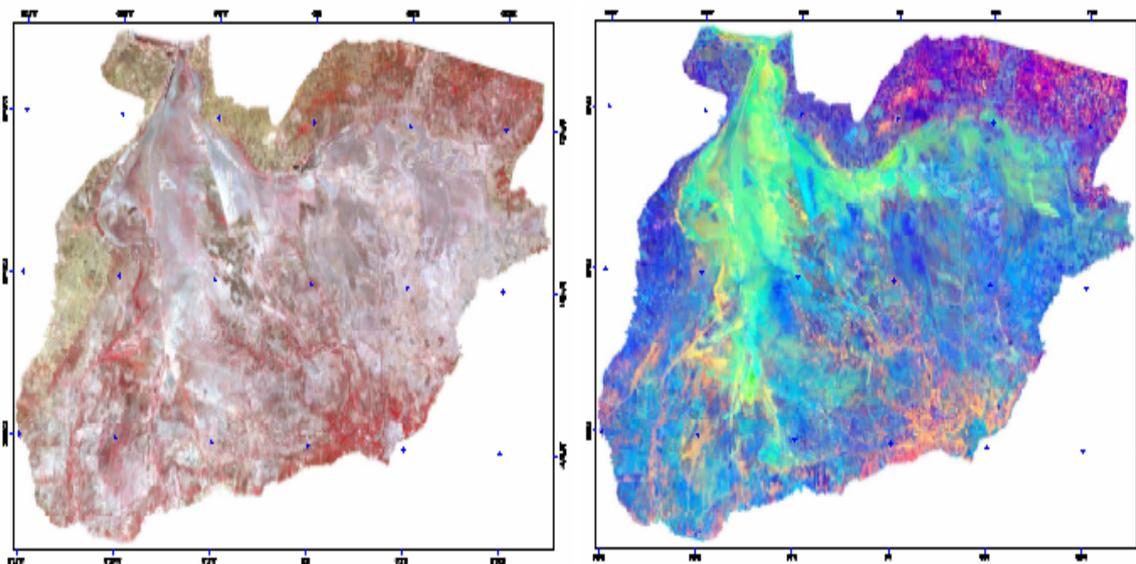
- la digitalisation de la carte de végétation de 1958, Cette opération consiste à transformer les formes graphiques des thèmes identifiés auparavant en format vectoriel sous fichier numérique (*Tab*) puis un croisement entre les deux cartes de végétation.

## 2. Résultats obtenus et interprétation

### 2.1. Elaboration de la carte de végétation

#### 2.1.1 Réduction des données de télédétection

La quantité d'information contenue dans les images de télédétection est considérable (par exemple 255Mo pour des données multi-spectrales ASTER couvrant une surface de 60 X 60 km. La réduction de la dimension de l'étude est une étape importante dans le traitement d'images. Plusieurs méthodes de réduction de dimensions existent (Cécile, 2004). Alors, nous présentons le résultat d'Analyse en Composantes Principales appliquée aux données utilisée (fig. 44).



Composition colorée en fausse couleur

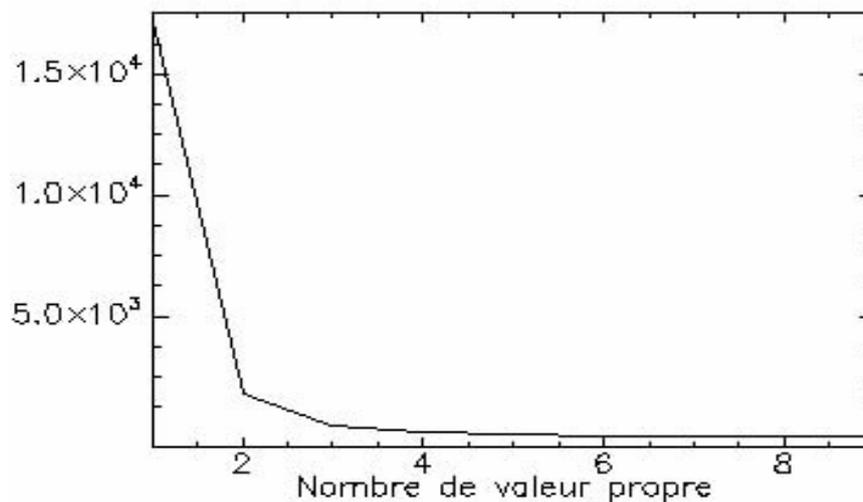
ACP1-ACP2-ACP3

**Figure 44:** Compositions colorées et ACP

Les neuf bandes spectrales ASTER dont nous disposons sont fortement corrélées entre elles (coefficient de corrélation entre 0.6 et 0.9). Les quatre premières bandes ASTER sont représentées sur la figure 44 (a1, b1, c1 et d1). Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur ces neuf bandes ASTER. Les neuf nouvelles composantes obtenues sont décorréliées et ordonnées par taux de variance décroissant. Les quatre premières composantes issues de l'ACP réalisées sur les neuf bandes ASTER (VIS-PIR et MIR) sont représentées sur la figure 46 (a2, b2, c2 et d2).

Le choix du nombre de composantes principales à conserver constitue l'étape la plus importante de l'ACP. Ce choix basé sur trois règles (Cécile, 2004) :

- Kaiser (1958) suggère de conserver les premières composantes ayant une valeur propre supérieure à 1.
- La règle de la "part d'inertie expliquée" propose de fixer une part d'inertie (par exemple 80%) à conserver. Cette valeur dépend néanmoins du nombre de bandes spectrales de départ.
- A partir du graphique représentant l'éboulis des valeurs propres (fig. 45), on garde un nombre de facteurs correspondant à un "coude" de l'histogramme, séparant des valeurs propres encore assez grandes à celles devenues trop petites.



**Figure 45:** Représentation de l'éboulis des valeurs propres pour l'ACP réalisée sur les 9 bandes spectrales ASTER.

D'après la règle de Kaiser, seule la première composante serait conservée. En effet celle-ci a une part d'inertie de 89,68% (tab. 35), et une valeur propre de 8.1, alors que la seconde composante a une part d'inertie de 7,26%, et une valeur propre de 0.6. D'après la règle de la "part d'inertie expliquée" et en choisissant une part d'inertie minimale de 80%, la première composante serait également la seule donnée conservée.

D'après l'éboulis des valeurs propres (fig. 45), les 2 premières composantes pourraient être conservées. Ainsi d'après ces trois règles nous devons conserver les deux premières composantes.

**Tableau 35:** Pourcentage de variance associé à chaque nouvelle composante issue de l'ACP réalisée sur les 9 bandes spectrales ASTER.

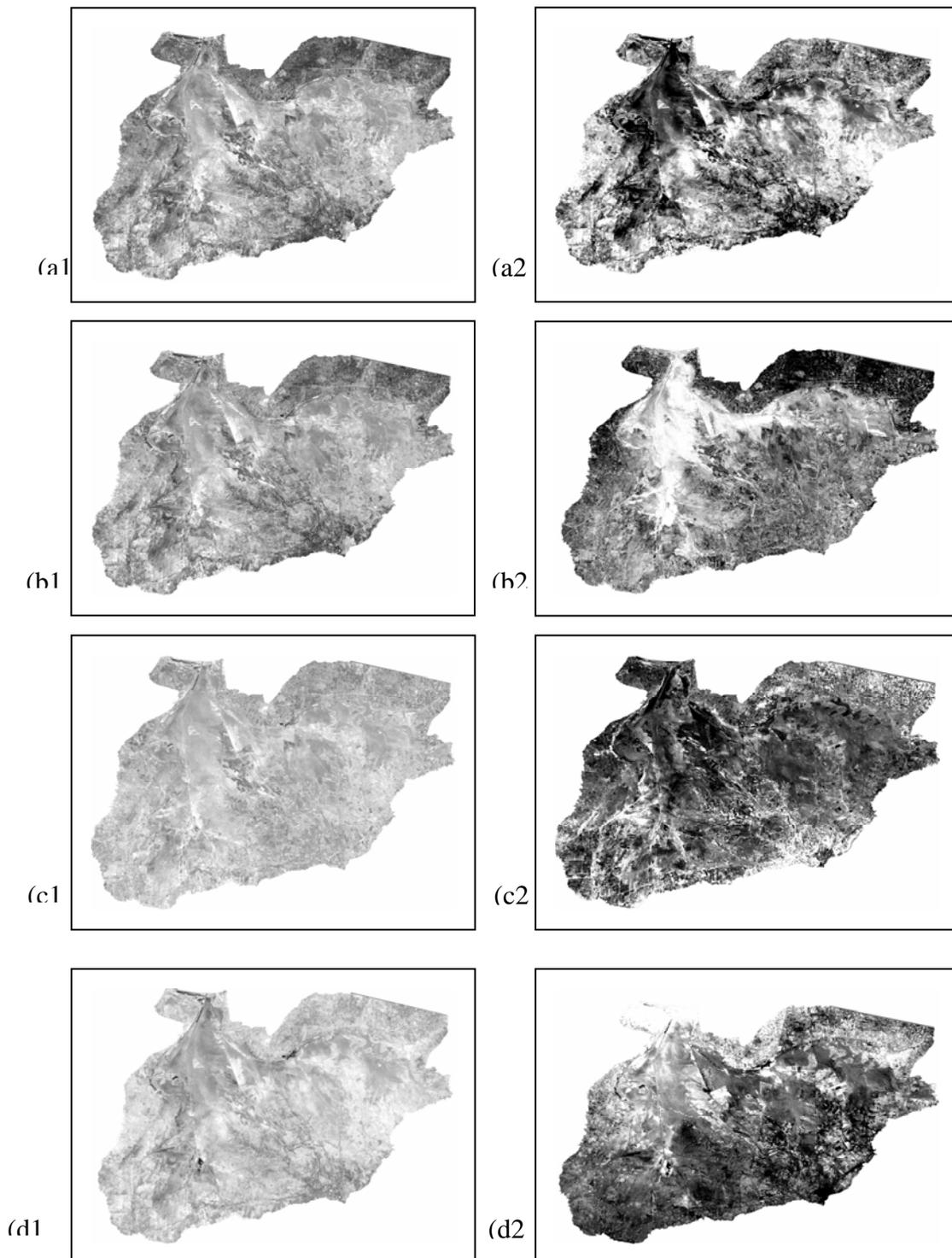
Nouvelles composantes	Variance (%)
1 <sup>ère</sup>	89,68
2 <sup>ème</sup>	7,26
3 <sup>ème</sup>	1,33
4 <sup>ème</sup>	0,63
5 <sup>ème</sup>	0,47
6 <sup>ème</sup>	0,23
7 <sup>ème</sup>	0,17
8 <sup>ème</sup>	0,11
9 <sup>ème</sup>	0,096

La première nouvelle composante contient environ 89% de l'information totale. Ajoutée à la deuxième nouvelle composante, la quantité d'information est supérieure à 96%. Il est donc indispensable de conserver ces deux premières composantes. Les composantes suivantes contiennent chacune moins de 1,5% d'information.

Néanmoins, une étude visuelle montre que les nouvelles composantes 3, 4 et 5 contiennent une information relative à l'objectif d'étude : formations végétales, et les sols nus. Par contre les nouvelles composantes 6, 7, 8 et 9 contiennent l'information de bruit.

Les trois règles de décision existantes indiquent de conserver au maximum les 2 premières composantes. Néanmoins nous avons pu observer que les 3 composantes suivantes semblent contenir de l'information utile.

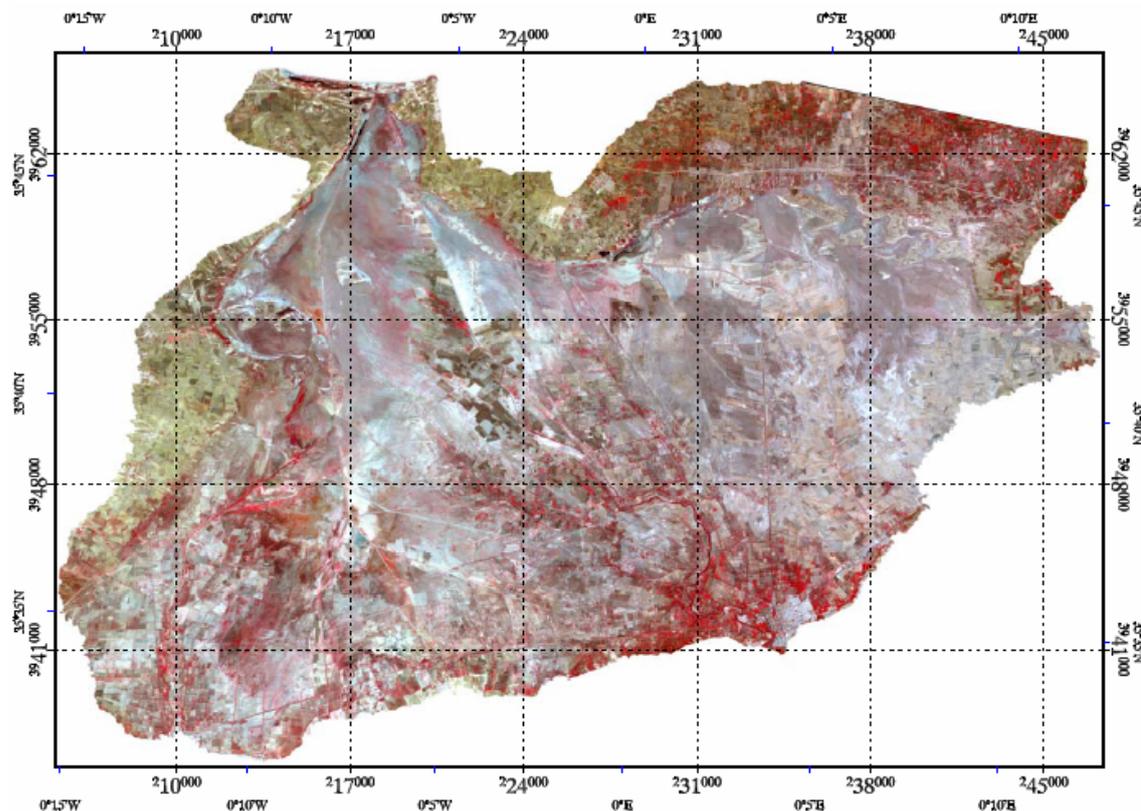
Aucune règle générale de décision n'étant définie, l'utilisateur est libre de conserver les composantes souhaitées en fonction de critères propres à son étude. Nous avons décidé de conserver les cinq premières composantes afin de prendre en compte le maximum d'information dans la suite de l'étude.



**Figure 46:** Quatre premières bandes spectrales ASTER : a1) Bande 01 VIS, b1) Bande 02 VIS, c1) Bande 03 VIS, d1) Bande 04 PIR. Quatre premières Composantes issues de l'ACP réalisée sur les 9 bandes spectrales ASTER : a2) 1<sup>ère</sup> composante, b2) 2<sup>ème</sup> composante, c2) 3<sup>ème</sup> composante, d2) 4<sup>ème</sup> composante.

### 2.1.2 La composition colorée et l'interprétation visuelle

La composition colorée donne un premier aperçu des différents objets sur le terrain (fig. 47). Une première interprétation peut être faite. Le rouge correspond à un état chlorophyllien d'une végétation naturelle ou cultivée. Le blanc montre un état minéral : sol nu ou végétation desséchée. Le noir correspond les surfaces d'eau.



**Figure 47:** Affichage de l'image en composition colorée (3-2-1).

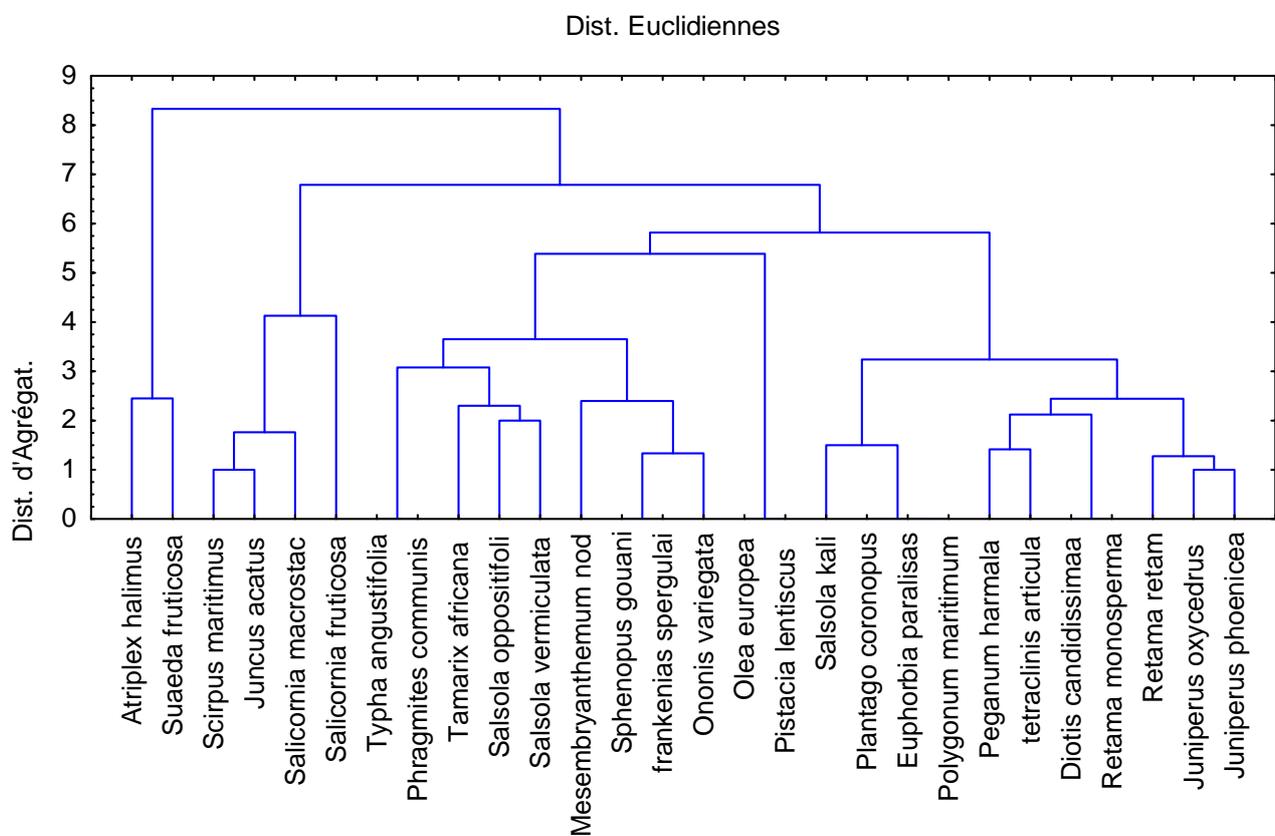
### 2.1.3 La vérité de terrain

La classification repose sur un apprentissage sur des régions définies par l'utilisateur ; les régions et la classe attribuée sont des informations pertinentes, qui correspondent à la réalité. Un tel ensemble de données est appelé une vérité terrain. Il est alors possible de détecter les erreurs. (Pony et al, 2000)

Plus de 30 relevés floristiques (annexe 05) ont été réalisés au cours de cette mission (fig. 49), une fiche de relevé de végétation a été élaborée. Les sites d'enquêtes ont été sélectionnés sur le terrain par un choix raisonné, à l'aide d'agrandissement de compositions colorées et le résultat de la classification non supervisée, en fonction des possibilités d'accès et des caractéristiques colorées des images, celles-ci étant, en principe, liées à un type de paysage.

Lors de la mission de terrain et à l'aide d'un traitement statistique (CAH) (fig. 48), 7 groupements végétaux ont pu être discriminés:

- Groupements à *Salicornia fruticosa*
- Groupement à *Suaeda fruticosa*
- Groupement à *Atriplex halimus*
- Groupement à *Tamarix africana*
- Groupements dunaire à *Retama retam* et *Juniperus Phoenicea*
- Groupement à *Mesembryanthemum nodiflorum*
- Groupement à *Olea europea* et *Pistacia lentiscus*



**Figure 48:** Classification ascendante hiérarchique, méthode de Ward, Distance Euclidiennes

#### 2.1.4 La classification non supervisée

Une fois l'image traitée, il a été procédé à la classification pour extraire des informations thématiques contenues dans les données de télédétection. Dans une première étape une classification non supervisée où l'identité des types de couverture du sol n'est pas connue à priori a été réalisée. Les résultats (fig. 50) montrent cependant que les pixels sont répartis dans les différentes classes en fonction de leur valeur. Des nombreux algorithmes de classification

permettent de créer des regroupements de pixels ayant des caractéristiques spectrales semblables. C'est ce regroupement qui crée des classes : sols nu, végétations naturelles, cultures.

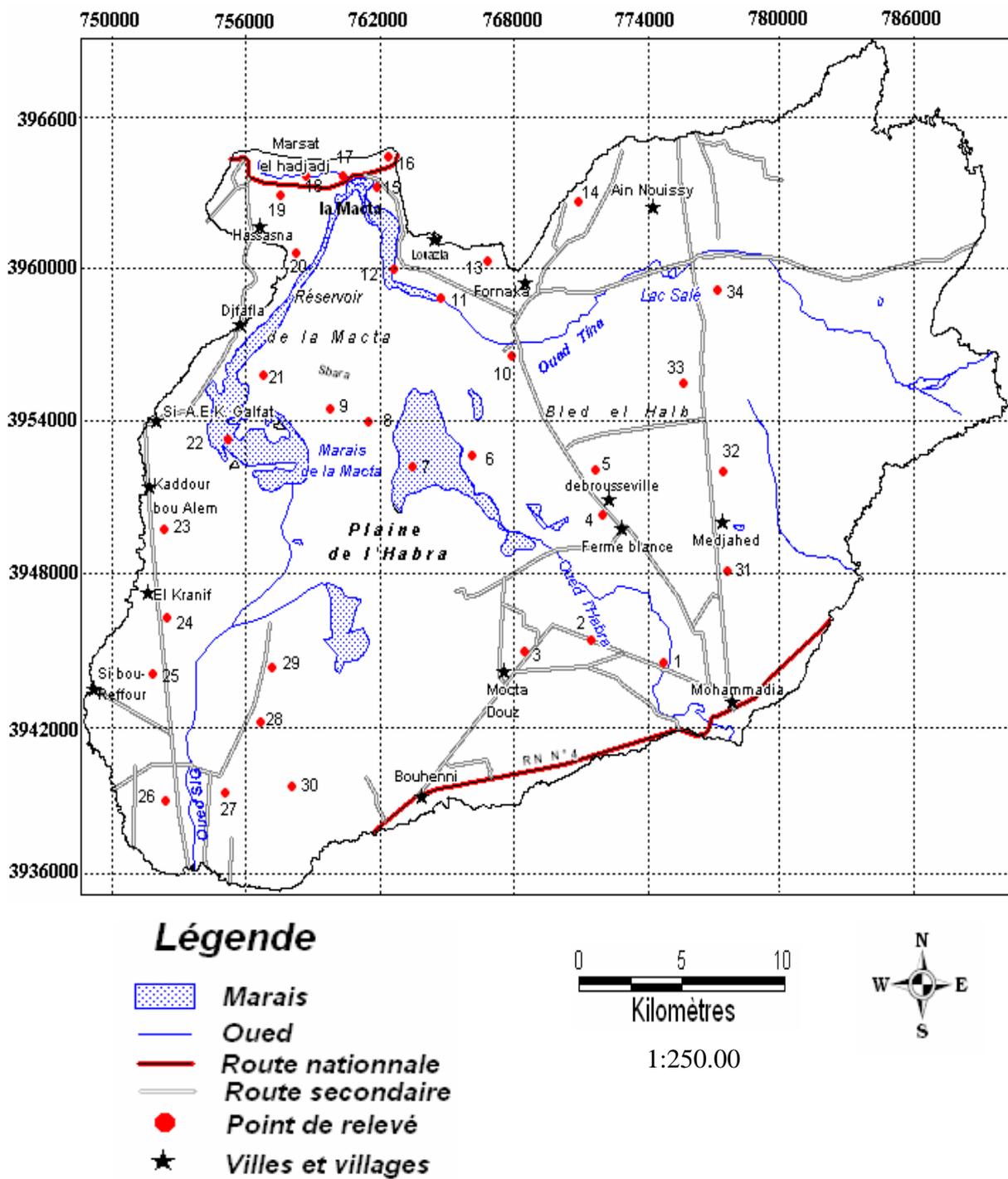
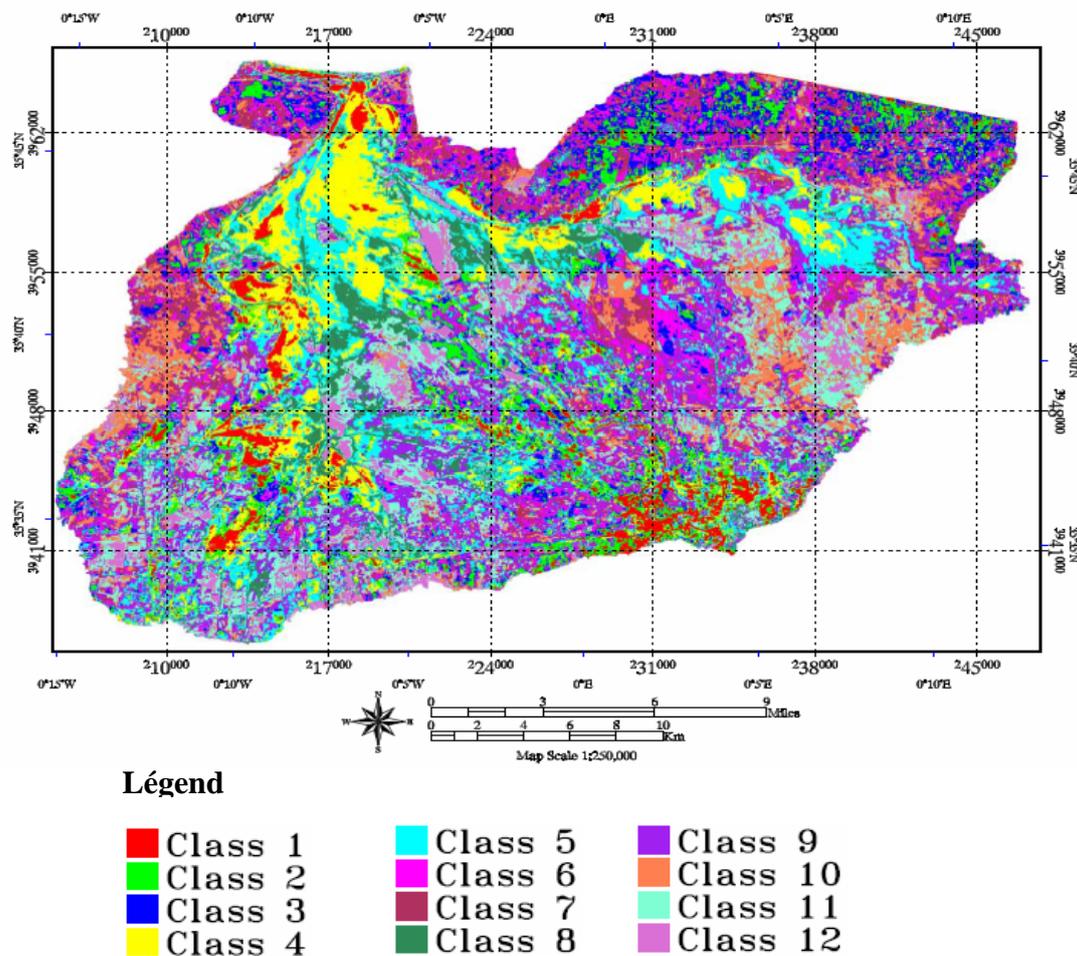


Figure 49: Carte de localisation des stations de relevé



**Figure 50:** classification non supervisée de l'image ACP

### 2.1.5 Validation de l'interprétation par les données de terrain

Quelque soit l'outil utilisé et sa performance et pour éviter toute erreur d'interprétation, une vérification sur terrain s'impose et relève de la validation des résultats obtenus par traitement.

#### 2.1.5.1 La classification supervisée

Une classification supervisée a été réalisée afin d'obtenir une cartographie des formations végétales, c'est-à-dire que les éléments semblables de l'image, présentant les mêmes caractéristiques spectrales, ont été regroupés en « classes », chaque classe correspondant ici à une formation végétale particulière (fig. 51). Nous décrivons ici les principales étapes de ce traitement.

**Nomenclature ou légende utilisée :** A partir des observations effectuées sur le terrain, une légende a été réalisée pour l'étude des caractéristiques spectrales des thèmes. Alors, nous avons proposé la nomenclature suivante :

**Végétations naturelles :**

- Classe 1 : Groupements à *Salicornia fruticosa* ;
- Classe 2 : Groupements à *Suaeda fruticosa* ;
- Classe 3 : Groupements à *Atriplex halimus* ;
- Classe 4 : Groupements à *Tamarix africana* ;
- Classe 5 : Groupements sur dunes littorales à *Retama retam* et *Juniperus Phoenicea* ;
- Classe 6 : Ermes (végétation herbacée) ;

**Espaces agricoles :**

- Classe 7 : Vergers et cultures annuelles ;
- Classe 8 : Vignobles ;
- Classe 9 : Oliveraies ;
- Classe 10 : Cultures annuelles ;
- Classe 11 : Territoires occupé par la céréaliculture et la jachère.

**Autres :**

- Classe 12 : Sol nu.

**2.1.5.2 Lancement de la classification**

Grâce au logiciel ENVI, une classification supervisée par maximum de vraisemblance a été effectuée à partir des caractéristiques statistiques des classes relevées dans chacun des canaux lors de la phase d'apprentissage (tab. 36) en utilisant les canaux 1, 2, 3,4 et 5.

**Tableau 36:** Valeurs statistiques des zones d'entraînement pour les différents thèmes dans les canaux bruts de l'image.

classes	Band1		Band2		Band3		Band4		Band5	
	moyen	Ecart type								
1	210.6	8.2	220.9	6.7	310	3.5	247	6.12	268.4	5.6
2	214.9	6.3	220.1	7.1	342.9	5.4	355.2	8.9	290.6	8.1
3	188	8.5	196	9	322	8.1	362	7.3	297	8.6
4	11.9	4	81.3	4.9	286.8	7.2	235	8	191	7.4
5	144.6	10.4	143.6	12.3	263.5	13.8	292.2	12.6	232.5	10.8
6	176.2	6.1	236.3	7.3	318.1	5.7	440.8	5.4	366	6
7	124.4	6.6	93.77	9	381.6	5.8	274	8.4	214	7.2
8	128.4	8.6	112.2	11.2	349.8	5.2	316.5	9.4	249.7	10.4
9	173.3	5.4	187.5	8.3	345.6	8	363.9	5.5	304	3.7
10	119.5	9.2	88.1	12.6	399	13.6	306	9.4	253.6	8.4
11	183.2	5.6	203.2	7.3	306.9	7.7	416.1	8.3	318.7	9.4
12	316.2	6.4	347.8	6.2	415.4	1.5	507	9.3	404.3	8.7

### 2.1.5.3 Traitement d'amélioration ou post-classification

Deux traitements post-classification permettent de modifier sensiblement les résultats. Ce sont les outils *clump* et *sieve* du logiciel ENVI. Ces deux outils permettent de lisser les résultats obtenus en supprimant notamment les pixels isolés (on définit une taille minimale de polygone) et en arrondissant les contours des polygones élaborés. Ces outils ont été utilisés différemment selon la nature de la classe. Donc, certains noyaux ont été fusionnés et certaines classes regroupées lorsque deux types de végétation se confondaient et que leur fusion était cohérente d'un point de vue sémantique. Chaque étape a été testée afin de vérifier si elle avait bien entraîné une amélioration.

### 2.1.5.4 Estimation de qualité de classification

La qualité d'une classification par maximum de vraisemblance s'estime grâce à plusieurs paramètres : les comportements spectraux des noyaux, leur séparabilité, et la matrice de confusion. La séparabilité des noyaux peut s'estimer visuellement, préalablement à la classification, grâce à un histogramme bidimensionnel représentant, pour chaque pixel, la probabilité d'appartenance à tel ou tel noyau. Sous ENVI, il est aussi possible de calculer, en prenant les noyaux deux à deux, le coefficient de Jeffries-Matusita, reflétant la séparabilité des noyaux entre eux. Si ce coefficient est inférieur à 1,4 on peut considérer que les noyaux se séparent mal ; s'il est supérieur à 1,7 les noyaux sont bien séparés. Alors, dans notre cas ce coefficient est entre 1,9 et 2 (Annexe 08).

**Tableau 37:** Validation de la classification

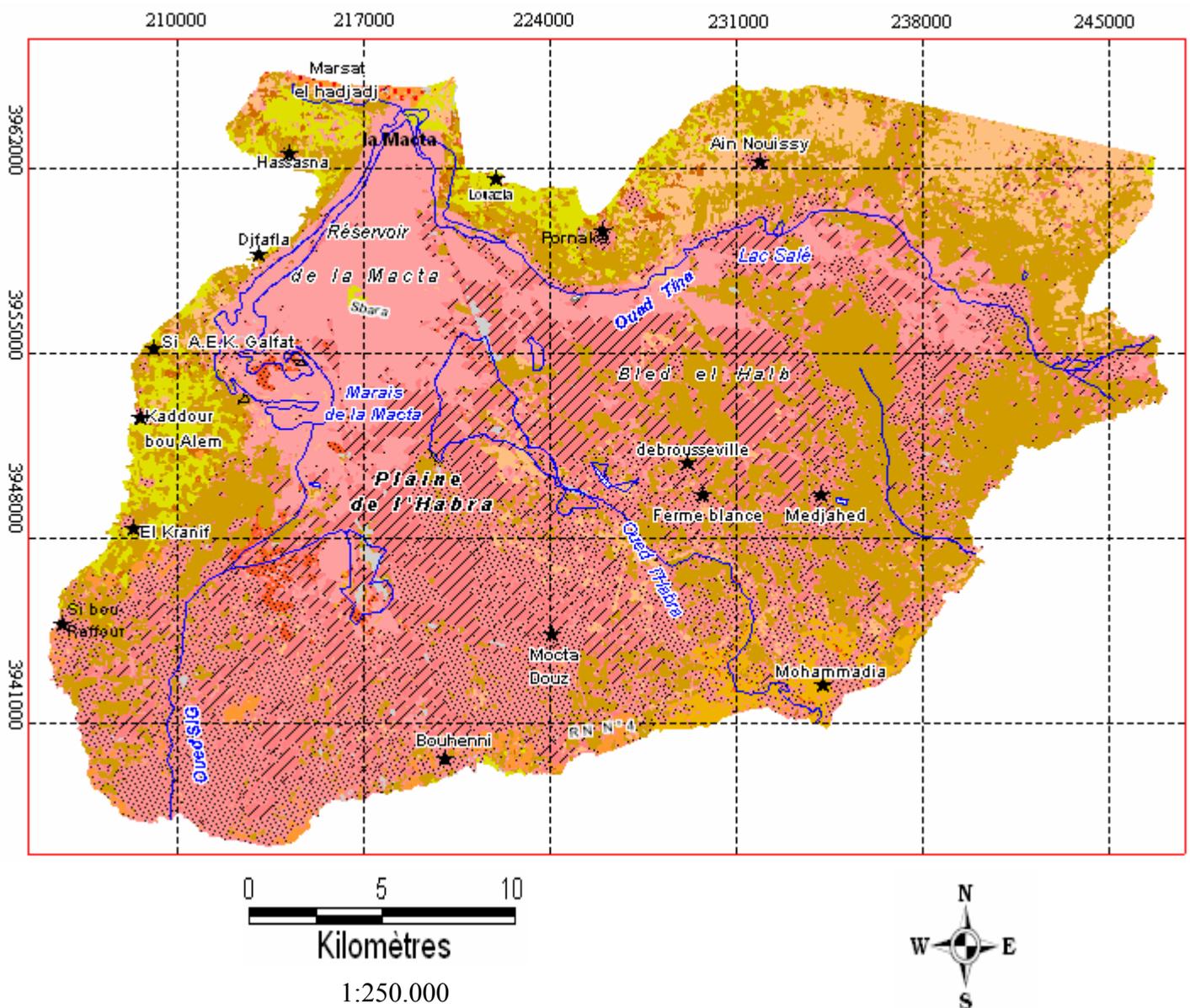
class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Classe1	0.03	0.04	9/28899	13/28903
Classe2	6.26	0.00	26/414	0/388
Classe3	2.27	0.00	5/220	0/215
Classe4	0.00	0.00	0/128	0/128
Classe5	0.00	87.92	0/43	313/356
Classe6	0.00	0.00	0/225	0/225
Classe7	0.00	12.78	0/157	23/180
Classe8	65.41	33.81	174/266	47/139
Classe9	0.00	11.83	0/149	20/149
Classe10	27.09	0.00	94/347	0/253
Classe11	0.12	0.00	1/843	0/842
Classe12	0.00	3.02	0/514	16/530

Enfin, une matrice de confusion est calculée à partir des parcelles d'entraînement. Cela nous permet à la fois de valider nos parcelles et de déterminer le meilleur type de classification (King, 1994 in Véga, 2000).

La validation de la classification est réalisée à partir de parcelles de vérité terrain. Les résultats montrent 96,88% de vraisemblance, soit 38229 pixels bien classés sur 38661. Le détail est exposé dans les deux tableaux (tab. 37 et tab. 38). Le premier montre la répartition des pixels, en pourcentages, dans les différentes classes. Le second met en évidence les erreurs dues aux omissions (pixels non classés) et aux commissions (pixels mal classés).

**Tableau 38:** matrice de confusion en pourcentages de la classification pixel à pixel

Non class	Classe1	Classe2	Classe3	Classe4	Classe5	Classe6	Classe7	Classe8	Classe9	Classe10	Classe11	Classe12
Classe1	99.96	0.00	0.00	0.00	2.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Classe2	0.04	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45
Classe3	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57
Classe4	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Classe5	0.00	0.00	0.00	0.00	12.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Classe6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Classe7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Classe8	0.00	0.00	0.00	0.00	48.88	0.00	0.00	66.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Classe9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.17	0.00	0.00	0.00
Classe10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.58	0.00	11.67	33.09	11.83	100	0.00	0.00
Classe11	0.00	0.00	0.00	0.00	33.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00
Classe12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.98
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



**Légende**

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | Groupement à <i>Salicornia fruticososa</i>   |  | Cultures maraichers                               |
|  | Groupement à <i>Suaeda fruticososa</i>   |  | Vergers d'agrumes associer aux cultures annuelles |
|  | Groupement à <i>Atriplex halimus</i> et <i>Salsola oppositifolia</i>                                   |  | Oliveraies  |
|  | Groupement à <i>Tamarix africana</i>   |  | Vignobles   |
|  | Groupement dunaires à <i>Genévrier</i> et <i>Retama</i>  |  | Sol nu  |
|  | Pelouses annuelles   |  | Marais  |
|  | Territoires principalement occupés par l'agriculture, avec présence de végétation naturelle importante |  | Oueds   |

**Figure 52:** Carte des groupements végétaux de la plaine de la Macta en 2005

### 3. Cartographie de l'évolution de couvert végétal de la plaine de la Macta

#### 3.1 Analyse en composantes principales (ACP)

Elle est fondée sur une transformation linéaire qui permet de passer de l'espace des données de départ à un espace orthogonal de même dimension. Les axes du nouvel espace sont donnés par les vecteurs propres des matrices de covariance ou de corrélation. Il existe une forte corrélation entre les régions qui n'ont pas subi de changements significatifs et une faible corrélation entre les régions qui en ont subi. La majeure partie de la variance (*la première composante principale*) représente la moyenne de l'ensemble des données (donc la partie constante) alors que les changements sont mis en évidence dans les composantes suivantes. (Bouziri, 1999) souligne cependant que la difficulté d'interprétation croît avec le nombre de composantes. D'autre part, Deer (1995) relève que l'utilisation des matrices de corrélation pour la transformation en composantes principales est particulièrement utile pour l'analyse multi-temporelle car la normalisation peut minimiser les différences dues aux conditions atmosphériques ou à l'angle d'illumination solaire.

Une analyse en composantes principales a été appliquée aux images NDVI dans les deux périodes (printemps 1984,2002 et automne 1972, 1987), les résultats sont présentés dans les figures (52 et 53) Pour chaque composante, les pixels clairs correspondent à une grande valeur propre, alors que les pixels foncés symbolisent une petite valeur propre. Les résultats statistiques de l'ACP sont donnés dans le (tableaux 39):

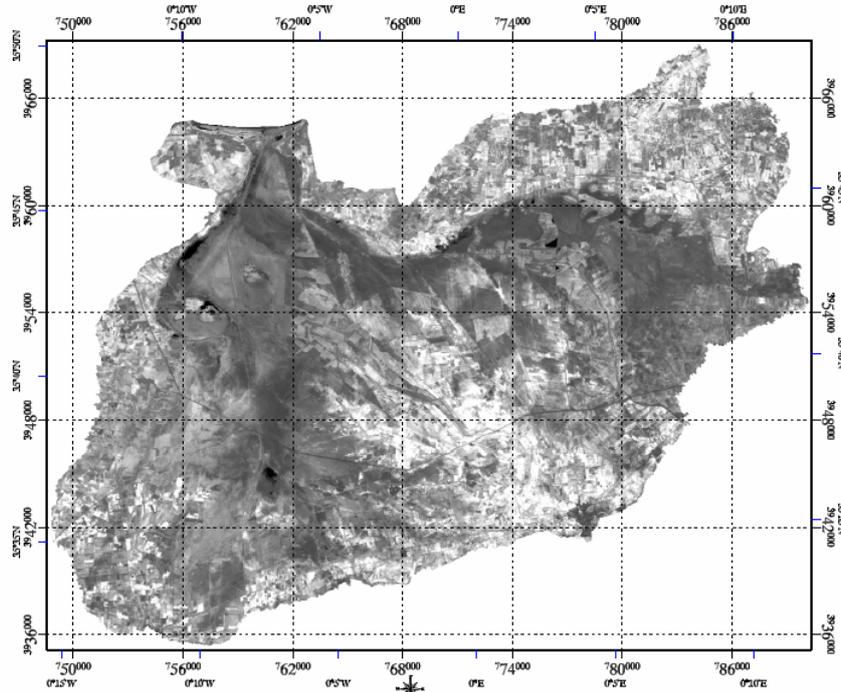
**Tableau 39** : Résultats statistiques des ACP des images NDVI (2002-1948)

Composante		1987-1972		2002-1948	
		1	2	1	2
Valeur propre		0.023367	0.003684	0.079056	0.031422
Variance (%)		86.38	13.61	71.55	28.44
Vecteur propre	NDVI <sub>2002</sub>	0.429146	0.903235	0.500211	0.865903
	NDVI <sub>1984</sub>	0.903235	-0.429146	0.865903	-0.500211

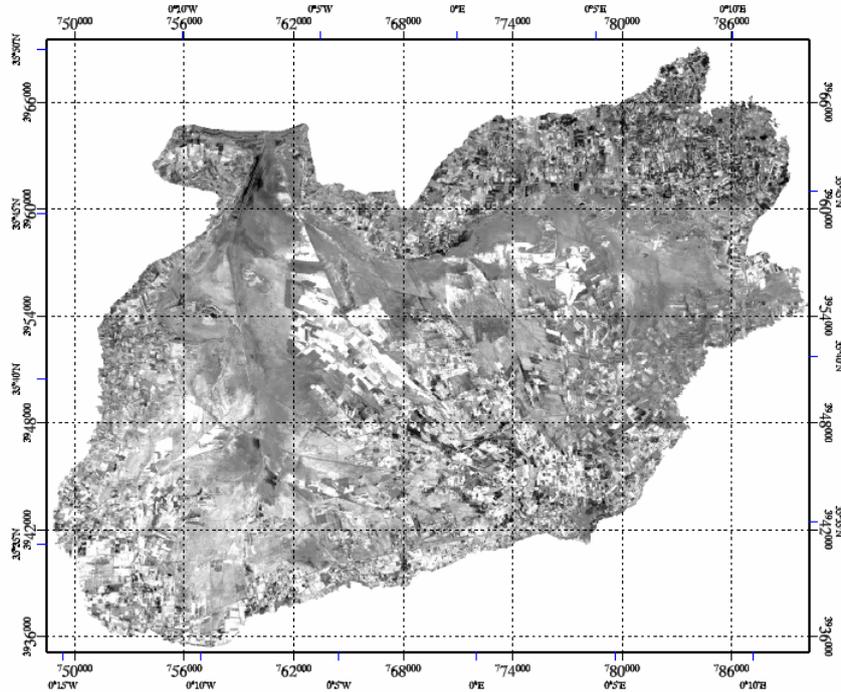
La première composante des images NDVI représente 71.55 % de la variance totale de deux images pour la première période (1984-2002), et 86.38 % pour la deuxième (1972-1987). Cette première composante peut être considérée comme une mesure de la tendance centrale comme la moyenne (Bouziri, 1999). Les valeurs des vecteurs propres pour chaque date sont présentent par des valeurs positives, négatives et moyennes.

Pour la première composante, une grande valeur pour l' NDVI<sub>1972</sub> et NDVI<sub>1984</sub>, et une valeur moyenne pour l'NDVI<sub>1987</sub> et NDVI<sub>2002</sub>. Pour la deuxième composante, nous observons une tendance opposée entre les images NDVI. Ainsi, la deuxième composante montre en 1972 et 1984 une grande valeur négative (-0.429146 et -0.500211) et une grande valeur positive en 1987 et 2002

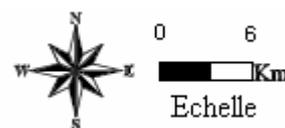
(0.903235 ; 0.865903). Malgré les remarques précédentes, il semble difficile d'interpréter les composantes principales en tant que changements (Bouziri, 1999).



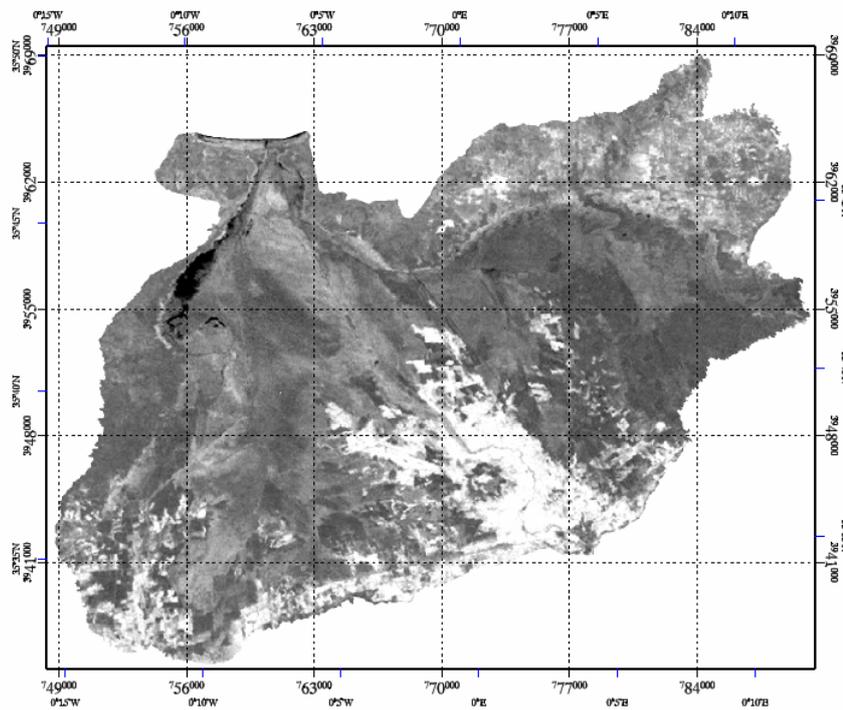
Composante1



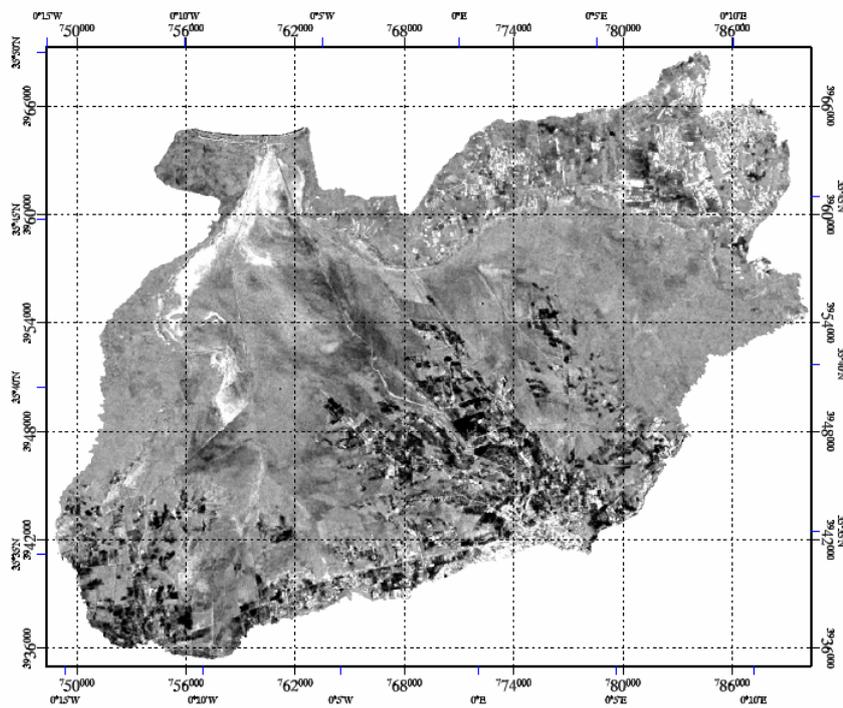
Composante2



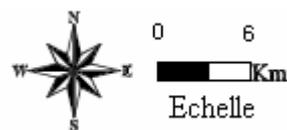
**Figure 52:** Composantes principales des images NDVI (1984\_2002) en tons de gris



Composante 1



Composante 2



**Figure 53:** Composantes principales des images NDVI (1972\_1987) en tons de gris

### 3.2 Résultats de comparaison numérique des images NDVI pixel à pixel

#### 3.2.1 L'analyse en vecteurs de changements

Des vecteurs sont utilisés pour représenter les changements dans le temps sur un jeu de données multi-dates. La dimension de l'espace vectoriel est égale au nombre de bandes spectrales disponibles pour le jeu de données. La direction d'un vecteur, le type et l'intensité déterminant la quantité de changements.

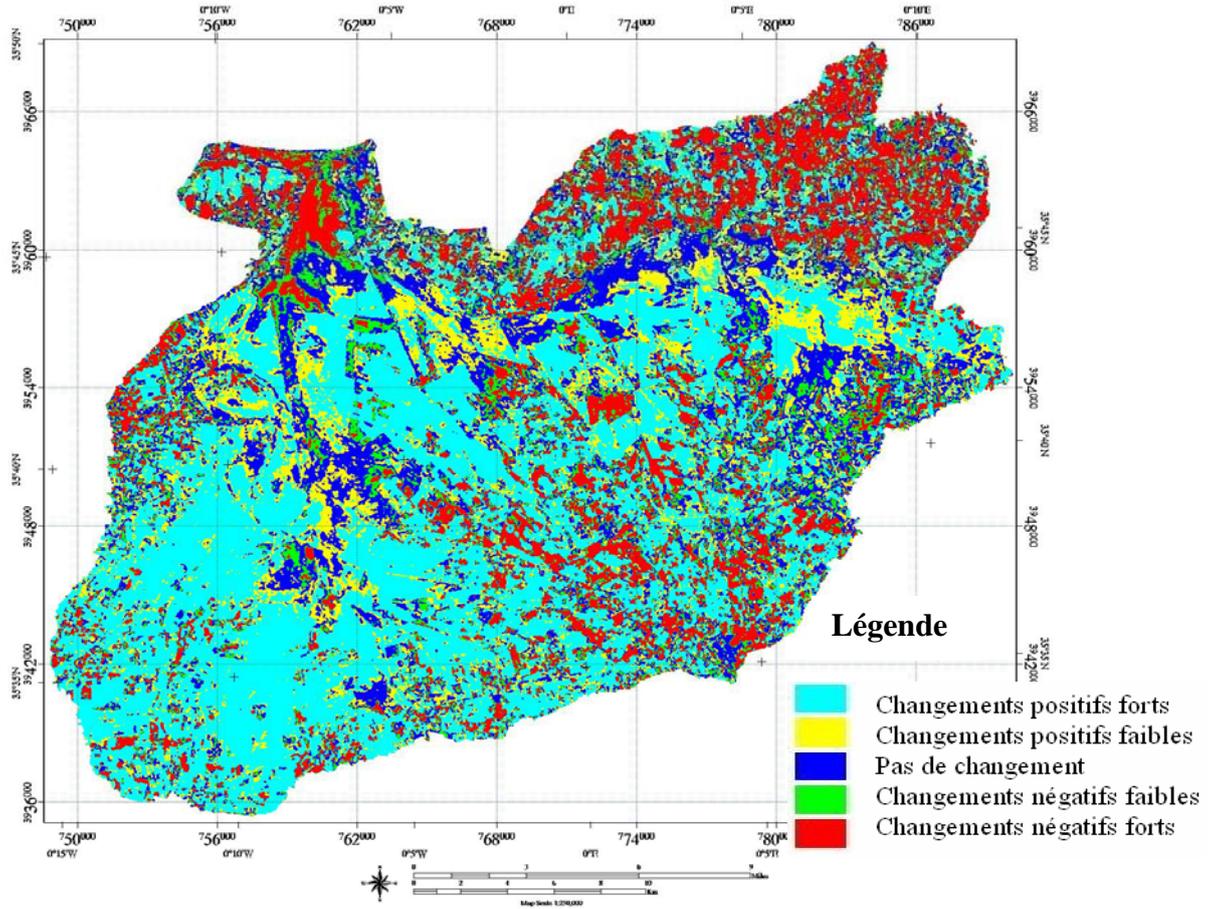
Un changement est considéré comme positif si la valeur en 2002 est supérieure à celle en 1984, et la valeur en 1987 est supérieure à celle en 1972. Les résultats de l'analyse en vecteurs de changements des images NDVI sont présentés dans les figures (54 ; 55).

Ces figures, montrent que les analyses en vecteurs de changements donnent des résultats opposés selon le type d'images. En effet, nous pouvons constater que les régions agricoles subissent pour les deux périodes des changements négatifs fortes. Par contre, pour la première période (1984-2002) les régions à végétation spontanée sont caractérisées par des changements positifs forts par rapport à la deuxième période.

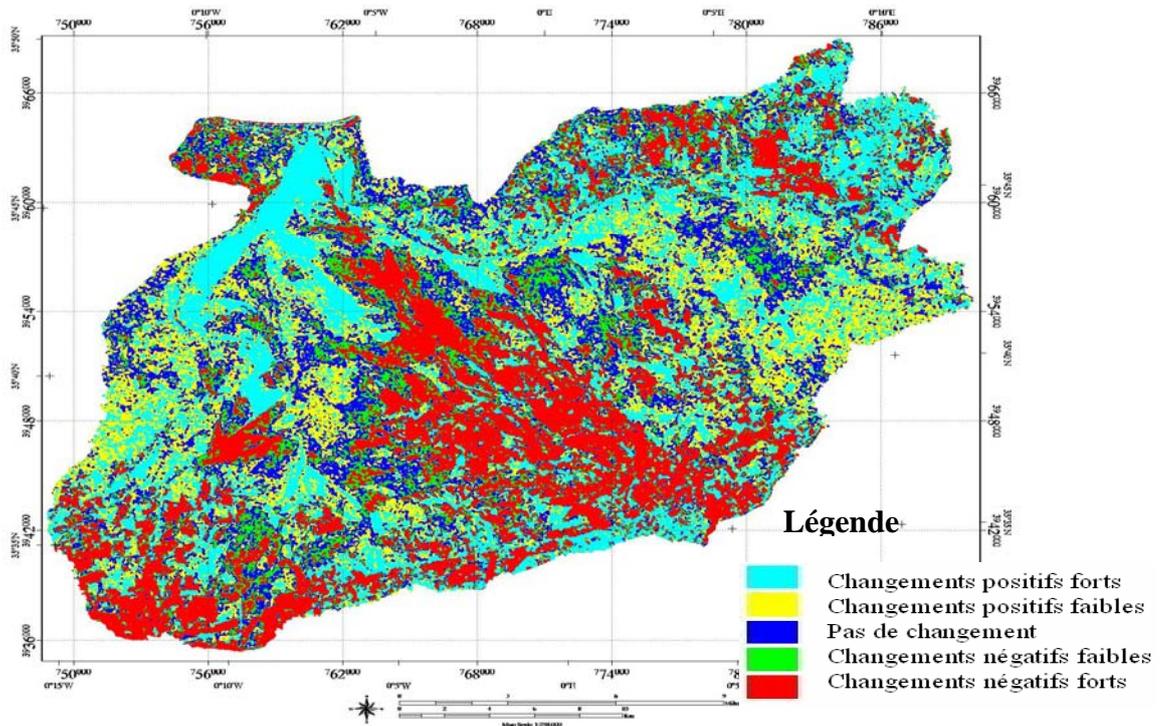
En règle générale, les résultats de cette méthode sont difficiles à interpréter. De plus, le choix de la gamme de couleurs demande beaucoup d'attention et une étude approfondie de l'histogramme des pixels est souvent utile.

**Tableau 40:** Pourcentage des zones de changement

Périodes Classes	Période (1987-1972)	Période (2002-1984)
Changement positif fort	21,39 %	19,02 %
Changement positif faible	10,15 %	10,90 %
Pas de changement	24,44 %	23,87 %
Changement négatif faible	24,74 %	15,81 %
Changement négatif fort	19,27 %	30,38 %



**Figure 54 :** Analyse en vecteurs de changements des images NDVI de 1984 et 2002



**Figure 55:** Analyse en vecteurs de changements des images NDVI de 1972 et 1987

### 3.2.3 Interprétation

Les techniques de comparaison visuelle ne permettent pas une détection directe des changements puisqu'elles demandent du temps à cause du manque de nuances ; cette analyse dépendant du niveau d'expertise du photo-interprète et reste très subjective. En plus elle ne donne pas de statistiques sur les zones affectées par des changements. La comparaison visuelle peut être toutefois utilisée comme une première étape pour la détection de changements.

L'Analyse en Composantes Principales présente également quelques limites ; les composantes résultant de cette technique sont difficiles à interpréter en tant que changements. En plus, cette procédure est insensible à l'ordre des images : les images peuvent être dans n'importe quel ordre, les résultats de l'analyse restent identiques. Enfin, l'Analyse en Composantes Principales ne divise pas directement les pixels des images en classes distinctes ; la classification se fait plutôt visuellement. Cependant, cette technique peut être utilisée pour créer un espace orthogonal et pour transformer les valeurs initiales en valeurs normalisées.

L'analyse en vecteurs de changements donne des résultats difficiles à interpréter, elle ressemble à une simple différence d'images. Le principal inconvénient se situe au niveau du choix de la gamme de couleurs qui nécessite une étude approfondie de l'histogramme des pixels.

La méthode la plus utilisée pour détecter les changements est la différence d'images. La quantité du changement est représentée sur une gamme des couleurs du spectre visible (du violet au rouge). Plus le changement est grand, plus la couleur se rapproche du rouge

L'analyse des changements doit aussi tenir compte de la gamme temporelle des données ; plus la différence entre les dates est grande, plus la projection dans le temps des résultats se fera sur une plus grande période. Lorsque la différence des dates est faible, les résultats seront plus fins mais ils seront valables sur un plus petit laps de temps. Dans notre cas, les deux périodes sont étalées sur un intervalle de temps important. Les évolutions détectées pourront être projetées sur quelques années mais certainement pas sur une période plus grande.

Deux cartes de périodes différentes, l'une de 1958 et l'autre de 2005, permettent d'appréhender la notion de dynamique de l'occupation des sols et, par conséquent, des groupements végétaux. La classification des images ASTER de 2005 permet d'aboutir, 47 ans plus tard, à la carte de végétation de la même zone (Fig. 52).

### 3.3 L'évolution de la végétation entre 1958 et 2001

La comparaison entre deux périodes de répartition de la végétation ne permet pas de dégager un scénario d'évolution simple des formations végétales, mais traduit la variété écologique des situations et la diversité d'occupation des terres (Gaddas, 2001). Les traits marquants de l'évolution de l'état de la répartition du paysage végétal de la plaine de la Macta entre 1958 et 2005 permet les constatations suivantes (Tableaux 41 et 42) :

- une forte progression des surfaces occupées par la végétation naturelle halophile ; en 2005, la superficie était de l'ordre de 47 000 ha contre 27 000 ha en 1958. Les formations végétales arborescentes de *Tamarix africana* et *Juniperus phoenicea* connaissent une forte régression ;
- une diminution des surfaces occupées par l'agriculture (céréales en particulier), de 33 000 ha en 1958 à 21 000 ha en 2005. L'arboriculture (olivier et agrumes) et le vignoble sont les spéculations qui connaissent une régression importante en surface. Pour l'occupation du sol en 2005, les mêmes dénominations des formations que celles utilisées par Simoneau (1985) ont été retenues afin de permettre une comparaison effective.

Les différences observées entre le Tableau 41 (occupation du sol selon Simoneau (1958) et le Tableau 42 en utilisant une image satellitaire (ASTER) de 2005 basée sur l'interprétation et l'analyse numérique viennent du fait que les travaux de Simoneau reposaient sur des techniques de photo-interprétation. Cette méthode a permis d'identifier des groupements végétaux en prenant en considération uniquement les aspects physiologiques, donc des espèces végétales dominantes. Il est possible de faire un rapprochement entre les groupements végétaux identifiés et évalués par Simoneau (1958) et les formations végétales issues des traitements de l'image satellite ASTER de 2005, avec des validations sur terrain appuyées par des relevés phytoécologiques. Les actions anthropiques (parcours, coupe de bois et défrichage au profit de l'agriculture) sont également à l'origine de la perturbation des groupements végétaux identifiés par Simoneau en 1958 et de la présence de nouveaux groupements végétaux, comme le montre le Tableau 43.

**Tableau 41:** Répartition des classes d'occupation du sol en 1958

Classe	Superficie (ha)	(%)
Vignes	7256	8.9
Agglomérations	130	0.2
Agrumes	3780	4.6
Halipèdes	20970	25.6
Terres occupé par l'agriculture	33310	40.7
Matorral arboré	258	0.3
Faciès à <i>Juncus et Scirpus</i>	3857	4.7
<i>Tamarix africana</i>	1604	2
Cultures maraichers	1722	2.1
Oliviers	1121	1.4
Terres nouvellement mises en culture	2820	3.4
Faciès à <i>Tamarix gallica</i> et <i>Festuca arundinacea</i>	2515	3.1
Ermes	1014	1.2
Faciès à <i>Festuca arundinacea</i>	1444	1.8

Pour clarifier la situation, les classes d'occupation du sol sont regroupées en 10 catégories :

1. cultures annuelles (agriculture, cultures maraîchères, terres nouvellement mises en culture, terres occupées par l'agriculture) ;
2. arboriculture (vergers d'agrumes, agrumes, oliviers, oliveraies) ;
3. vignoble (vignes, vignobles) ;
4. formation à Halophytes (halipèdes, groupement à *Suaeda fruticosa*, groupement à *Salicornia fruticosa*) ;
5. pelouse (pelouse annuelle, pelouse) ;
6. formation à Tamarix (groupement à *Tamarix africana*, faciès à *Tamarix gallica* et *Festuca arundinacea*, faciès à *Festuca arundinacea*) ;
7. formation à *Atriplex halimus* ;
8. groupement à *Juniperus Phoenicea* (erme arborée, groupement à *Juniperus et Retama*) ;
9. groupement à *Juncus* ;
10. espace urbanisé (sol nu, agglomérations).

**Tableau 42:** Répartition des classes d'occupation du sol en 2001

Classe	Superficie (ha)	%
Sol nu	427,7	0.5
Vergers d'agrumes +cultures	1201,0	1.5
Vignobles	618,3	0.8
Agricultures	21510,0	26.3
Groupement à <i>Sueada fruticosa</i>	16760,0	20.5
Groupement à <i>Atriplex halimus</i>	18120,0	22.1
Groupement à <i>Tamarix africana</i>	599,7	0.7
Ermes	3306,0	4
Cultures maraîchères	5996,0	7.3
Oliveraies	760,7	0.9
Groupement à <i>Salicornia fruticosa</i>	12380,0	15.1
Groupement à <i>Juniperus et Retama</i>	193,6	0.2

**Tableau 43:** Comparaison des superficies des différentes catégories d'occupation du sol

Classe	1958	2005	Différences
Cultures annuelles	37 852	27506	-10 346
Arboriculture	4901	1961	-2940
Vignoble	7256	618	-6638
Formation à Halophytes	20 970	29 140	+8170
Pelouse	1014	3306	+2292
Formation à <i>Tamarix</i>	6563	599	-5964
Formation d' <i>Atriplex</i>	0	18 120	+18120
Formation à Genévrier	258	193	-65
Formation à <i>Juncus</i> et <i>Scirpus</i>	3857	0	-3857
Terres urbanisées	130	427	+297

### 3.3.1 Occupation du sol en 1958

L'exploitation des travaux de Simonneau et de la carte de végétation de Bosquet au 1:200 000 établie en 1958 (Fig. 55) permet de donner un aperçu sur la répartition de la végétation de la plaine de la Macta. Les halipèdes (groupements salés) constituent le fond de la végétation colonisant les sols halophiles. Dans les parties basses sujettes à une immersion temporaire dominant les *Salicornia fruticosa*, *Inula crithmoides*, *Juncus maritimus*, *Juncus acutus*, *Juncus subulatus*, *Scirpus maritimus*. Le faciès à *Juncus et Scirpus* s'étend sur une grande étendue dans la région des marais de la Macta. *Scirpus maritimus*, il y occupe les cuvettes submergées toute l'année, alors que les

joncs se développent sur les argiles limoneuses, surtout au nord-est, dans la région localisée dans les marais avec le faciès à *Festuca arundinacea*.

Dans la partie centrale, la végétation est composée par *Suaeda fruticosa*, qui occupe des grandes surfaces localisées sur les sols argileux salés en contact avec les périmètres irrigués de Sig et Mohammadia. L'*Atriplex halimus* est très abondant dans cette zone, mais ne constitue pas l'espèce dominante.

Le faciès à *Tamarix africana* occupe les zones d'épandages de l'oued Sig et Habra ; il est accompagné par *Atriplex halimus*, *Salsola oppositifolia* et *Salsola kali*. Le faciès à *Tamarix gallica* est très répandu dans cette région, surtout dans les zones d'épandage de l'oued Habra, avec le faciès à *Festuca arundinacea*.

### 3.3.2 Etat actuel d'occupation du sol

La carte de végétation (Fig. 50), réalisée à partir des images satellitaires (ASTER) de 2005, montre que le groupement à *Salicornia fruticosa* colonise la majorité des zones humides au même titre que *Juncus* et *Scirpus*, localisées entre Sbara et Mers El Hadjaj. Il y a lieu de noter l'absence du groupement à *Inula crithmoides*, alors que celui de *Salicornia* s'étend sur des surfaces importantes situées au sud des buttes argileuses de Sbara et dans les zones d'épandages de l'oued Habra, de Sig et de l'oued Tinn, où le groupement à *Suaeda fruticosa* cède du terrain progressivement. Le groupement à *Tamarix gallica* et *Festuca arundinacea* est remplacé par le Phragmite communis dans les lignes d'écoulement des oueds, et par le groupement à *Suaeda fruticosa* dans les zones d'épandage, avec un cortège composé essentiellement d'*Atriplex halimus*, *Salsola oppositifolia* et *Salsola kali*. Le groupement à *Tamarix africana* cède la place au groupement à *Suaeda fruticosa*, mais occupe totalement les lignes d'écoulement des oueds Sig et Habra et se distingue par une formation dense et broussailleuse. Les terrains situés dans la plaine de Sig et de Habra sont colonisés par le groupement à *Atriplex halimus* et à *Suaeda fruticosa* ; ils s'étendent même sur les surfaces agricoles abandonnées limitrophes.

Le peuplement de *Typha angustifolia* évolue sur des stations humides situées dans le lit de l'oued Tinn, sur des superficies réduites. Les terrains localisés dans les bordures ouest et nord-est sont colonisés par des pelouses d'annuelles, composées essentiellement par les thérophytes et d'autres espèces, telles que *Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis*, *Ampelodesma mauritanicum*, *Urginea maritima* et *Asphodelus microcarpus*. Sur les dunes littorales sableuses, le *Juniperus phoenicea* et *Juniperus oxycedrus* dominent, avec un cortège floristique composé par *Retama retam*, *Retama monosperma*, *Pistacia lentiscus* et quelques espèces de thérophytes.

#### 4. La dynamique de végétation et les facteurs du milieu

Au cours du dernier siècle, la végétation de la plaine de la Macta a beaucoup évolué ; certains documents exploités et datant des années 1940 soulignent que la végétation des années 1950 était beaucoup plus dense qu'aujourd'hui, la biodiversité était bien plus importante. La dynamique de la végétation de cette zone est liée essentiellement aux facteurs naturels et anthropiques.

##### 4.1 Les facteurs naturels

Dans la plaine de la Macta la répartition et la dynamique de la végétation sont largement conditionnées par l'eau, l'alluvionnement et les submersions en plus des pressions humaines et du climat.

Au cours des années pluvieuses, les dépressions sont constituées des sites d'accumulations des alluvionnements et des sels ramenés par l'eau, la végétation peut être constituée par les groupements à *Scirpus maritimus*, *Juncus maritimus*, *Juncus acutus*, *Juncus subulatus* qui sera dominant dans les régions de submersion de longue durée, ensuite les groupements à *Salicornia fruticosa* s'installent dans les régions subites un submersion de courte durée, l'installation de la végétation mésophiles et xérophiles est restée faible. Les groupements hydrophiles à *Tamarix africana* et à phragmite communs sont colonisés très vite les cours d'eau.

Par contre, au cours des années sèches, l'humidité du sol est diminuée, les sels se concentrent en surface dans les dépressions et dans les zones d'épandages, les groupements de *Scirpus* et *Juncus* sont cèdent le terrain au groupement à *Salicornia fruticosa*, les groupements à *Suaeda fruticosa* et *Atriplex halimus* se développent sur les terrains secs.

##### 4.2 Les facteurs anthropiques

Depuis la période coloniale les agriculteurs européens, les services publiques de l'hydraulique et de l'assainissement ont tenté de tirer partie de ces steppes salées en intensifiant par les techniques agricoles et hydro-agricoles. Une multitude d'actions continuent à façonner et modifier progressivement la répartition de la végétation dans cette zone. Le drainage a entraîné le lessivage des parties fines et des sels minéraux stérilisant les sols. Dans les terrains drainés, la végétation est dominée par les groupements à *Suaeda fruticosa*, *Atriplex halimus* et par les graminées.

Le surpâturage apparaît comme l'un des facteurs de régression les plus importants de la végétation, le prélèvement intense de la biomasse et le tassement du sol par le cheptel augmentent les surfaces dépourvues de végétation.

La canalisation en profondeur des oueds a réduit les surfaces d'épandage, les phénomènes de morpho-dynamique (alluvionnement, submersion) sont transférés ailleurs dans la partie Nord

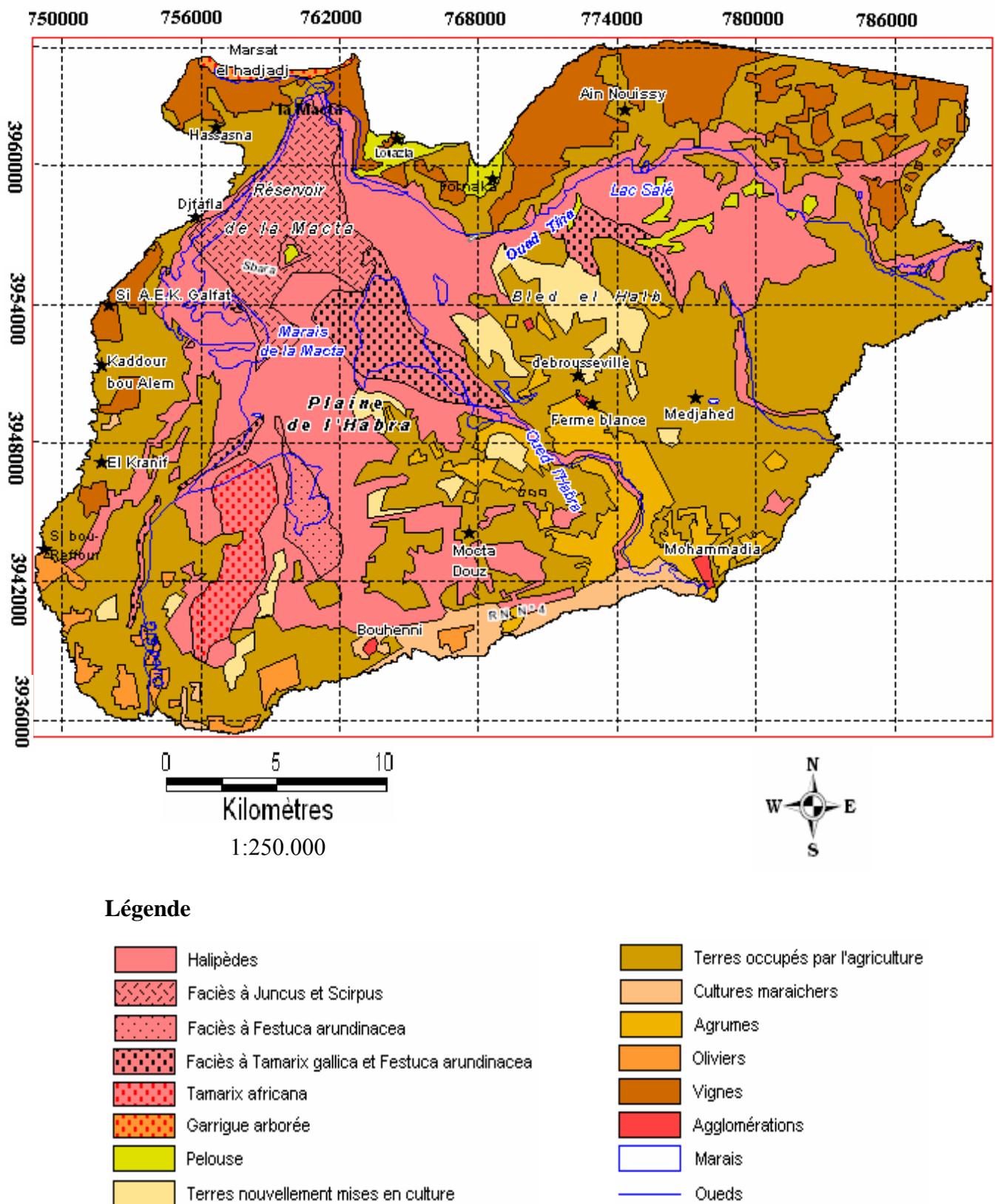
(embouchure), les groupements à *Salicornia*, *Scirpus*, *Juncus* qui occupaient les zones d'épandages ont régressé et sont remplacés par les groupements à *Suaeda fruticosa* et *Atriplex halimus*.

L'occupation des sols de la plaine de la Macta reste conditionnée par plusieurs facteurs tant physiques qu'anthropiques où se distinguent selon l'acuité de leur impact :

- les fluctuations climatiques et surtout de la tranche pluviométrique agissant directement sur le volume en eau et l'humidité des sols
- les pratiques de défrichement pour étendre les lopins de terres agricoles pour une utilisation céréalière
- le captage des oueds en amont tarissant l'apport d'eau aux marais est une autre contrainte significative
- la sur-charge pastorale sur plus de 8 mois se traduit par une dégradation des groupements herbacés

L'avenir des groupements végétaux reste assez incertain au regard de la dynamique régressive observée et évaluée avec une dominance des formations perturbées et fragilisées pouvant évoluer rapidement vers des matorrals ouverts, bas pouvant être qualifiés d'ermes, stade ultime avant le sol nu.

Les sols nus prennent de l'ampleur et sont menacés fortement par le processus de salinité qui agit directement sur les plantes pérennes et encourage les espèces halophytes.



**Figure 56:** Carte des groupements végétaux de la plaine de la Macta en 1958

## Conclusion

Ce travail de recherche et d'évaluation soutenu par des outils encore nouveaux pour notre pays dans trois zones assez représentatives des régions de l'Algérie (plaines et zones humides) a permis de déterminer et discriminer par télédétection, les groupements végétaux dans la plaine de la Macta.

Les images satellitaires ASTER utilisées ont permis de réaliser une cartographie de l'occupation du sol à l'échelle du 1:200 000 sur des territoires de 80 000 ha, cette échelle reste un niveau de perception très appréciable en matière d'aménagement du territoire et de politique de mise en valeur.

La méthode utilisée repose essentiellement sur des traitements numériques effectués avec beaucoup de précisions sur cette zone soutenue par la vérité terrain. Les doutes et les confusions au niveau de la discrimination et de l'identification des formations végétale et des classes d'occupation du sol sont moins évidents, grâce aux fiabilités des méthodes de traitements utilisés.

Une étude diachronique basée sur des comparaisons numériques pixel à pixel d'images satellites LANDSAT et une comparaison entre deux cartes de végétation une carte de végétation réalisée dans se travail et la carte de végétation Bosquet réalisée en 1958.

Un cas concret où plusieurs méthodes de détection de changements applicables aux images satellitaires en vue du suivi écologique ont été appliquées ont permis d'avoir des résultats très acceptables. L'analyse de données multi-dates suppose l'utilisation d'images nécessitant des corrections de types radiométriques et géométriques de chaque image.

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 où dominant des espèces adaptées aux conditions du milieu et à son mode d'exploitation.

L'étude diachronique à travers la cartographie des changements constitue 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 les groupements végétaux (Sitayeb, 2006).

Les supports (photographies aériennes, images satellitaires...) anciens et récents, combinés aux outils du système d'information géographique (SIG), 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 anthropozoogène et les fluctuations climatiques.

## Chapitre 06: Proposition d'actions d'aménagement

La zone de la Macta est aujourd'hui menacée par la dégradation ; face à ce phénomène, et suite aux régressions enregistrées par le milieu, les autorités se doivent de réagir. Comment ?

En repensant les modes d'exploitation afin qu'ils permettent de satisfaire les besoins des populations tout en préservant la richesse naturelle du milieu.

Par le biais de cette quatrième partie, des mesures autorisant une utilisation durable des ressources naturelles sera proposée et devrait constituer un outil d'aide à la décision.

La démarche recommandée s'appuie sur 7 fondements qui sont :

1. raisonner à des échelles pertinentes englobant l'ensemble de la zone
2. la durabilité devrait constituer un souci majeur de toute réflexion
3. les actions envisagées devront porter sur le long terme
4. la notion de préservation dans un premier temps doit primer sur toute autre action
5. elle sera suivie de la mise en place de mesures de restauration
6. les mesures de gestion préventive s'avèrent plus efficaces et moins coûteuses
7. la mise en place d'un plan de gestion basé sur la participation de la population

### 1. Les objectifs à atteindre

Ils sont au nombre de 3 :

- Avant toute proposition de gestion, il est nécessaire de définir des objectifs à atteindre soumis aux facteurs déterminants que sont dans un ordre d'importance la gestion conservatrice de l'eau et des sols, de la végétation et de la faune
- La deuxième action traitera d'un état des lieux très détaillé pour identifier des zones homéo-écologiques permettant la concrétisation d'opérations de repeuplement et de plantation pour améliorer les biotopes selon leurs potentialités.
- La troisième action sera axée sur l'identification des acteurs chargés de la gestion de cet espace à travers un cahier des charges préalablement établi et découlant du concept de développement durable

### 2- Identification des actions à entreprendre

Cette option repose sur 4 opérations de base :

- **Cartographie de l'occupation actuelle de l'occupation du sol** : c'est une opération qui doit forcément découler de l'état des lieux, passage obligé pour faire un diagnostic phytoécologique. L'occupation des sols et sa cartographie renseignera sur l'état de la couverture végétale et

surtout sur les différents écosystèmes et leur potentialités. Des zones homo-écologiques seront identifiées et constitueront des entités de gestion selon leurs biotopes.

- **Gestion durable et rationnelle de la ressource hydrique :** L'eau constitue l'élément fondamental de la zone humide de la Macta ; c'est sa présence permanente qui caractérise cet espace support d'un écosystème riche et diversifié. Sous l'effet des différentes actions de mise en valeur, il en découla une désorganisation du réseau hydrographique et son détournement de son lit habituel. La construction de barrages à l'amont, l'endiguement et le raccordement des oueds entre eux dans la partie basse de la plaine ont agit sur la diminution du volume d'eau vers la zone humide. D'un écoulement diffus, le réseau hydrographique s'est orienté vers un écoulement linéaire et canalisé. Ce constat confirmant les impacts négatifs sur la zone humide impose une totale maîtrise de la ressource hydrique à travers une alimentation de cette zone. Il est certain qu'il est impossible d'agir sur les précipitations, cependant il est possible d'agir sur le cycle superficiel de l'eau en orientant son écoulement vers la zone humide par le biais de travaux d'endiguement et de bourrelet. L'objectif principal étant d'atteindre une gestion rationnelle, intégrée et concertée des eaux de surface et des eaux souterraines pour permettre un accès équilibré à l'eau disponible à tous les espaces. La maîtrise quantitative et spatiale de cette ressource constitue un élément clé pour sa gestion équilibrée et durable. Une étude hydrologique sur l'ensemble du bassin versant et la localisation précise des communautés vivantes soutenues par une étude d'impact sur l'environnement sont plus que nécessaires. A terme, le but serait d'améliorer le régime des oueds, de prévenir les phénomènes de crues naturelles des plaines d'inondation et de permettre un bon remplissage de la cuvette. L'objectif est également de préserver une végétation fragilisée par les répartitions spatio-temporelles des pluies mais aussi par la concurrence de l'homme pour utiliser ces ressources.
- **Elaboration d'un plan de gestion :** une fois le problème de la disponibilité en eau réglée, un plan de charge pourrait être élaboré. Cet espace au regard de sa localisation géographique est menacé par les inondations et par un long processus de comblement en plus de la sécheresse et des activités agricoles. Il faut également prendre en considération les autres paramètres biologiques et physico-chimiques la tâche semble impossible à défaut de textes réglementaires et de référentiel en matière de normes (flore, faune et caractéristiques physico-chimiques). Dans un premier temps il est nécessaire de préserver le milieu abiotique par des actions de protection et de sauvegarde d'abord puis des opérations de réhabilitation. Dans une seconde phase c'est les principaux groupements végétaux permanents qui peuplent ces zones humides qui doivent retenir l'attention par la mise en place d'une stratégie de protection et de pérennisation. Le plan

de gestion doit prendre en charge les aspects organisationnels dans un premier temps pour la mise en place d'une structure chargée de gestion de cette zone. Une élaboration d'un cahier de charges précisant toutes les modalités d'intervention sur cette zone. Les principales caractéristiques des zones humides doivent être clairement énoncées surtout que ces zones ne connaissent pas des frontières nettes. Un Schéma Directeur d'Aménagement et de gestion de la Zone humide doit constituer un repère de procédures de gestion techniques et administratives. Un programme d'action doit constituer la charte de référence en matière de gestion de cette entité fragilisée. Il doit permettre d'inventorier toutes les actions à entreprendre dans le temps et dans l'espace sur une durée d'au moins 25 ans pour conforter les aspects physiques et biologiques.

- **Actions à entreprendre :**

- **La restauration du couvert végétal adapté :** Ces dernières décennies, le couvert végétal s'est fortement dégradé dans cette zone. Pour inverser cette tendance, il est impératif de mettre en place des mesures concrètes et efficaces. Cette perte de la richesse végétale est due au processus de dégradation induit par les activités humaines surtout à partir des années soixante-dix, comme le montrent les cartes élaborées. Devant l'impossibilité d'agir sur le climat il existe des moyens pour modifier les principaux facteurs anthropiques, à savoir le déboisement et le surpâturage. Pour stopper dans un premier temps cette pression dégradante, il urge d'interdire ces espaces aux nomades avec leurs troupeaux pendant au moins 5 ans puis réglementer le parcours selon une charge pastorale d'équilibre. Il ne s'agit nullement d'interdire l'élevage, mais nous avons montré que la charge en bétail était bien trop importante sur un milieu fragilisé comme celui de cette zone. Il est donc primordial de réduire ce déséquilibre entre la capacité d'accueil du milieu naturel et l'exploitation qui en est faite. Pour pallier aux dommages déjà enregistrés par la végétation, des solutions curatives doivent également être entreprises. Toutes les terres dans la Macta n'ont pas été touchées avec la même intensité puisqu'on observe la perte de ligneux autour des zones d'épandages des oueds et la dénudation complète de certaines dunes, chaque type de dégradation doit donc bénéficier de mesures adaptées. Il est important de définir quel type de mesures il serait souhaitable d'appliquer aux différentes modifications connues par le couvert végétal.

- **La partie Nord de la Macta**, assez peu touchée par la dégradation, ne semble pas nécessiter d'initiative particulière dans l'immédiat. La partie Sud, par contre, a vu sa couverture ligneuse se réduire sous les coupes abusives de l'homme. La réintroduction de ligneux pourrait donc être envisagée dans cette zone.

- **Le cordon dunaire**, au Nord, est connu une très forte altération de leur couverture végétale. A certains endroits, le sol s'est même, il y a quelques années, retrouvé totalement dénudé. Si la

reprise récente de graminées permet aujourd'hui d'espérer. Il est donc important d'agir, face à cette situation inquiétante, grâce à un programme de régénération de la végétation. En effet, les dunes font partie des pâturages d'hivernage dont nous venons d'exposer les risques en termes d'irréversibilité. Ce type de sol est habituellement recouvert d'une strate herbacée et ligneuse. Il serait donc intéressant de réintroduire des espèces aussi bien arbustives que graminéenne.

○ **Les berges des oueds** ont été largement défrichées pour la mise en culture. Des campements se sont implantés. La pression humaine n'a donc cessé de s'accroître, dégradant alors la végétation existante. Dans cette zone, la mise en place de mesures efficaces est urgente. La protection de certains espaces, serait également une mesure à prendre pour limiter le surpâturage qui détruit chaque année la végétation.

○ **La réhabilitation des sols** : Le sol est un composant fondamental de tout écosystème, il est indispensable pour le développement des communautés végétales en fournissant les éléments nutritifs utiles à la croissance des plantes et constitue le réceptacle et le réservoir d'une ressource hydrique importante à leur survie. Il représente également une ressource première pour les activités humaines. Les sols halomorphes de cette zone subissent à la fois une influence marine et continentale. Les caractéristiques originales de la pédogenèse sont beaucoup plus l'évolution et les transformations des sels hérités de la mer que des sels hérités de l'altération des formations géologiques continentales. Leur évolution est fortement soumise à l'action du climat et à l'action des facteurs liés à l'activité humaine. Les structures dégradées s'observent dans les sols situés au Nord de la plaine, elles limitent la mobilité des sels dans le cas des sols situés dans des conditions topographiques et géomorphologiques qui leur permettent de réceptionner et de stocker les sels ramenés par les eaux de surface, soit par les eaux de percolation, soit par la remontée capillaire. Les structures non dégradées s'observent dans la partie Sud, la perméabilité est relativement plus importante. Elle assure une certaine mobilité verticale de l'eau et des sels, le stockage des sels en surface est temporaire. (Tafer, 1993). La diminution du couvert végétal, la pression anthropique ont ainsi favorisé les phénomènes de dégradation des éléments superficiels du sol, tel que les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes naturelles ou cultivées. Face à ce problème, il est nécessaire de mettre en place des actions visant à réhabiliter les sols, à savoir rétablir l'état initial des sols dégradés. Il s'agit donc d'utiliser des techniques favorisant l'élimination des sels par drainage et l'amélioration du taux de matière organique par enfouissement des plantes herbacées. D'où la nécessité d'introduire des espèces herbacées et arbustives à forte production de biomasse et améliorantes.

○ **La sauvegarde et le développement de la richesse faunistique** : La zone humide de la Macta constitue un milieu privilégié pour la faune, du fait de conditions hydriques et floristiques

avantageuses par rapport au reste de la région. Il représente également un des tous premiers sites de repos et de nidification pour de nombreux oiseaux migrateurs qui y vivent en permanence ou temporairement. Cette avifaune est intimement liée à la végétation comme le genre *Juncus*, *Phragmitis* et *Tamarix*. Malheureusement, les effets de la sécheresse et la pression anthropique ont provoqué une migration de nombreuses espèces vers d'autre endroit, du fait d'une transformation de leur habitat naturel. Aussi, la zone s'est fortement appauvrie tant au niveau de la diversité faunistique qu'au niveau des effectifs. Cette perte de la richesse animale est préjudiciable au milieu qui, pour préserver ces particularités, doit conserver toutes ses composantes. La présence de nombreux oiseaux dans la zone est le signe d'une richesse écologique qu'il est primordial de sauvegarder, aussi bien pour les populations ornithologiques que pour les populations humaines. Préserver ces oiseaux doit être un objectif à mettre en place même s'il est souvent accompagné de mesures de protection assez strictes du milieu. Il convient donc d'avoir dans un premier temps pour objectif de garantir la sauvegarde des espèces animales présentes en permanence ou périodiquement sur la zone. Il faut pour cela, et les mesures envisagées pour la végétation y participeront, améliorer et pérenniser les différents habitats et niches écologiques présents dans et autour de la zone humide. Cette phase n'est cependant possible qu'au terme d'une sensibilisation et d'une prise de conscience des populations locales. Parmi les nombreuses espèces aujourd'hui disparues, il est possible d'entreprendre leur réintroduction après la préparation de leur biotope.

### **3- Actions urgentes pour la durabilité de l'écosystème**

Toutes les mesures environnementales qui sont susceptibles d'être réalisées doivent en priorité tenir compte des potentialités du milieu et de la pression qu'exercent les activités humaines limitrophes. Il ne s'agit en effet pas de réintroduire n'importe quelle espèce sur n'importe quel site. Les actions mises en place seront bien mieux acceptées et suivies si elles contribuent à améliorer le niveau de vie des populations. Il faut donc avant tout reconstituer une végétation qui puisse être utilisée par les hommes. Il est dans cette optique particulièrement important de se poser la question de l'origine des espèces à favoriser (plantes autochtones ou allochtones), ainsi que des techniques à mettre en place. Il est pratiquement impossible d'agir actuellement sur la zone humide de la Macta. La pression anthropique exercée par l'élevage et l'agriculture est trop forte pour le moment. Les populations ne sont pas prêtes à concéder une partie de cette espace vital à des modes de protection exogènes. Seules les terres marginaux non utilisés pourraient peut être faire l'objet d'une politique de régénération de la végétation.

Parmi les premières actions urgentes pouvant être entreprises il y a lieu de noter :

- **Sur les dunes littorales** : Dans la partie Nord sur dunes, la réintroduction d'espèces ligneuses pourrait être mise en place. Cet espace était en effet colonisé par les arbres (thuya, genévrier).

La plantation d'espèces ligneuses sur les dunes permettrait de fixer les sols. L'*Acacia tortilis* (ou *raddiana*) serait bien adapté à ce contexte. Cet arbre résiste très bien à la sécheresse, à la chaleur mais également (Le Drezen, 2001). Les feuilles de cette espèce pourraient d'ailleurs fournir aux chèvres et aux moutons de l'élevage local une alimentation très appréciée pendant la saison sèche. Une exploitation raisonnable de son bois serait même envisageable si le projet réussit. Une espèce autochtone telle que le *Retama retam* pourrait également être développée dans cet espace. Cette espèce est utilisée dans la fixation des dunes grâce à leur système racinaire. Ce ligneux constitue une des meilleures espèces fourragères. Une fois la terre préparée, il suffirait ensuite de répandre, pendant l'hivernage, des graines ou des plants issus de pépinières. Ces zones devront toutefois être protégées du piétinement et du broutage durant au moins trois ans, le temps que la végétation se développe. Elles pourront alors être ouvertes au pâturage et à une exploitation raisonnée.

- **Le long des oueds Sig et Habra** : Avant d'entrer dans la dépression de la Macta, l'oued traverse une zone aménagée par les activités humaines. Des champs sont cultivés sur ses rives et les troupeaux viennent brouter la végétation qui s'y développe suite à l'hivernage. La ripisylve qui recouvrait ces terres a entièrement disparu sous l'action de l'homme et de la sécheresse. Pour compenser cette considérable dégradation végétale, deux espèces ligneuses peuvent être proposées. Dans les parties non cultivées et proches de l'oued, le développement de *Tamarix africana* est envisageable. Cet arbre supporte très bien l'inondation et s'avère être très efficace contre la dégradation des sols salins rendus infertiles par le surpâturage. Dans les zones d'épandage des oueds la reconstitution des forêts de *Tamarix gallica*. Il faut néanmoins bien comprendre que toutes ces propositions seront inefficaces si la pression humaine sur le milieu ne diminue pas. Il est donc temps de réfléchir à une exploitation raisonnée et rationnelle des ressources naturelles dans cette zone.

### **Conclusion**

Les mesures que nous venons de proposer pour améliorer la gestion des ressources naturelles de la plaine de la Macta ne sont pas exhaustives. Il ne s'agit que d'axes de réflexion qui pourront ou non être repris par les développeurs de projet et les acteurs locaux. Actuellement, la Macta souffre de l'absence de gestion raisonnée, et les organismes publics comme privés semblent avoir délaissé cet espace. Aucune mesure concrète n'a à ce jour été réalisée et le milieu continue à se fragiliser.

## Chapitre 07: Dynamique de l'espace Urbain

### Introduction

Les villes algériennes connaissent une forte croissance démographique et une urbanisation rapide. Cette croissance urbaine est le résultat de l'accroissement démographique et à une migration de la population rurale. Tous les indicateurs en matière d'urbanisation soulignent sa concentration sur le Tell et le littoral en particulier avec toutes les conséquences environnementales qui en découlent.

L'espace littoral en Algérie dispose de grandes potentialités en eau et terres agricoles (37 % du potentiel national), forestières (32 % de la superficie du littoral), halieutiques, minières et touristiques, et enfin espaces d'intérêt écologique (parcs nationaux). Le rythme accéléré de la croissance urbaine durant les dernières décennies a fortement marqué la configuration et le fonctionnement des réseaux urbains régionaux et de l'armature urbaine nationale.

Les différents recensements confirment la baisse de la population rurale : 68,6% en 1966, 60 % en 1977, 50,3 % en 1987. Les estimations de l'Office National des Statistiques l'évalue à 39,2% en 2004 et à 37% en 2005, soit 12 millions d'habitants. Les flux migratoires qui se maintiennent sont moins déséquilibrés. Ils continuent de s'orienter vers les zones littorales et/ou autour de certains pôles urbains fortement attractifs au plan industriel et commercial (Bessaoud, 2006)

Depuis l'indépendance du pays en 1962, le processus d'urbanisation a été problématique, l'urbanisme par ses moyens d'élaboration et d'action n'a pas pu agir sur les systèmes urbains de manière à préserver et développer des formes urbaines cohérentes. Au point où toutes les villes ont connu une extension incroyable, faite essentiellement sur les terres agricoles.

En 2009 Benabdeli soulignait à ce sujet : « l'espace urbain en Algérie est un espace assez singulier puisqu'il génère le plus de pollution et de nuisance mais reste incontournable. Plus de 80% de la population algérienne vit dans les villes en 2008 alors que le taux n'était que de 58% en 1998. Plus de 2.500 ha sont retirés en moyenne annuellement par l'urbanisation à la surface agricole. Environ 130.000 personnes du monde rural rejoignent annuellement les villes et sont à la recherche d'un toit. Les déchets solides domestiques évalués annuellement à 5 millions de tonnes sont mal collectés et déposés à même le sol avec toutes les conséquences qui en découlent. L'espace urbain reste un élément indissociable de l'espace industriel où les activités génèrent annuellement plus de 325 000 tonnes dont 185 000 tonnes sont très dangereux. A ce chiffre alarmant s'ajoute un stock de plus de 2 millions de tonnes de déchets industriels en attente d'une politique d'élimination. Les rejets d'effluents industriels estimés à 100 000 mètre cube ». En 1997, le même auteur note que l'urbanisation transforme plus de 2400 ha par an de terres agricoles en espace urbanisé.

La ville d'Oran et la ville de Tlemcen, constituent l'espace urbain le plus peuplé de la région ouest et sont retenues pour une évaluation de leur impact sur l'espace. Elles ont connu, depuis les trois dernières décennies, d'importantes transformations spatiales et territoriales : croissance de l'étalement urbain de la ville, transformation des structures territoriales avec l'apparition de pôles urbains secondaires, installation des activités industrielles, etc.

Ces transformations spatiales et territoriales se caractérisent, en termes démographiques, par des phénomènes de relocalisation internes de populations moteurs des dynamiques d'urbanisation et un exode rural intense vers les villes. Elles se traduisent spatialement par les étalements urbains autour des villes qui peuvent être reconnus et caractérisés par télédétection spatiale. L'analyse de ces mutations spatiales et territoriales, consécutives du processus de métropolisation en cours, s'est faite avec la construction d'un modèle morphodynamique de l'évolution des structures spatiales et de l'identification des changements des types de bâtis entre 1960 et 2009.

L'urbanisation proposée et réalisée depuis l'indépendance à nos jours s'est caractérisée par l'urgence se traduisant par une extension au détriment d'espaces naturels et agricoles sans aucune planification à long terme. De ce fait, l'urbanisme mis en oeuvre à travers une multitude d'instruments Plan de Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU), les Plans d'Occupation des Sols (POS), les Plan d'Aménagement de Wilaya (PAW) et récemment les Schémas de Cohérence Urbaine (SCU), tous, théoriquement visaient essentiellement la programmation, la quantification des besoins et leur localisation spatiale en terme de disponibilités foncières de revues urbanisables et non soumises à des contraintes majeurs (usage agricole, servitudes, géotechnie ou forme juridique de propriété). De grands programmes ont été ainsi réalisés et dans la plupart des cas ont multiplié sensiblement la taille des agglomérations et le nombre de villes qui étaient à l'origine de simples agglomérations rurales.

La croissance urbaine, plutôt spatiale, d'une part n'a pas été porteuse de projets urbains orientés vers des objectifs de développement mais à d'avantage généré des dysfonctionnements importants au sein des villes et des congestions très sensibles, sources de problèmes plutôt que solutions urbaines.

### **1. Démarche méthodologique**

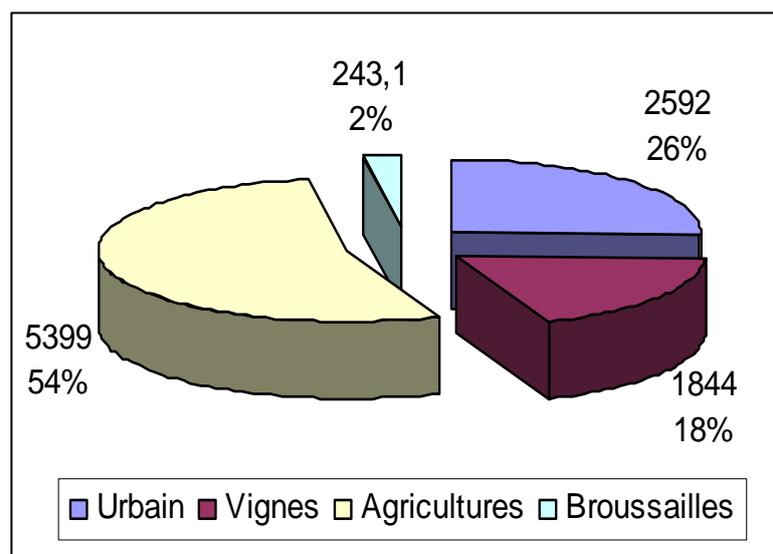
Comme pour les autres espaces, l'évaluation de la dynamique de l'espace urbain a été appréhendée avec l'utilisation des images de satellite Spot 5 de l'année 2009 et les cartes topographiques d'état major à une échelle 1/50000 de 1960. La combinaison entre deux couches numériques permet de mesurer les transformations territoriales et l'extension urbaine de deux agglomérations régionales que sont les villes d'Oran et de Tlemcen.

L'analyse des transformations spatiales et territoriales de ces agglomérations entre 1960 et 2009, s'est faite par analyse diachronique en comparant les modèles de structurations de l'espace géographique et l'évolution du bâti à partir de comparaison d'images satellites Spot 5 et cartes topographiques. Elle permet, à partir de ces deux niveaux d'analyse géographique distincts, celui des changements de structuration de l'espace urbain à l'échelle locale, de cartographier l'étalement urbain, les types d'habitats et de bâtis, de représenter l'organisation du territoire. L'emploi de ces deux modèles de représentation de l'espace géographique permet, à partir de la représentation du territoire, de mettre en évidence les formes de l'organisation spatiale, les zones urbaines secondaires et les limites de l'espace urbain. A partir de l'identification des types de bâtis, est cartographiée l'étendue de l'urbanisation, c'est-à-dire du peuplement et de sa répartition spatiale, tout comme les fonctions dominantes d'occupation du sol (zones d'habitats, zones industrielles, etc.).

## 2. L'évolution de l'espace urbain

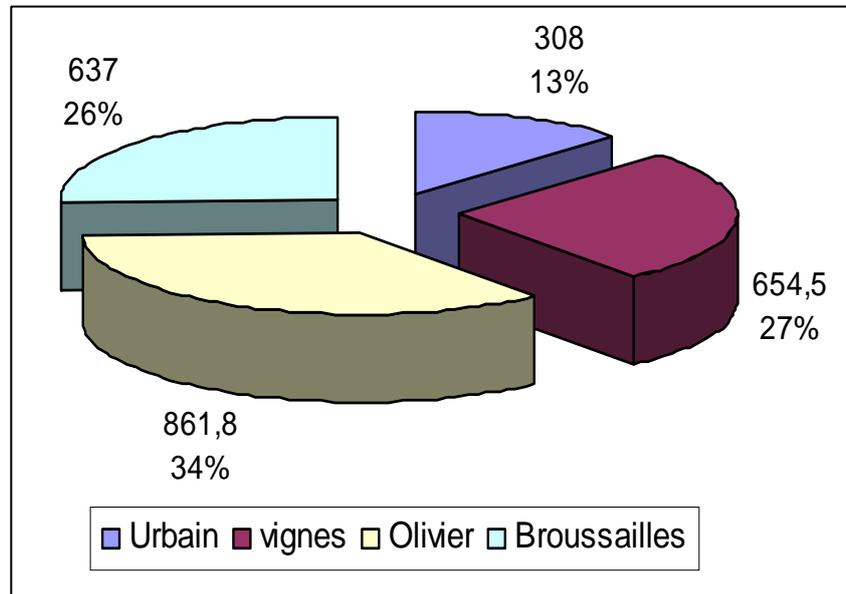
Les analyses spatiales effectuées à partir des images de télédétections et de cartes topographiques sur les bâtis permettent également, à travers les structures et les types d'habitats reconnus, de mesurer l'évolution de la surface urbanisée et d'identifier les différentes classes converties en classe bâti (fig. 57 et 58).

La dynamique des différents espaces dans la zone de la métropole Oran est récapitulée dans le graphe qui suit. Il renseigne sur le taux de reconversion des différents espaces (agricole, forestier et vignoble) en espace urbain.



**Figure 57:** Superficies des classes convertit en urbain de l'agglomération d'Oran

L'agglomération de Tlemcen connaît également le même schéma dynamique que celui d'Oran avec une transformation des espaces agricoles, forestier et du vignoble en espace totalement urbanisé comme le montre le graphe suivant :



**Figure 58:** Superficies des classes converties en urbain de l'agglomération de Tlemcen

L'urbanisation anarchique, la carence de la gestion urbaine et la non prise en charge des problèmes environnementaux, sont à l'origine des graves atteintes à l'environnement que connaît le pays et d'une manière générale, de la dégradation des ressources naturelles.

Plusieurs milliers d'hectares des meilleures terres agricoles du Nord du pays ont été sacrifiés au profit du développement urbain : nette régression de la SAU ; 0,80 ha/hab en 1962, 0,32ha/hab en 1991 et vraisemblablement 0,13 ha/hab en 2005.

Les espaces urbaine ont connue une augmentation remarquable depuis les années 1970, la superficie da la ville d'Oran actuelle et 10210 ha contre 2592 en 1960, sa superficie a donc multiplié en quatre fois, elle connue des extensions importante surtout vers les zones agricoles dont 7243 ha de terres agricoles et 243 ha d'espace forestier ont été transformé en bâti (fig 59).

La ville de Tlemcen a connue aussi des extensions importantes, sa superficie a multiplié en huit fois, de 308 ha en 1960 à 2461ha en 2009, donc l'espace urbain a consommé 1516 ha de terres agricoles et 637 ha de terres forestier (fig. 60).

Cette situation peut être généralisée à l'ensemble des chefs lieux de wilaya et de daïra, elle se traduit en Algérie par une déperdition de terres agricoles estimée à 70 000 ha entre 1974 et 1987. L'ensemble des terres consommées par l'urbanisation depuis l'indépendance est très important ; le même phénomène a affecté près de 78.000 ha durant la période entre 1988-1996 (ONS, 1996).

La pression sur les terres agricoles vient amplifier celle déjà enregistrée autour des zones urbaines. Aussi, est-il urgent d'arrêter la fragilisation des villages et des centres ruraux par l'expansion, peu réfléchie, de l'habitat péri-urbain; mouvement qui, au lieu d'impulser et de stimuler un développement de la vie rurale, a renforcé les dualités zones rurales- zones urbaines.

### **3. La dynamique urbaine depuis l'indépendance**

A l'indépendance, le départ massif des Européens a attiré vers les villes une très forte engendrant un accroissement remarquable du taux d'urbanisation; qui s'est élevé à près de 32% en 1966, taux qui n'aurait dû être atteint qu'en 1986 selon la tendance antérieure.

Cette situation a eu pour conséquences, surtout dans le cas des grands centres, des dégradations des habitations classiques.

Les programmes de développement engagés essentiellement dans les zones urbaines ont donné un souffle à l'exode rural, accentué par l'arrêt de l'émigration vers la France à partir de 1973.

Pendant la période intercensitaire 1966-1977, le solde migratoire a été de 2,6% par an : 1,7 million de ruraux sont partis en ville, soit une moyenne de 170 000 personnes par an.

Cette tendance n'a pu être infléchie malgré la politique de création des villages agricoles censés atténuer ces mouvements migratoires par la fixation de la population dans ces centres.

En vingt ans (1966- 1987), la population habitant les grandes villes s'est multipliée par 2,7 (ONS, 1996).

Un rythme pareil de croissance urbaine s'explique non seulement par l'exode, mais aussi par le croît naturel de l'ordre de 3 % par an.

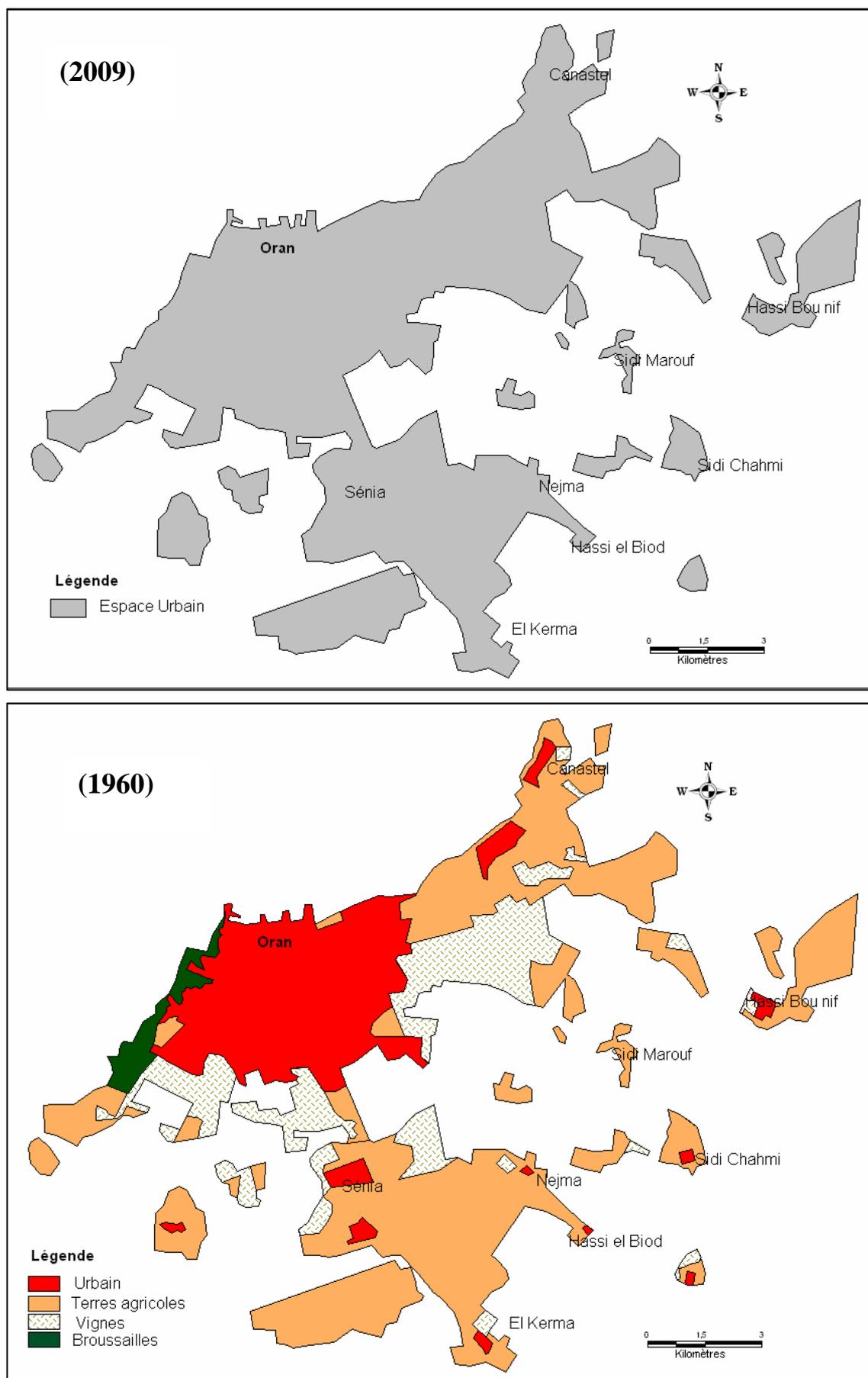
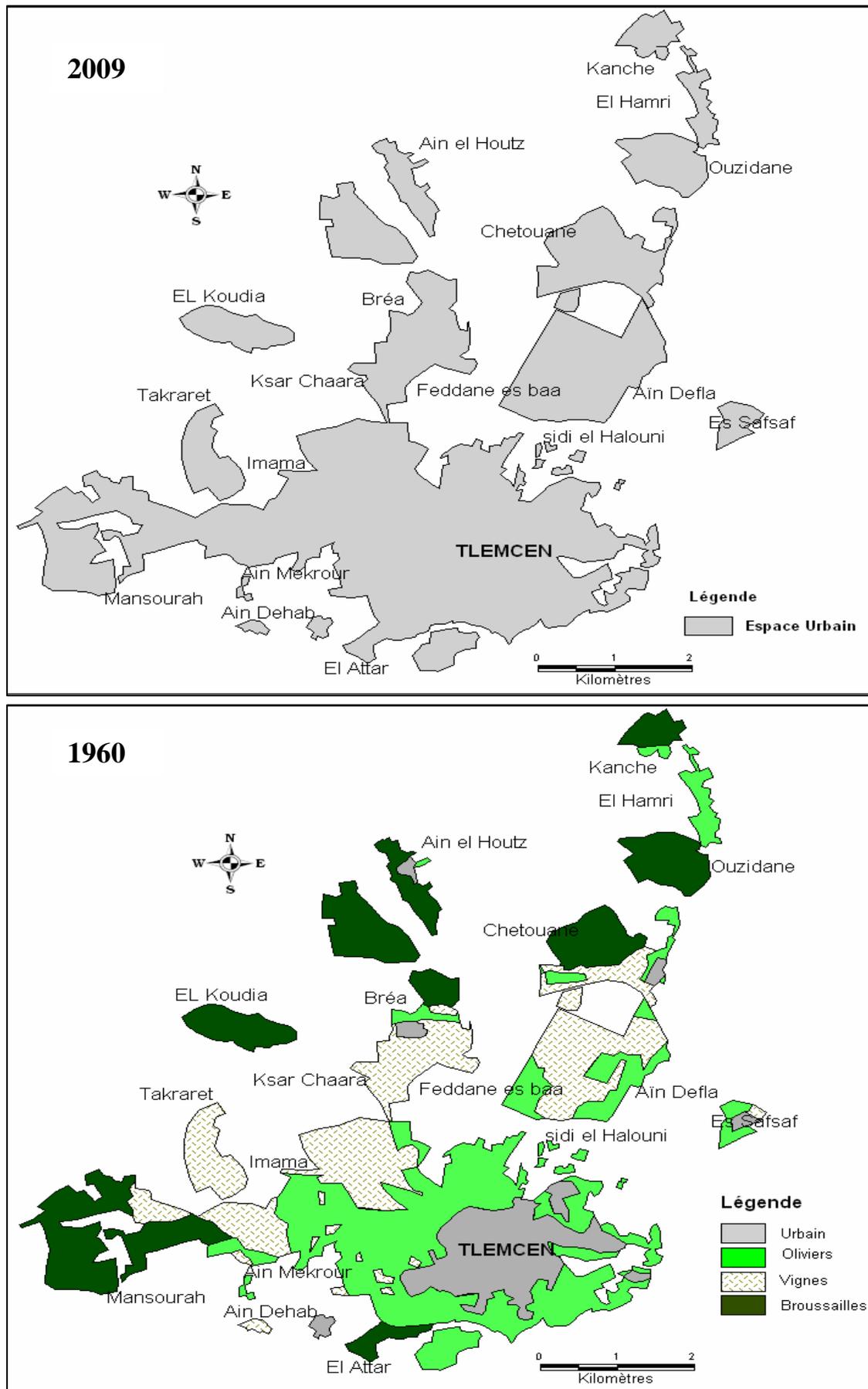


Figure 59: Dynamique de la ville d'Oran entre 1960 et 2009



**Figure 60:** Dynamique de la ville de Tlemcen entre 1960 et 2009

L'extension de l'espace urbain obéit à une logique nationale qui se traduit par une forte évolution de la population urbaine et sa concentration dans les grandes villes. Le tableau (45) illustre, d'une part, l'évolution de la population urbaine entre 1966 et 1997, et d'autre part, l'évolution du taux d'urbanisation de 1886 à 1998.

**Tableau 44:** évolution de la population urbaine entre 1966 et 1997

ANNEE	Population urbaine	Population rurale	Population totale	%Population urbaine
1966	3.778.482	8.243.518	12.022.000	31.4
1977	6.686.785	10.261.215	16.948.000	40,0
1987	11.444.249	11.594.693	23.038.942	49.6
1991	13.112.000	12.829.000	25.939.000	50.5
1997	15. 800	14. 481	30. 281	52,2

L'exode rural et l'attrait des villes par la construction de logements et la concentration du tissu industriel justifient cette dynamique qui s'est faite, soit par étapes, avec des relais dans de petits centres facilitant l'adaptation, soit directement du milieu rural vers la grande ville. Les premières migrations ont abouti dans les centres anciens pour s'orienter ensuite vers les marges des villes formant des périphéries urbaines, d'habitat auto-construit et de cités de recasement. Ces périphéries sont elles-mêmes aujourd'hui dépassées par les implantations réalisées par les pouvoirs publics pour faire face aux besoins du développement : équipements de tous types (lycées, hôpitaux, zones d'activités et industrielles, grands ensembles...), nécessitant beaucoup d'espace et ne trouvant pas place dans les vieux centres.

Ce processus d'urbanisation a pris de vitesse les aménagements internes : les voiries et réseaux divers à posteriori, les vieux centres étriés ne suffisant plus aux besoins des agglomérations. A cet égard, les programmes d'habitation sont en décalage par rapport au développement des secteurs secondaire et tertiaire; il en résulte un déficit grave du parc de logements, des taux énormes d'occupation par pièce, le maintien ou l'apparition de nouveaux bidonvilles.

Cette évolution se traduit par une uniformisation du modèle urbain marqué par de grands ensembles stéréotypés, masquant les vieux centres et banalisant la ville. Si l'urbanisation coloniale avait concerné avant tout la frange tellienne, l'urbanisation actuelle a gagné à l'identique pratiquement tout le pays. Le résultat a été que les agglomérations urbaines, de par leurs nombreux dysfonctionnements, offrent un cadre bâti dans un espace urbain en plein désordre que ni les instruments juridiques, réglementaires et techniques, ni les mesures d'aménagement n'ont pu

contenir. Les réorganisations territoriales se sont succédées depuis l'indépendance avec à chaque fois la promotion de nouveaux chefs-lieux sans prise en compte de la diffusion réelle des activités urbaines productives.

Les différents découpages qui avaient pour objectif le rapprochement de l'administration du citoyen et l'équilibre régional, étaient également censés atténuer les mouvements migratoires interrégionaux, et stimuler les migrations locales.

Dés les années 1970, de nouveaux modes d'urbanisation caractérisent quasiment toutes les villes algériennes à travers les actions suivantes :

- Des programmes planifiés des ZHUN (Zone d'Habitat Urbaine Nouvelle), adoptés pour trois principaux avantages modernité, caractère socialiste (habitat collectif) et rapidité de mise en œuvre, ils ont été jusqu'à présent la forme dominante de l'Etat en milieu urbain.
- De nombreuses villes ont vu ainsi leur superficie se multiplier par 5 en moins de 30 ans Cette rupture avec les centres anciens a été accentuée par une architecture répétitive monotone mettant en évidence l'existence de deux formes urbaines qui coexistent non complémentaires, celle des anciens tissus et celle des nouvelles urbanisations.
- Plus de 100 agglomérations vont être concernées par l'implantation de plus de 250 ZHUN qui ont une superficie totale de 23 000 hectares avec une capacité d'accueil de plus de 650 000 logements.
- Chaque ZHUN couvre en moyenne 90 hectares pour une capacité de 2600 logements, soit une densité moyenne d'environ 30 logements à l'hectare.
- La politique du lotissement, menée depuis 1974, c'est-à-dire notamment à la faveur des réserves foncières communales, a également contribué à façonner le paysage urbain et généré des extensions démesurées
- La morphologie de la ville subit également l'influence de la politique du logement, notamment à travers ses différentes formes : social, évolutif, promotionnel ou logement entrant dans le cadre du programme " PLH "(Plan Local d'Habitat)

Ainsi, les centres urbains existants, en dégradation accélérée, n'ont bénéficié pratiquement d'aucune action de rénovation ou structuration compte tenu de la vétusté du parc et de la politique des loyers menés à ce jour. Ils connaissent une situation de dégradation et certaines habitations, menaçant ruine, mettent même en danger la vie des citoyens.

Le tissu ancien, homogène et densément peuplé s'est trouvé progressivement dépassé, incapable de reconstituer un noyau central de polarisation et de rayonnement des valeurs urbaines propres ; ce qui a permis la création de villes composites.

Une autre tendance se développe et aura des répercussions négatives sur l'espace agricole et forestier à travers des programmes d'habitat rural initiés par les pouvoirs publics en encourageant les constructions privées rurales épousant des formes et des consistances inappropriées, d'où les défigurations et surtout les excès constatés in-situ. En outre, l'absence d'une conception réaliste de l'habitat rural adapté aux spécificités des régions, des communautés et des espaces, a laissé place aux autres modes décidés en hâte pour résoudre des problèmes urgents. En l'absence d'une politique de soutien et surtout d'encadrement des auto-constructeurs et des promoteurs, il s'est développé un habitat précaire dans des espaces de production agricole.

Cette explosion des tissus urbains s'est révélée préjudiciable au bon fonctionnement des agglomérations et à l'agriculture, les extensions se faisaient généralement aux dépens des meilleures terres agricoles ainsi qu'il sera explicité ultérieurement.

#### **4. Les conséquences du phénomène d'urbanisation**

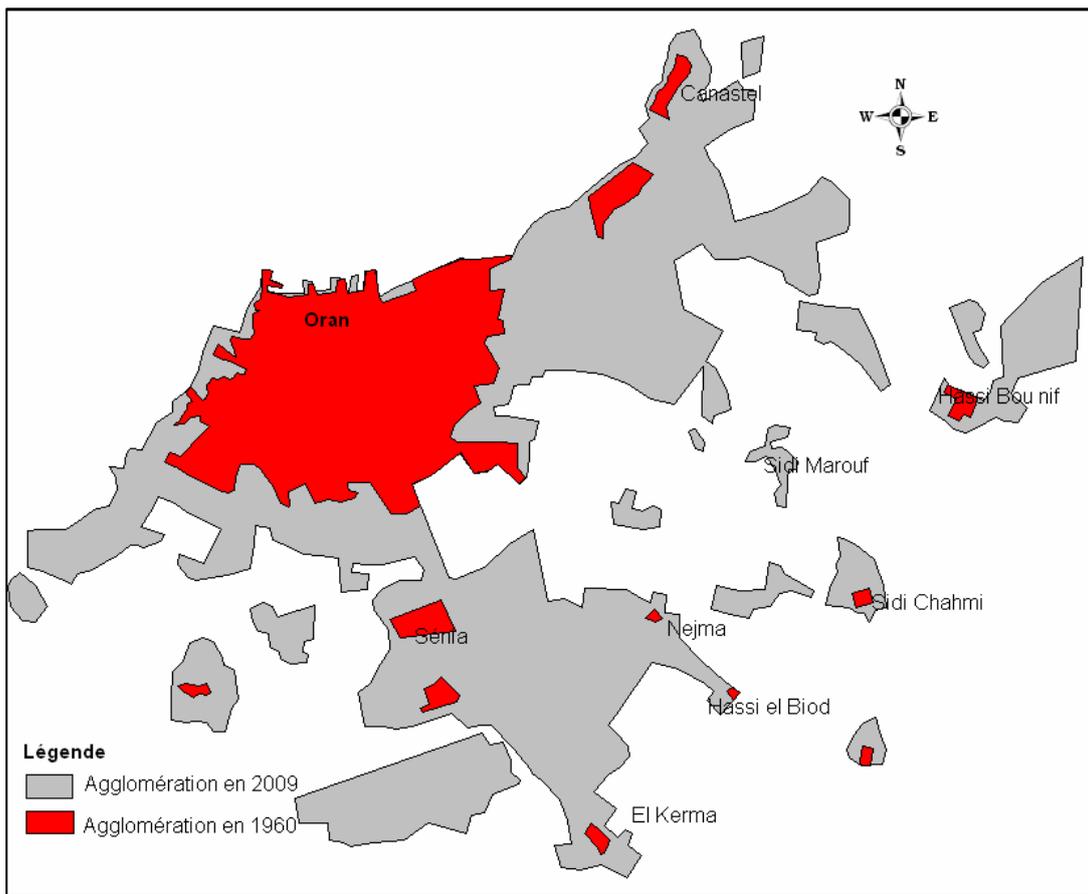
Les transformations enregistrées dans les espaces urbains ont des effets multiples qui peuvent être appréhendés et regroupés sous la forme de tendances préjudiciables.

##### **4.1 Une tendance lourde à la littoralisation**

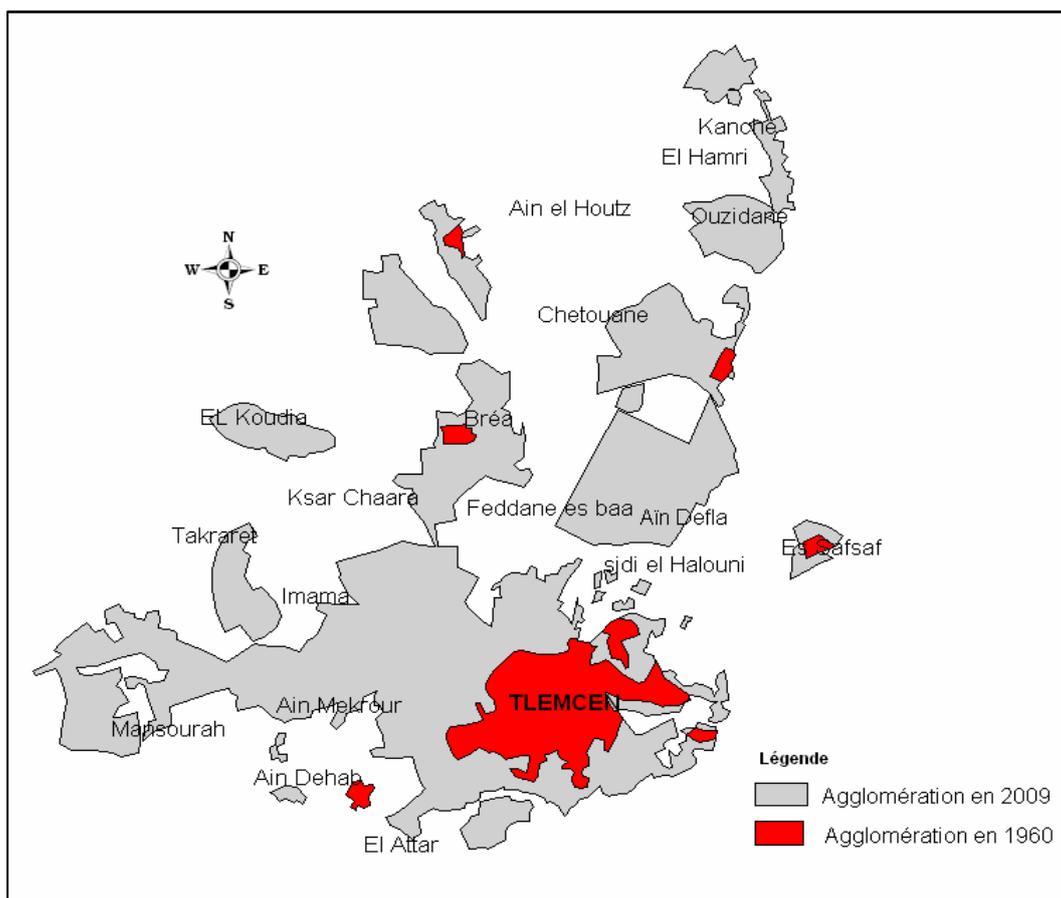
La forte croissance urbaine et la multiplication des agglomérations ont généré de grands déséquilibres spatiaux essentiellement sur l'espace littoral. Il faut signaler que le littoral a toujours constitué un débouché naturel pour les mouvements des personnes et des biens provenant de l'intérieur du pays. Le Nord de l'Algérie, comprenant les plaines littorales, les bassins intérieurs insérés entre deux chaînes telliennes internes et externes, offre toutes les conditions de localisation d'activités et d'établissements humains: conditions naturelles et climatiques les plus favorables, bon maillage infrastructurel, réseaux de villes, équipements de formation, bon encadrement etc.

C'est dans cette vaste région de plus de 18 millions d'habitants (plus de 62 % de la population nationale) que se trouvent les terres agricoles les plus riches, les ressources en eau les plus importantes, le potentiel littoral et le potentiel forestier.

La disponibilité d'infrastructures de transports (routières, ferroviaires, portuaires, aéroportuaires et d'énergie), a favorisé l'implantation et le développement d'activités productives, mais aussi leur forte concentration. L'espace littoral algérien dispose de grandes potentialités : eau, sol (37 % du potentiel national), forestières (32 % de la superficie du littoral), halieutiques, minières et touristiques, et enfin espaces d'intérêt écologique (parcs nationaux, espaces protégés). Ces ressources sont menacées par une démographie intolérable et une urbanisation anarchique cause de dégradation de l'environnement (pollution, érosion, déforestation ...ect).



**Figure 60:** Evolution de l'espace urbain d'Oran



**Figure 61:** Evolution de l'espace urbain de Tlemcen

En dehors des grandes agglomérations littorales, le reste des régions en butte aux problèmes de désenclavement et de sous-développement chronique, constituent les bassins de main-d'œuvre des grands pôles urbains et industriels.

#### **4.2 Une urbanisation incontrôlée**

Le rythme accéléré de la croissance urbaine durant les dernières décennies a fortement marqué la configuration et le fonctionnement des réseaux urbains régionaux et de l'armature urbaine nationale. Le contraste est grand entre les villes importantes du pays, qui concentrent activités, main- d'œuvre, infrastructures et équipements structurants, d'une part, et leurs arrière-pays, qui restent dévitalisés et pauvres, d'autre part. Ce contraste s'est amplifié, ces dernières années, sous le double contraindre de l'insécurité et de la paupérisation généralisée des campagnes.

Tous les centres urbains ont connu de fortes croissances entre 1977 - 1987 et plus spécialement les plus petits d'entre eux (moins de 10.000 habitants). En définitive, la politique de lutte contre les disparités régionales initiée dans le cadre des différents plans de développement n'a pu juguler le phénomène et encore moins le restreindre.

Le traitement de la gestion de nos villes et des problèmes qui s'y rattachent est indissociable de la politique de l'aménagement du territoire. Car c'est précisément et uniquement à la faveur de cette politique, que l'on peut dégager les axes et les moyens qui permettront de canaliser, ordonner et coordonner l'urbanisation effrénée que subit le pays et l'anarchie qui caractérise cette urbanisation, au niveau de chaque ville.

Cette politique de l'aménagement du territoire ne se contente cependant pas, de la seule maîtrise de cette urbanisation, pour notamment l'orienter selon la logique économique territoriale évoquée précédemment, elle implique également, le retour à des villes à l'échelle de l'homme tant dans les formes efficaces de leur gestion que dans la qualité des cadres de vie qu'elles doivent offrir, pour tous les espaces et pour tous les citoyens.

La question de la ville, vu son envergure et ses diverses facettes dans le cadre de l'aménagement et du développement du territoire, ne peut donc pas relever comme jusque là, de l'initiative et de l'action sectorielles. Elle implique comme exigence prioritaire, dans le cadre des objectifs du développement, une politique nationale et intégrée de la ville.

#### **4.3 La dégradation des ressources naturelles**

L'urbanisation anarchique, la carence de la gestion urbaine et la non prise en charge des problèmes environnementaux, sont à l'origine des graves atteintes à l'environnement que connaît le pays et d'une manière générale, de la dégradation des ressources naturelles.

### **4.3.1 La dégradation continue des ressources en sols**

Plusieurs milliers d'hectares des meilleures terres agricoles du Nord du pays ont été urbanisés, 'est ce qui explique en partie la régression du ratio de la surface agricole utile (SAU) de 0,80 ha/hab en 1962, à 0,32ha/hab en 1991 et vraisemblablement à 0,23 ha/hab en 2005.

En Algérie, l'ensemble des terres consommées par l'urbanisation depuis l'indépendance est très important. Entre 1974 et 1987, la déperdition des terres agricoles a atteint 70.000 ha, le même phénomène a affecté près de 78.000 ha durant la période entre 1988-1996 (750 ha ont subi le même sort entre juin 1995 et mars 1996 malgré la Directive Présidentielle du 14 Août 1995).

La pression sur les terres agricoles vient amplifier celle déjà enregistrée autour des zones urbaines. Aussi, est-il urgent d'arrêter la fragilisation des villages et des centres ruraux par l'expansion, peu réfléchie, de l'habitat péri-urbain; mouvement qui, au lieu d'impulser et de stimuler un développement de la vie rurale, a renforcé les dualités zones rurales- zones urbaines.

### **4.3.2 La dégradation des ressources en eau**

La croissance de la population urbaine et le développement des activités ont pour conséquence une surexploitation des nappes phréatiques et leur contamination ainsi qu'une augmentation importante des rejets dans le milieu naturel, et ce, bien au-delà des capacités d'autoépuration des oueds. Les réseaux d'assainissement se sont développés de manière anarchique au gré du développement des villes, alors que toute élaboration d'un plan d'urbanisme repose en premier lieu sur un schéma d'alimentation et d'assainissement des eaux, et que d'autre part, les systèmes d'épuration adoptés (stations d'épuration dans la quasi-totalité des cas) ne résultaient pas d'études approfondies préalables à l'échelle du bassin ou sous-bassin.

Le nombre de stations d'épuration des eaux domestiques réalisées en Algérie est estimé à 46 ; leur capacité de traitement varie de 1000 à 750000 équivalent/habitant bien qu'elles totalisent une capacité estimée à 2.900.000 équivalent /habitant pour une population raccordée de 2.452.000 habitants. Dans la pratique ces équipements sont souvent à l'arrêt, parfois même abandonnés, ou connaissent un fonctionnement irrégulier.

### **4.3.3 La dégradation des zones littorales et des écosystèmes**

Les 2/3 de la population algérienne vivent dans la frange tellienne, une centaine d'agglomérations, une dizaine de ports et les plus grands complexes industriels y sont implantés ; ce qui génère de fortes pollutions chimiques et organiques, déversées directement et souvent sans traitement dans la mer, occasionnant ainsi des dégradations sensibles des ressources halieutiques et une pollution des stations touristiques. Ce qui réduit considérablement les avantages économiques attendus.

#### **4.3.4 Les espaces verts**

Même ces espaces n'ont pas échappé au processus d'urbanisation anarchique, alors que de plus en plus, les notions d'environnement et de qualité de vie doivent être prises en considération. Les espaces verts sont à considérer comme des équipements structurants. Les normes minimales proposées par l'Agence Nationale de la conservation de la Nature concernant les surfaces d'espaces verts à aménager dans les agglomérations sont de :

10 m<sup>2</sup> par habitant pour les espaces urbains ;

25 m<sup>2</sup> par habitant pour les espaces sub-urbains.

Ces normes sont loin d'être respectées, voire intégrées dans les différents projets de développement urbains, car ces espaces sont livrés au grignotage des politiques des lotissements à travers la mise en œuvre de plans d'aménagement qui proscrivent pourtant tout changement de destination des sols.

#### **4.4 Des services publics défaillants**

Les conditions générales de fonctionnement des villes, en termes de prise en charge administrative et technique d'un certain nombre de missions rattachées à leur caractère urbain, mettent en évidence un niveau relativement faible de maîtrise de gestion. Qu'il s'agisse, comme déjà signalé, de la collecte des déchets et de leur traitement en décharge, du nettoyage, de l'entretien des réseaux d'eau et d'assainissement, de la voirie, des espaces verts, de l'éclairage public ou encore du contrôle des règles d'urbanisme, de l'organisation des transports, de la circulation, de la sauvegarde des sites, et la préservation des éléments du patrimoine et du domaine publics en général, etc..., le constat d'une gestion partielle, aléatoire ou carrément défaillante, selon le cas, est quasi-unanimement admis.

Dans bien des cas, les insuffisances des administrations communales relèvent de causes qui tiennent à la fois de leur inaptitude et des conceptions et ou schémas généraux d'organisation et de fonctionnement inadéquats ou excessivement uniformes et rigides. L'inadaptation de ces schémas aux exigences de gestion des villes, se manifeste, d'ailleurs, par des dysfonctionnements internes à l'administration locale.

#### **Conclusion**

Le non maîtrise du caractère de la dynamique urbaine pose la question de l'aptitude des autorités territoriales et notamment municipales à gérer et à gouverner le territoire qui est sous leur juridiction. L'absence de contrôle, de maîtrise des dynamiques urbaine, voire l'absence de gouvernance de la dynamique elle-même, pose de nouveau la question de l'adéquation des moyens, des outils, des méthodes d'analyse, d'interprétation, de prospective et voire des compétences de

gestion des territoires ou en passe de le devenir dans les pays en développement. La ville Algérienne se retrouve face à une double logique. C'est, d'une part, un territoire qui est parfaitement encadré par l'Etat via les préfectures, ces administrations faisant largement appel aux indicateurs, aux systèmes de production, de structuration et de gestion de l'information géographique. D'autre part, une administration municipale qui à les plus grandes difficultés à maîtriser les processus d'urbanisation et à résoudre les problèmes humains et environnementaux qu'ils posent. Cette question est d'autant plus importante que d'ici à 2025 on peut penser que plus de 80 % de la population sera « métropolisée », voire dans tous les cas urbaine. D'après l'office national de statistique (ONS) la part de la population classée comme urbaine croît chaque 10 ans de 5 %.

## Conclusion générale

L'objectif principal assigné à cette thèse est de montrer comment les données de télédétection peuvent être utilisées pour décrire les changements d'occupation du sol en zone méditerranéenne semi-aride. Pour ce faire, trois exemples assez représentatifs des territoires algériens ont été retenus :

1. l'espace forestier en Oranie à l'échelle régional,
2. l'occupation du sol dans un milieu naturel classé : la zone humide de la Macta
3. la zone montagneuse et agricole de Béni Chougrane à l'échelle locale.

Le travail a été surtout soutenu par l'intégration des traitements d'images satellitaires dans le raisonnement et la démarche géographique. De la sorte, les configurations spatiales et spectrales des changements d'occupation du sol ont été mises en évidence et décrites sur la base des connaissances de terrain et du contexte écologique et socio-économique. L'analyse d'images a été conduite aux niveaux d'échelle adaptés à la répartition spatiale des changements. L'approche multi-échelle utilisée a impliqué des traitements multi-capteurs, complétés par une analyse multi-date pour détecter et évaluer les changements d'occupation du sol.

Les données fournies par les satellites d'observation de la Terre, sont de précieux outils pour caractériser et suivre l'occupation du sol. Les méthodes analogiques et numériques permettent de décrire qualitativement et quantitativement l'organisation spatiale des changements.

L'approche hiérarchique descendante a montré qu'à la variabilité des dimensions spatiales des parcelles changées, correspond une diversité d'images de résolution appropriée à la caractérisation des changements aux niveaux régional et local. Le niveau régional se prête bien à la détection et à l'identification des zones de changements à l'aide d'images Landsat. Au niveau local, les images Landsat et Aster permettent d'une part, d'analyser la dynamique de l'occupation du sol à partir d'une série temporelle d'images, d'autre part, d'identifier les groupements végétaux et de cartographier les changements affecte les classes d'occupation du sol.

L'évolution spatio-temporelle des formations forestières a été décrite en partant du niveau régional au niveau local. Cette approche a permis d'évaluer la dynamique de l'espace forestier dans son contexte régional et local. Les résultats obtenus ont montré que toutes les formes de végétation naturelle ligneuse sont soumises à une forte régression imposée par les incendies et de la surexploitation (humaine et animale). Au niveau régional, la couverture végétale forestière perd, sur une période de 14 ans  $600 \text{ km}^2$  soit environ  $49 \text{ km}^2$  par an, sur une superficie totale de  $2660 \text{ km}^2$

soit 5,5 %. La régression du couvert végétale est due particulièrement aux incendies, aux pressions anthropiques et aux travaux souvent inadaptés. Ce constat souligne l'importance de la définition d'une stratégie découlant d'une politique forestière adaptée aux conditions du milieu. Les aspects préservation, conservation et pré-aménagement doivent primer après avoir identifié les techniques d'intervention (sylviculture, aménagement, exploitation, surveillance).

Au niveau local, la forêt est la classe la plus touchée avec 35 % de pertes, sont transformés en matorral et en broussailles qui enregistrent une augmentation remarquable en superficie avec 47.15% de gain à cause des incendies qu'a connus la zone. Des surfaces importantes de zone agricole ont été transformées en jachère et en sols nus.

Il a également été possible de déterminer et de discriminer par télédétection, les groupements végétaux dans la plaine de la Macta. Les images satellitaires ASTER utilisées ont permis de réaliser une cartographie de la végétation à l'échelle du 1:200 000 couvrant une superficie d'environ de 80000 ha. En plus, sur un espace plusieurs méthodes de détection de changements ont été appliquées aux images satellitaires en vue du suivi écologique. L'analyse de données multi-dates suppose l'utilisation d'images nécessitant des corrections de types radiométriques et géométriques de chaque image. Ensuite les méthodes de détection des changements ont été décrites dans ce travail, avec différents niveaux de résultats chacune de ces méthodes comporte ses avantages et ses inconvénients.

L'analyse de données multi-dates (images satellitaires) permet de détecter de manière quantitative les changements entre plusieurs dates. Mais avec les données collectées sur le terrain et les données bibliographiques (cartes, documents.. ect) il a été possible de déterminer les changements sur le plan qualitative. Cependant, il n'existe pas de méthode automatique qui détermine la nature de ces changements. En combinant l'ensemble des résultats de toutes les méthodes, nous pouvons aboutir à des conclusions intéressantes. Mais, la connaissance du milieu est indispensable pour tirer des conclusions du point de vue de l'état de l'environnement.

Les traitements appliqués aux images, et les résultats qui en découlent, dénotent de la faisabilité de la surveillance de l'environnement par télédétection. Ces résultats ont permis de proposer une stratégie de suivie basée sur des méthodes simples pour analyser les images de télédétection. Ces méthodes permettent d'améliorer le niveau d'interprétation des données.

L'insuffisance des données socio-économiques et environnementales régulièrement mises à jour contraste avec l'acuité des besoins de gestion de l'espace et d'aménagement du territoire. Face à cette situation, la télédétection se présente comme une solution permettant de disposer d'informations géographiques. A partir des traitements et analyses d'images, on peut par exemple

rechercher les attributs qualitatifs et/ou quantitatifs qui caractérisent un environnement, et de s'en servir pour diagnostiquer l'état de cet environnement et les conditions socio-économiques des populations qui y vivent.

**Références bibliographiques**

- Abrams, M. and Hook, S., 2001. ASTER User's Handbook, Technical report.
- ALCARAZ C., 1982. La végétation de l'ouest algérien. Thèse Doc. Es Sc. Univ. Perpignan. 415p.
- ANRH. 1993. Carte Pluviométrique de l'Algérie du Nord, à l'échelle 1:500.000
- Belgharbi B. et Benabdeli K. 2010. Contribution à l'étude des causes de dégradation de la forêt de Tamarix de la zone humide de la Macta (Algérie occidentale) Revue forêt méditerranéenne Tome XXX1 n°1 : 59-68. Mars 2010
- Benabdeli K., 2010. Quelques réflexions sur la stratégie de gestion durable de la biodiversité dans le bassin méditerranéen : rôle de l'identification de seuils de perturbation acceptable des écosystèmes. Colloque international sur : Gestion et Conservation de la Biodiversité Continentale dans le Bassin Méditerranéen. Université de Tlemcen 11, 12 et 13 octobre 2010
- Benabdeli K ; 2009. Contraintes naturelles et anthropiques majeures et stratégie de protection de l'environnement en Algérie. Séminaire National Environnement et Industrie Oran les 27-28 janvier 2009
- Benabdeli, K. et mederbal, K., 2004. Contribution à l'étude phytoécologique da la zone humide de la Macta (Algérie occidentale) rapport d'expertise 9p.
- Benabdeli K, 1998. Modalité pratique de gestion de l'espace communal dans la wilaya de Sidi bel Abbes. Journée d'étude sur la protection de l'environnement dans la wilaya de Sidi bel Abbes.
- Benabdeli K. 1997. Apport de l'écologie urbaine dans l'amélioration du cadre urbain. Rencontre nationale sur la gestion des grandes villes. Oran les 10 et 11 mars 1997
- Benabdeli K., 1996. Evaluation écologique des paysages, classification potentialités et aménagement du territoire. Séminaire régional sur l'aménagement du territoire. 14 mai 1996. C.N.T.S. Arzew.
- Benabdeli K., 1996. aspect physionomico-structuraux de la végétation ligneuse face à la pression anthropozoogène dans les monts de Dhaya et les monts de Tlemcen (Algérie occidentale). Thèse de Doctorat. Université de Sidi Bel Abbes 355p.
- Benabdeli K., Mederbal K., 1994. Dégradation des écosystèmes forestiers des monts de Dhaya et importance des formations basses à leur sauvegarde. 1er Colloque Climat-Environnement. Oran 13/15/12/94. A.R.C.E. Oran.
- Benabdeli K., 1983. Mise au point d'une méthodologie d'appréciation de la pression anthropozoogène sur la végétation dans la massif forestier de Télagh (Algérie). Thèse Doc. Sp. Aix Marseille III.
- Benchetrit M., 1973. L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. P.U.F. Paris

- Bernstein, L. S., S. M. Adler-Golden, R. L. Sundberg, et al, 2005. Validation of the QUick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery. SPIE Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. Vol. 5806, pp. 668-678
- Bessaoud O., 2006. La stratégie de développement rural en Algérie. Options Méditerranéennes, Sér. A / n°71, pp 79 - 89
- Bishr Y., Pundt H., Kuhn W., Radwan M., 1999. Chapter 5. Probing the concept of information communities -A first step toward semantic interoperability, In Interoperating Geographic Information Systems. Edited by M.Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas and C. Cottman (Dordrecht: Kluwer Academic)
- Bouazzaoui N., Chahin N., Belaïd Aït M., Ahlafi Z., Bijaber N., El Kaker A., 2001. Mise en oeuvre d'un système d'information géographique pour le suivi de la forêt de la Maâmora au Maroc. In teledetection, vol. 2, n° 2, p.p. 137-149.
- Boudy P., 1948. Economie forestière nord-africaine. T.1: Milieu physique et milieu humain.
- Bouziri, S., 1999. Méthodes de détection de changements en télédétection spatiale. Exemple d'application au suivi de la désertification en Afrique du Nord. Mémoire d'Ingénieur, CUST, EC - Centre Commun de Recherches, Ispra (Italie), 89p.
- Brown D.G., DUH J.-D., 2004. Spatial simulation for translating from land use to land cover, International Journal Geographical Information Science, Vol.18, No 1, pp 35- 60.
- Carvalho L.M.T., Fonseca L.M.G., Murtach F., Clevers J.G.P.W., 2001. Digital change detection with the aid of multiresolution wavelet analysis. In International Journal of Remote Sensing, vol. 22, n° 18, p.p. 3871-3876.
- Caubel-Forget V., Grimaldi C., Rouault F., 2001. Contrasted dynamics of nitrate and chloride in ground water submitted to the influence of a hedge. C.R. Acad. Sci., Série IIA, Sciences de la Terre et des Planètes, Vol. 332, pp 107-113.
- CHANDER,G. et MARKHAM, B., 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 41, no. 11, 4p.
- Chen Xiuwan, 2002. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. In International Journal of Remote Sensing, vol. 23, n° 1, p.p. 107-124.
- CITS, 2002. Ortho-images Landsat 7 découpées au 1/50 000 Normes et spécifications Édition 1.0, Centre d'information topographique Équipe de soutien aux usagers Sherbrooke (Québec) .
- Cote M., 1983. L'espace algérien. Les prémices d'un aménagement. O.P.U., Alger, 278 p.
- DAGET (Ph), 1977- Le bioclimat méditerranéen: caractères généraux et mode de caractérisation. Végétation vol. N°41: 1-20.

- Dalloni, M., 1935. Carte géologique de Pérregaux 1/50000, feuille n°183, Alger.
- Dalloni M., 1919 . Sur le dôme de Noisy-les-bains et sur la plaine d'effondrement de l'Habra. C. R. Ac.
- Deer, P.J., 1995. Digital change detection techniques : civilian and military applications, in : Proc. Int. Symp. on Spectral Sensing Research (ISSSR 95). Melbourne, Australia, November 26 - December .
- Dos santos, G., 2001. Classification automatique à partir de photographies aériennes, rapport de stage, Ademe , SET, 67 p.
- Douette, M., 2001. Étude de la caractérisation de la dynamique des paysages à l'échelle régionale. Mémoire ingénieur d'agronomie, 177p.
- Durand J.H., 1954. Les sols d'Algérie. Serv. Pedo. Hyd. Alger.
- Emberger L., 1930. La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Revue Gen. Bot. N° 42-46.
- Energoprojekt., 1967. Etude de l'irrigation des grands périmètres Algériens, Périmètre de l'Habra, Bougrad, Yougoslavie.
- Eric, C. and al., 2003. Introduction To Remote Sensing, Orlando, Florida. 19 p.
- Escadafal, R. et al., 1999. Annual progress report - year 1999 contribution of partner 1. CAMELEO, Centre of the European Commission, Ispra, Italy, 21p.
- Fisher P.F., Pathirana S., 1993. The ordering of multitemporal fuzzy land-cover information derived from Landsat MSS data. In Geocarto, vol. 8, n° 3, p.p. 5-14.
- Fotsing J.M., 1998. Les paysages Bamiléké : approche géographique des dynamiques rurales par télédétection. H.D.R. de Géographie et Environnement, Université de Paris IV - Sorbonne, 2 vol. + un atlas.
- Franklin S.E., Moskal L.M., Lavigne M.B., Pugh K., 2000. Interpretation and classification of partially harvested forest stands in the Fundy Model Forest using multitemporal Landsat TM digital data. In Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 26, n° 4, p.p. 318-333.
- Jacob, F.; 1999. Utilisation de la télédétection courtes longueurs d'onde et infrarouge thermique à haute résolution spatiale pour l'estimation des flux d'énergie à l'échelle de la parcelle agricole, thèse de Doctorat de l'université toulouse III, 268p.
- Jensen JR., 2005. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (third edition). Prentice-Hall, Englewood Cliffs
- JENSEN, J.R., 1996. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. Prentice Hall, 318 p.

- Hayes D.J., Sader S.A., 2001. Compararison of change-detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. In Phtogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 67, n° 9, p.p. 1067-1075.
- Hubert-Moy L., Clément B., Lennon M., Houet T., Lefeuvre E., 2004. Etude de zones humides de fonds de vallées à partir d'images hyperspectrales CASI : Application à un bassin versant de la région de Pleine-Fougères (Bretagne, France). Photo-Interprétation, Hubert-Moy L. ed., N°2003/01, pp 41-48.
- Iltis J., Pasqualini V., Korber D., Lointier M., 2001. Utilisation de données multilates Spot-XS pour l'évaluation de l'impact d'une ferme aquacole sur la dynamique écologique d'un delta tropical. Un exemple dans le Nord-Ouest de Madagascar. In Bulletin de la Société française de Photogrammétrie et Télédétection, n° 161, p.p. 56-62.
- Imbernon J., 1999. Pattern and development of land-use changes in the Kenyan highlands since the 1950s. In Agriculture, Ecosystems and Environment, n° 76, p.p. 67- 73.
- Gaddas, F., 2001. Proposition d'une méthode de cartographie des pédopaysages application a "la moyenne vallée du rhone" Thèse de doctorat de l'INA PARIS- GRIGNON, 218p.
- Galisson, L. et al., 1999. Caractérisation de l'occupation du sol par télédétection sur quelques sites ruraux de guyane française. rapport final sur les travaux réalisés au Laboratoire Régional de Télédétection dans le cadre de la convention IRD/ SIMKO-EPAG N° 9037, 13p.
- Gaucher, G., 1939. Observation sur le problème géologique du sel en Algérie.
- Gaucher, G. et Simonneau, P., 1952. Monographie agricole de la plaine de Saint-Denis- du- Sig terres et eaux n°14 et 15.
- Girard, M.C., 2000. cours de télédétection . département agronomie – environnement,INA, PARIS-GRIGNON, 68p.
- Girard M-C. et Girard C-M. 1999. Traitement des données de télédétection. Dundo, Paris, 1999. ISBN 2 10 048452 4. p 529.
- Girard, M.C., 1995. Apport de l'interprétation visuelle des images satellitaires pour l'analyse spatiale des sols, un exemple dans la région de Lodève. INA, Paris-grignon, 17p.
- Greco J., 1966. L'érosion, la défense et la restauration des sols. Le reboisement en Algérie. M.A.R.A. Alger.
- Gsell S., 1928. Histoire ancienne de l'Afrique du Nord. Archives de la conservation des forêts.
- Hotyat M., Veyret Y., 1991. Couverts forestiers et enrichement en Auvergne. L'apport de la télanalyse. In Bulletin de l'Association des Géographes Français, vol. 68, n° 1, p.p. 57-65.
- KLUSER, S., 2000. Elaboration d'une carte de couverture du sol par interprétation semi-automatisée de l'espace colorimétrique d'orthophotos Application au bassin versant du Nant

- d'Avril (France, Suisse), Diplôme d'études supérieures en sciences naturelles de l'environnement, Université de Lausanne, 69 p.
- Lambin E.F., Strahler A.H., 1994a. Change-vector analysis in multitemporal space : a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal resolution satellite data. In *Remote Sensing of Environment*, n° 48, p.p. 231-244.
- Lambin E.F., Strahler A.H., 1994b. Indicators of land-cover change for change-vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales. In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 15, n° 10, p.p. 2099-2119.
- Laporte, O., 2002. Structuration, mise à jour et exploitation d'une base de données localisé au service d'un projet de géographie urbaine. Centre de recherche de l'IRD (Bondy, Seine-Saint-Denis-93), 23p.
- Ledrezen, Y., 2001. Diagnostic de la gestion des ressources végétales dans un territoire sahélien : le cas de Mâl (Brakna, Mauritanie), mémoire de maîtrise, Faculté de géographie, Université d'Angers, 140 p.
- Le Houerou H.N., 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Thèse Doc. Es Sc. Aix Marseille III.
- Letreuch-Belarouci N., 1995. Réflexion autour du développement forestier: les zones à potentiel de production, les objectifs. O.P.U. Alger, 52p.
- Long G., 1975. Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. Collection d'écologie n°5. Tome 1 et 2., 252 p et 217 p. Masson.
- Lyon, J. G., Yuan, D., Lunetta, R. S. and Elvidge, C. D. 1998. 'A change detection experiment using Vegetation Indices', *Photogrammetric Eng. Remote Sens.* 64, 143–150.
- Maniere R. 1987. Télédétection spatiale et aéroportée et systèmes d'information géocodée sur l'environnement : principes généraux et étude de quelques domaines d'applications. Université d'Aix-Marseille III, Thèse de doctorat d'Etat.
- Markham, B. L., & Barker, J. L. 1986. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperature. *EOSAT Landsat Technical Notes*, 1, 3–8.
- Mas J.F., 2000. Une revue des méthodes et techniques de télédétection du changement. In *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 26, n° 4, p.p. 349-362.
- Mather J.R., Sdasyuk G.V., 1991. *Global Change: Geographical Approaches*, University of Arizona Press, 289 p.
- Mayaux, P. et al., 2003. Apport des techniques spatiales pour la gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest. Séminaire régional sur l'aménagement et la gestion des aires protégées d'Afrique de l'Ouest, Parakou, Bénin, 8p.
- Mérot P., 1999. The influence of hedgerow systems on the hydrology of rural catchments in a Temperate Climate. *Agronomie*, Vol. 19, pp 655-669.

- Mertens B., Lambin E. F., 2000. Land cover change trajectories in Southern Cameroon. In *Annals of the Association of American Geographers*, 90 (3), 2000, p.p. 467-494.
- Michener W.K., Houhoulis P.F., 1997. Detection of vegetation changes associated with extensive flooding in a forested ecosystem. In *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 63, n° 12, p.p. 1363-1374.
- Milne A.K., O'Neill A.L., 1990. Mapping and monitoring land cover in the Willandra lakes world heritage region. In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11, n° 11, p.p. 2035-2049.
- Nahal I., 1972. La diversité des régions pluviométriques méditerranéennes et leur particularité biologiques. C.N.R.F. Alger. 20p.
- Nicolas, S. et al., 2003. Détection de l'évolution des superficies forestières en montérégie entre juin 1999 et août 2002 à partir d'images satellitaires landsat-TM. Rapport présenté à l'Agence forestière de la Montérégie (AFM), Département de géographie (Université de Montréal), 30p.
- Ojima D., Moran E. et al., 2004. Global Land Project Draft Science Plan, 93 p.
- ONU, 2001. Rapport de l'Atelier Organisation des Nations Unies/Agence spatiale européenne/Comité de la recherche spatiale sur les techniques d'analyse des données et de traitement des images. (Damas, 25-29 mars 2001), 11p.
- ONU, 2000. Rapport de l'atelier ONU/Agence spatiale européenne/ Comité de la recherche spatiale sur les techniques de réduction et d'analyse des données satellitaires. 14p.
- Ouadba, J.M., 1990. Un exemple de suivi diachronique de milieux soudano-sahéliens au Burkina Faso par télédétection. *Télédétection et sécheresse*. Éd.Paris. pp. 209-218.
- Palmer, A. et Fortescue, A., 2003. Remote sensing and change detection in rangelands, ARC-Range and Forage Institute, PO Box 101, Grahamstown, South Africa, pp 1-6.
- Pochet, L., 1847. Mémoire sur la mise en valeur de la plaine de l'Habra ( province d'Oran ). Barrage-réservoir, Assainissement, Irrigation.
- Pohl C., Van Genderen J.L., 1998. Multisensor image fusion in remote sensing : concepts, methods and applications. In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, n° 5, p.p. 823-854.
- Polidori, L., 2000. Introduction à la télédétection spatiale, ESGT , 60p.
- PONY, O. et al., 2000. Classification d'images satellitaires hyperspectrales en zone rurale et périurbaine. Rapport de recherche n° 4008 , Unité de recherche INRIA Sophia Antipolis Cedex (France), 64 p.
- Pouchin T. 2001. Elaboration d'un observatoire paysager, Application à l'estuaire de Seine. Centre Interdisciplinaire de Recherche en Transports et Affaires Internationales, Le Havre, Thèse de Doctorat, 316 p.

- Quezel P., 1979. Matorrals méditerranéens et chaparrals californiens. Quelques aspects comparatifs de leur dynamique, de leur structure et de leur signification écologique. *Ann. Sc. For.* N° 36: 1-12.
- Rogan J., Franklin J., Roberts D.A., 2002. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. In *Remote Sensing of Environment*, n° 80, p.p. 143-156.
- Roy P.S., Tomar S., 2001. Landscape cover dynamics pattern in Meghalaya. In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22, n° 18, p.p. 3813-3825.
- RSI, 2004. ENVI user's guide, ENVI Version 4.1, Research Systems, Inc 1150p.
- Sader S.A., Winne J.C., 1992. RGB-NDVI colour composites for visualizing forest change dynamics. In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 13, n° 16, p.p. 3055- 3067.
- Sader S. A., Hayes D. J., Hepinstall J.A., Coan M., Soza C., 2001. Forest change monitoring of a remote biosphere reserve. In *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22, n° 10, p.p. 1937-1950.
- Sauvage, 1963. Etages bioclimatiques. Notice et carte au 1/2000.000. Atlas du Maroc. II. P1.6b. comité géographique Maroc, Rabat.
- Selleron G., 1995. De Landsat-MSS a Spot : 14 années de déforestation continue sur un front pionnier vénézuélien. In *Photo-interprétation*, n°2, p.p. 97-108.
- Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. Alger. 219p.
- Simonneau, P., 1952. La végétation halophile de la plaine de Perrégaux, Oran.
- Simonneau, P., 1951. Note sur la mise en valeur des terrains salés de la plaine de Perrégaux, Terres et eaux 12.
- Singh A., 1986. Change detection in the tropical forest environment of northeastern India using Landsat, p.p. 237-253. In *Remote sensing and tropical land management* (editors : Eden M.J., Parry J.T.), Wileys and Sons.
- Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, No. 6, pp. 989-1003.
- Sitayeb T., et Benabdeli K., 2010. Contribution à l'étude des changements spatio-temporelles de l'occupation du sol en Oranie par l'utilisation des données du satellite Landsat TM. XIIèmes Journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUF. Tunisie le 23 – 25 Novembre 2010.
- Sitayeb T., 2009. Diagnostic écologique et socio-économique des monts de Beni-chougrane. Mémoire de Master. Université de Thessalie Grèce 100p.
- Sitayeb T., et Benabdeli K., 2008. Contribution à l'étude de la dynamique de l'occupation des sols de la plaine de la Macta (Algérie) à l'aide de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique. *Comptes Rendus Biologie* 331 (2008) : 466-474

- Sitayeb T., 2006. Etude de la dynamique des formations végétales de la plaine de la Macta par télédétection. 3eme rencontre méditerranéen, Béjaia Novembre 2006.
- Sitayeb T., 2006. Application de la Géomatique dans l'étude de la dynamique de la végétation dans la plaine de la Macta. Mémoire de Magister. Université de Mascara 170p.
- Stefanov, W. L. m 2001. Monitoring urban land cover change: An expert system approach to land cover classification of semiarid to urban centers, *Remote Sens. Environ.* 77, 173–185.
- Steffen W., Sanderson A., Tyson P.D., Jäge, J., Matson P.A., Moore III B., Oldfield F., Richardson K., Schellnhuber H.-J., Turner II B.L., Wasson R.J., 2004. *Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure*, Global Change, the IGBP Series, Berlin, GR, Springer Verlag, Vol. XII, 336 p.
- Steven, A. et al., 2000. Satellite Change Detection of Forest Harvest Patterns on an Industrial Forest Landscape, *Forest Science* 49(3) 2003, pp 341-335.
- Tafer. B, 1993. Etude phytoécologiques des complexes de végétation halophiles de la plaine de Mohammedia ( Macta Oranie ). Thèse Doc. université de Droit, D'économie et des science d'Aix-Marseille 102p.
- Teillet, P. M., Barker, J. L., Markham, B. L., Irish, R. R., Fedosejevs, G., & Storey, J. C., 2001. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. *Remote Sensing of Environment*, 78, 39–54.
- Stewart Ph., 1969. Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. *Bul. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord.*, 59: 23-36.
- Thome, K., Markham, B., Barker, J., Slater, P., & Biggar, S. 1997. Radiometric calibration of Landsat. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 853–858.
- Tinthoin R., 1946. Les aspects physiques du Tell oranais. Thèse Doc. Es Sc. Fouque-Oran. 638p.
- Tonye, E. et Lontchi, P., 2003. Télédétection et SIG pour la mise à jour cartographique. *Journal des Sciences Pour l'Ingénieur*. N° 3, pp 40-51.
- VEGA, C., 2000. Dynamique côtière et structuration des mangroves en Guyanes française. Analyse du site de Sinnamary sur la période 1951-1999, par télédétection et étude in situ. DEA Ecologie des Systèmes Continentaux, Université Paul Sabatier de Toulouse 33p.
- Viaud V., 2004. Organisation spatiale des paysages bocagers et flux d'eau et de nutriments. Approche empirique et modélisations. Thèse Unité INRA Rennes SAD Armorique.
- Woodcock C.E., Macomber S.A., Pax-Lenney M., Cohen W.B., 2001. Monitoring large areas for forest change using Landsat : generalization accross space, time and Landsat sensors. In *Remote Sensing of Environment*, n° 78, p.p. 194-203.

Yuan D, Elvidge CD, Lunetta RS., 1998. Survey of multispectral methods for land cover change analysis. In: Lunetta RS, Elvidge C (eds) Remote sensing change detection: environmental monitoring methods and applications. Taylor & Francis, London, pp 21–39

## Liste des figures

<b>Figure 01:</b> Cadre conceptuel de l'occupation et de l'utilisation des sols.....	08
<b>Figure 02:</b> Causes et conséquences des changements d'occupation et d'utilisation des sols.....	09
<b>Figure 03:</b> Représentation schématique des échelles de temps et d'espace auxquels les modes d'occupation et d'utilisation des sols sont étudiés par télédétection .....	11
<b>Figure 04 :</b> Processus de la télédétection d'après (Kluser, 2000).....	13
<b>Figure 05 :</b> Comportement spectral d'un végétal chlorophyllien.....	17
<b>Figure 06:</b> Géographie physique de l'Oranie du Nord .....	29
<b>Figure 07:</b> carte des sols de l'Oranie du Nord .....	31
<b>Figure 08:</b> carte des précipitation d'après ANRH 1993.....	33
<b>Figure 09:</b> Etages bioclimatiques de l'Oranie du Nord .....	35
<b>Figure 10:</b> Carte des séries de végétation de l'Oranie du Nord.....	38
<b>Figure 11 :</b> Localisation de la zone d'étude.....	40
<b>Figure 12 :</b> Carte hypsométrique.....	41
<b>Figure 13 :</b> Carte des pentes.....	42
<b>Figure 14 :</b> Carte d'exposition.....	43
<b>Figure 15 :</b> Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson (Station de Bouhanifia).....	49
<b>Figure 16 :</b> Carte de localisation de la zone d'étude.....	52
<b>Figure 17:</b> Vue en trois dimension de la zone.....	54
<b>Figure 18:</b> Carte des pentes.....	55
<b>Figure 19:</b> Carte hypsométrique.....	56
<b>Figure 20:</b> Carte géologique de la plaine.....	59
<b>Figure 21:</b> Diagramme Ombrothermique de la station de Mostaganem période (1983-2000).....	68
<b>Figure 22:</b> Diagramme Ombrothermique de la station de S.A.moumen période (1983-2000).....	69
<b>Figure 23:</b> Organigramme méthodologique.....	78
<b>Figure 24 :</b> Mosaïque des images Landsat utilisées.....	80
<b>Figure 25:</b> Répartition des zones masques.....	82
<b>Figure 26:</b> Visualisation des images d'NDVI en ton de gris, (A) 1984, (B) 2000, (C) 2009.....	86
<b>Figure 27:</b> Composition colorée en fausse couleur infrarouge, (A) 1984, (B) 2000, (C) 2009.....	89
<b>Figure 28:</b> Répartitions des superficies des formations forestières.....	90
<b>Figure 29:</b> Quantités de changements de superficies des formations forestières .....	90
<b>Figure 30:</b> Répartition des formations végétales naturelles, (A) 1984, (B) 2000, (C) 2009.....	92
<b>Figure 31:</b> Quantités des changements des formations végétales par Wilaya.....	97
<b>Figure 32:</b> Evolution annuelles des superficies incendies en Algérie (1981 -2007).....	99

<b>Figure 33:</b> la Composition colorée de l'image Landsat 1984.....	101
<b>Figure 34:</b> Composition colorée de l'image Landsat 2002 .....	102
<b>Figure 35 :</b> Carte d'occupation du sol de 1984 .....	106
<b>Figure 36 :</b> Carte d'occupation du sol de 2002.....	107
<b>Figure 37 :</b> Carte d'évolution de la classe forêt de thuya et pin d'Alep entre (84/2002).....	110
<b>Figure 38 :</b> Carte d'évolution de la classe broussaille entre (84/2002) .....	111
<b>Figure 39:</b> Carte d'évolution de la classe matorral à base de Lentisque entre (84/2002) .....	112
<b>Figure 40 :</b> Carte d'évolution de la classe sol nu entre (1984/2002) .....	113
<b>Figure 41:</b> Distribution des classes entre 1984 et 2002.....	114
<b>Figure 42:</b> Modèle de la dynamique de l'occupation du son dans la zone de Bénichougrane.....	115
<b>Figure 43:</b> Organigramme méthodologique générale de travail .....	119
<b>Figure 44:</b> Compositions colorées et ACP.....	127
<b>Figure 45:</b> Représentation de l'éboulis des valeurs propres pour l'ACP réalisée sur les 9 bandes spectrales ASTER .....	128
<b>Figure 46:</b> Quatre premières bandes spectrales ASTER .....	130
<b>Figure 47:</b> Affichage de l'image en composition colorée (3-2-1) .....	131
<b>Figure 48:</b> Classification ascendante hiérarchique, méthode de Ward, Distance Euclidiennes ...	132
<b>Figure 49:</b> Carte de localisation des stations de relevée.....	133
<b>Figure 50:</b> classification non supervisée de l'image ACP .....	134
<b>Figure 51:</b> Carte des groupements végétaux de la plaine de la Macta en 2005 .....	139
<b>Figure 52:</b> Composantes principales des images NDVI (1984_2002) en tons de gris .....	141
<b>Figure 53:</b> Composantes principales des images NDVI (1972_1987) en tons de gris .....	142
<b>Figure 54 :</b> Analyse en vecteurs de changements des images NDVI de 1984 et 2002 .....	144
<b>Figure 55:</b> Analyse en vecteurs de changements des images NDVI de 1972 et 1987 .....	144
<b>Figure 56:</b> Carte des groupements végétaux de la plaine de la Macta en 1958 .....	152
<b>Figure 57:</b> Superficies des classes convertit en urbain de l'agglomération d'Oran .....	162
<b>Figure 58:</b> Superficies des classes converties en urbain de l'agglomération de Tlemcen .....	163
<b>Figure 59:</b> Dynamique de la ville d'Oran entre 1960 et 2009 .....	165
<b>Figure 60:</b> Dynamique de la ville de Tlemcen entre 1960 et 2009 .....	166
<b>Figure 61:</b> Evolution de l'espace urbain d'Oran .....	170
<b>Figure 62:</b> Evolution de l'espace urbain de Tlemcen .....	170

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Différences entre les termes « Utilisation » et « Occupation » du sol pour la structuration et l'utilisation de données.....	07
<b>Tableau 02:</b> Caractéristiques du satellite ASTER et LANDSAT .....	16
<b>Tableau 03:</b> Répartition des pluies en Oranie.....	32
<b>Tableau 04:</b> Quotient pluviothermique de l'ouest algérien .....	34
<b>Tableau 05:</b> Les de pentes dans la zone d'étude .....	41
<b>Tableau 06 :</b> classe d'exposition .....	42
<b>Tableau 07 :</b> variation des précipitations dans la station de Bouhanifia (1984-2004) .....	47
<b>Tableau 08:</b> répartition des Températures moyennes mensuelles et annuelle en C° (1984-2004)..	48
<b>Tableau 09 :</b> L'effectif et la densité de la population des communes .....	50
<b>Tableau 10:</b> Occupation des sols dans les 2 communes : Unité (ha) .....	50
<b>Tableau 11:</b> Répartition du cheptel .....	51
<b>Tableau 12:</b> Répartition des superficies suivant les classes de pentes .....	55
<b>Tableau 13:</b> Distribution des superficies suivant les classes d'altitude .....	56
<b>Tableau 14:</b> Relevés floristiques de la zone humide de la Macta .....	61
<b>Tableau 15:</b> Caractéristiques des stations pluviométriques (O. N. M d'Oran) .....	63
<b>Tableau 16:</b> Variations des précipitations (1983 – 2000) .....	64
<b>Tableau 17:</b> Valeurs du régime saisonnier .....	65
<b>Tableau 18:</b> Températures moyennes M et m entre 1983 et 2000 .....	65
<b>Tableau 19:</b> Températures moyennes maximales des deux stations (1983 – 2000) .....	66
<b>Tableau 20:</b> Températures moyennes minimales (m) entre 1983 et 2000 .....	66
<b>Tableau 21:</b> L'amplitude annuelle des deux stations .....	67
<b>Tableau 22:</b> L'humidité relative de la station de Mostaganem ( 1983-2000) .....	67
<b>Tableau 23:</b> Répartition de surfaces cultivées dans la plaine .....	71
<b>Tableau 24:</b> Répartition du cheptel animal .....	72
<b>Tableau 25:</b> Caractéristiques des données utilisées .....	76
<b>Tableau 26 :</b> Evaluation de la dynamique des formations forestières de 1984 à 2009 .....	95
<b>Tableau 27:</b> superficies totales des formations végétales naturelles par région .....	96
<b>Tableau 28 :</b> Validation de la classification (image1984).....	104
<b>Tableau 29:</b> Validation de la classification (image2002) .....	104
<b>Tableau 30:</b> Matrice de confusion en pourcentage de la classification de l'image1984.....	104
<b>Tableau 31:</b> Matrice de confusion en pourcentage de la classification de l'image2002 .....	104
<b>Tableau 32:</b> Répartition des classes d'occupation du sol en 1984 .....	108

<b>Tableau 33</b> : Répartition des classes d'occupation du sol en 2002 .....	109
<b>Tableau34</b> : Degrés de changement de chaque classe d'occupation du sol entre 1984 et 2002, en pourcentage et en surface .....	109
<b>Tableau 35</b> : Pourcentage de variance associé à chaque nouvelle composante issue de l'ACP réalisée sur les 9 bandes spectrales ASTER.....	129
<b>Tableau 36</b> : Valeurs statistiques des zones d'entraînement pour les différents thèmes dans les canaux bruts de l'image.....	135
<b>Tableau 37</b> : Validation de la classification .....	136
<b>Tableau 38</b> : matrice de confusion en pourcentages de la classification pixel à pixel .....	138
<b>Tableau 39</b> : Résultats statistiques des ACP des images NDVI (2002-1948).....	140
<b>Tableau 40</b> : Pourcentage des zones de changement .....	143
<b>Tableau 41</b> : Répartition des classes d'occupation du sol en 1958 .....	147
<b>Tableau 42</b> : Répartition des classes d'occupation du sol en 2001.....	148
<b>Tableau 43</b> : Comparaison des superficies des différentes catégories d'occupation du sol .....	148
<b>Tableau 44</b> : évolution de la population urbaine entre 1966 et 1997 .....	167

## Liste d'abréviation

ACP : Analyse en Composantes Principales  
ALSAT : Algérien Satellite  
ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer  
BDG : Base de Données Géographique  
CCRS : Canadian Centre of Remote Sensing  
CHA : Classification Ascendante Hiérarchique  
DGF : Direction Générale des Forêts  
DPAT : Direction des Planifications et Aménagements des Territoires  
ENVI : Environment for Visualizing Images  
ERTS : Earth Resources Technological Satellite  
ETM<sup>+</sup> : Enhanced Thematic Mapper Plus  
HAPE : Hiver Automne Printemps Eté  
HRV : Haute Résolution Visible  
IRT : Infrarouge Thermique  
ISODATA : Agrégation autour des centre mobiles  
LANDSAT : Land Satellite  
MIR : Moyen Infrarouge  
MNT : Modèle Numérique de Terrain  
MSS : Multi Spectral Scanner  
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index  
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration  
ONM : Office National Météorologique  
PIR: Proche Infrarouge  
RBV : Return Beam Vidicom  
REM : Rayonnement Electromagnétique  
ROI : Region of Interest  
SAT : Surface Agricole Totale  
SAU : Surface Agricole Utile  
SGBD : Systèmes de Gestion de Bases de Données  
SIG : Système d'Information Géographique  
SPOT : Satellite Probatoire pour l'Observation de la Terre  
TM : Thematic Mapper  
UTM :Universal Transverse Mercator  
VIS: Visible  
WGS : World Geodetic System

## Annexe 01: statistiques des changements des formations forestières en Oranie période (1984 - 2000)

Pixel Counts	Foret	Matorral	Unclassified	Row Total	Class Total
Unclassified	340042	1877425	93319272	95536736	95536776
Matorral	1412671	3324952	2364824	7102447	7102447
Foret	1204759	831659	254736	2291154	2291154
Class Total	2957472	6034036	95938832	0	0
Class Changes	1752713	2709084	2619560	0	0
Image Difference	-666318	1068411	-402056	0	0
Percentages					
Unclassified	11.498	31.114	97.270	100.000	100.000
Matorral	47.766	55.103	2.465	100.000	100.000
Foret	40.736	13.783	0.266	100.000	100.000
Class Total	100.000	100.000	0.000	0.000	0.000
Class Changes	59.264	44.897	2.730	0.000	0.000
Image Difference	-22.530	17.706	-0.419	0.000	0.000
Area (Square Km)					
Unclassified	306.04	1689.68	83987.34	85983.06	85983.10
Matorral	1271.40	2992.46	2128.34	6392.20	6392.20
Foret	1084.28	748.49	229.26	2062.04	2062.04
Class Total	2661.72	5430.63	86344.95	0.00	0.00
Class Changes	1577.44	2438.18	2357.60	0.00	0.00
Image Difference	-599.69	961.57	-361.85	0.00	0.00

## Annexe 02: statistiques des changements des formations forestières en Oranie période (2000 - 2009)

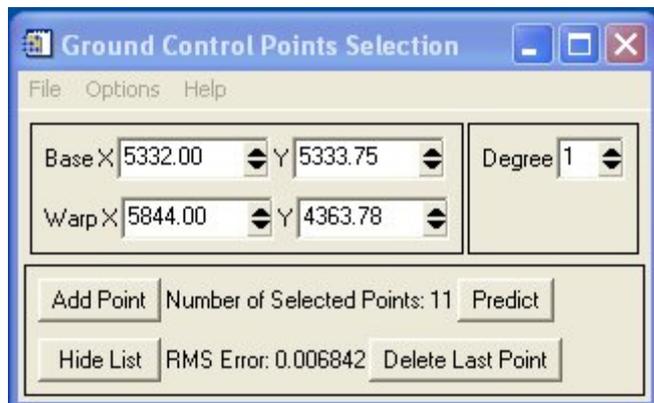
Pixel Counts	Unclassified	Matorral	Foret	Row Total	Class Total
Unclassified	94684032	747986	44249	95476264	95476288
Matorral	3166271	4270342	287661	7724274	7724274
Foret	154191	2084119	1959244	4197554	4197554
Class Total	98004496	7102447	2291154	0	0
Class Changes	3320464	2832105	331910	0	0
Image Difference	-2528208	621827	1906400	0	0
Percentages	Unclassified	Matorral	Foret	Row Total	Class Total
Unclassified	96.612	10.531	1.931	100.000	100.000
Matorral	3.231	60.125	12.555	100.000	100.000
Foret	0.157	29.344	85.513	100.000	100.000
Class Total	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000
Class Changes	3.388	39.875	14.487	0.000	0.000
Image Difference	-2.580	8.755	83.207	0.000	0.000
Area (Square Km)	Unclassified	Matorral	Foret	Row Total	Class Total
Unclassified	85215.63	673.19	39.82	85928.64	85928.66
Matorral	2849.64	3843.31	258.89	6951.85	6951.85
Foret	138.77	1875.71	1763.32	3777.80	3777.80
Class Total	88204.05	6392.20	2062.04	0.00	0.00
Class Changes	2988.42	2548.89	298.72	0.00	0.00
Image Difference	-2275.39	559.64	1715.76	0.00	0.00



---

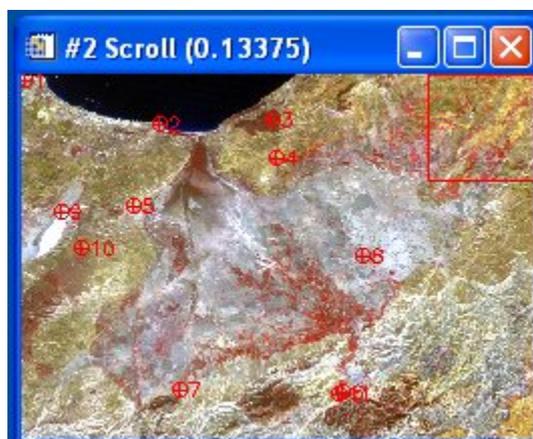
<i>R24</i>	<i>R25</i>	<i>R26</i>	<i>R27</i>	<i>R28</i>	<i>R29</i>	<i>R30</i>	<i>R31</i>	<i>R32</i>	<i>R33</i>	<i>R34</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

## Annexe 04 : Sélection des points de correction géométrique des images Aster



	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	4167.00	4165.00	4167.00	4165.00	4167.0000	4165.0022	0.0000	0.0022	0.0022
#2+	4665.00	4325.00	4665.00	4325.00	4665.0000	4324.9992	0.0000	-0.0008	0.0008
#3+	5086.00	4314.00	5086.00	4314.00	5086.0000	4313.9976	0.0000	-0.0024	0.0024
#4+	5103.00	4455.00	5103.00	4455.00	5103.0000	4454.9992	0.0000	-0.0008	0.0008
#5+	4572.00	4634.00	4572.00	4634.00	4572.0000	4633.9998	0.0000	-0.0002	0.0002
#6+	5345.00	5328.00	5345.00	5328.00	5345.0000	5328.0130	0.0000	0.0130	0.0130
#7+	4744.00	5318.00	4744.00	5318.00	4744.0000	5318.0031	0.0000	0.0031	0.0031
#8+	5425.00	4824.00	5425.00	4824.00	5425.0000	4824.0054	0.0000	0.0054	0.0054
#9+	4305.00	4654.00	4305.00	4654.00	4305.0000	4653.9990	0.0000	-0.0010	0.0010
#10+	4373.00	4788.00	4373.00	4788.00	4373.0000	4787.9988	0.0000	-0.0012	0.0012
#11+	5332.00	5333.75	5332.00	5333.78	5332.0000	5333.7628	0.0000	-0.0172	0.0172

Liste des points d'appuis



Présentation des points dans l'image

Annexe 05 : Les paramètres de normalisation des images TM87, TM84 et MSS 72 par la méthode de la ligne empirique.

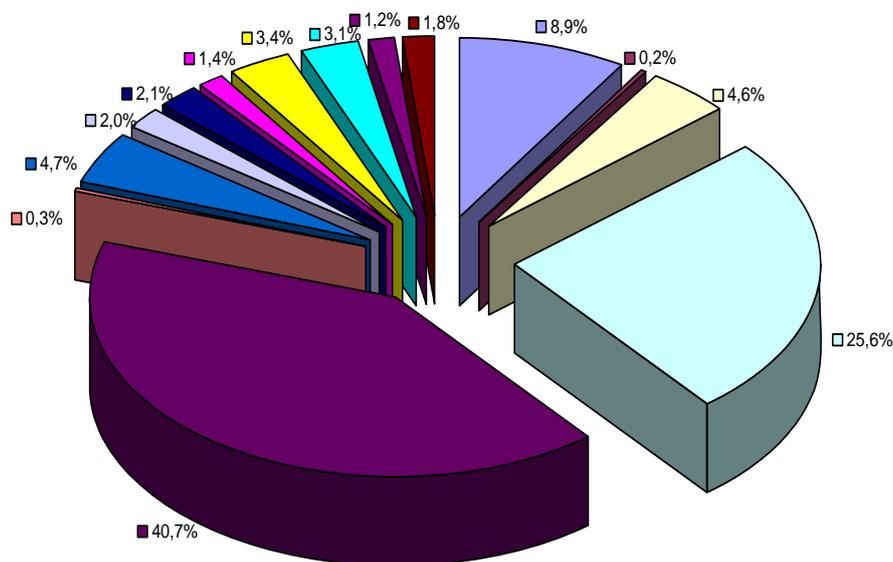
Image	Bande	longueurs d'onde	Irradiance solaire	Radiance atmosphérique	Erreur
TM 87	1	0.478	1.294	-0.038	0
	2	0.561	1.283	-0.010	0
	3	0.661	1.319	-0.009	0
	4	0.834	1.370	-0.004	0
	5	1.650	1.325	-0.003	0
MSS 72	1	0.50	1.700	-0.70	0
	2	0.60	1.641	-0.024	0
	3	0.70	1.629	-0.012	0
	4	0.80	1.599	-0.012	0
TM 84	1	0.478	1.040	-0.005	0
	2	0.561	1.025	-0.001	0
	3	0.661	1.015	-0.0008	0
	4	0.834	1.006	-0.0001	0
	5	1.650	1.009	0.0001	0

Annexe 06 : coefficient de Jeffries-Matusita

Vergers 180 points and Cultures 253 points 1.91512960  
 Vignobles 139 points and Cultures 253 points 1.98121651  
 Atriplex 215 points and Oliveraies 169 points 1.99043756  
 Tamarix africana 128 points and Cultures 253 points 1.99989743  
 Vergers 180 points and Vignobles 139 points 1.99990912  
 Sueada fruticosa 388 points and Salicornia fruticosa 28903 points 1.99996344  
 Sueada fruticosa 388 points and Atriplex 215 points 1.99998629  
 Vignobles 139 points and Oliveraies 169 points 1.99998668  
 Vergers 180 points and Tamarix africana 128 points 1.99999992  
 Sueada fruticosa] 388 points and Oliveraies 169 points 1.99999996  
 Cultures 253 points and Oliveraies 169 points 1.99999999  
 Atriplex 215 points and Cultures 253 points 1.99999999  
 Atriplex 215 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
 Céréalescultures 842 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
 Vignobles 139 points and Atriplex 215 points 2.00000000  
 Céréalescultures 842 points and Pelouses 225 points 2.00000000  
 Vignobles 139 points and Tamarix africana 128 points 2.00000000  
 Vignobles 139 points and Pelouses] 225 points 2.00000000  
 Céréalescultures 842 points and Atriplex 215 points 2.00000000  
 Vignobles] 139 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
 Vignobles 139 points and Céréalescultures] 842 points 2.00000000

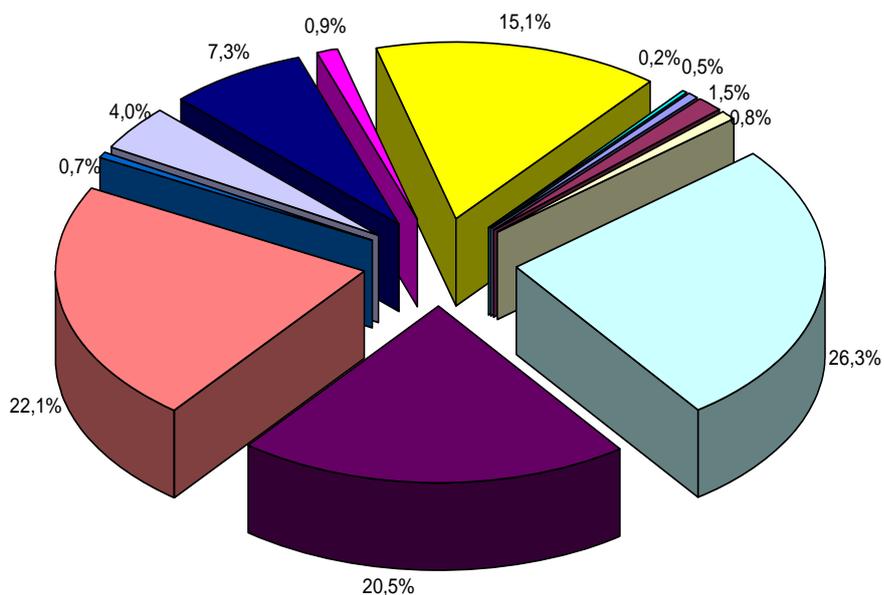
Céréalicultures 842 points and Cultures 253 points 2.00000000  
Atriplex 215 points and Tamarix africana 128 points 2.00000000  
Salicornia fruticosa 28903 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Vignobles 139 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Cultures 253 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
Tamarix africana 128 points and Salicornia fruticosa] 28903 points 2.00000000  
Céréalicultures 842 points and Oliveraies 169 points 2.00000000  
Oliveraies 169 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
Vignobles 139 points and Sueada fruticosa 388 points 2.00000000  
Cultures 253 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Vergers] 180 points and Oliveraies 169 points 2.00000000  
Vergers 180 points and Sueada fruticosa 388 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Atriplex 215 points 2.00000000  
Tamarix africana 128 points and Pelouses 225 points 2.00000000  
Céréalicultures 842 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Tamarix africana 128 points and Oliveraies 169 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Tamarix africana 128 points 2.00000000  
Tamarix africana] 128 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Pelouses 225 points 2.00000000  
Vergers 180 points and Pelouses 225 points 2.00000000  
Céréalicultures 842 points and Tamarix africana] 128 points 2.00000000  
Céréalicultures 842 points and Sueada fruticosa 388 points 2.00000000  
Sueada fruticosa 388 points and Pelouses] 225 points 2.00000000  
Atriplex 215 points and Pelouses 225 points 2.00000000  
Sol nu] 530 points and Sueada fruticosa 388 points 2.00000000  
Pelouses 225 points and Cultures 253 points 2.00000000  
Pelouses 225 points and Oliveraies 169 points 2.00000000  
Pelouses 225 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
Sueada fruticosa 388 points and Tamarix africana 128 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Cultures 253 points 2.00000000  
Sol nu] 530 points and Oliveraies 169 points 2.00000000  
Vergers 180 points and Céréalicultures 842 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Céréalicultures 842 points 2.00000000  
Atriplex 215 points and Retama et Genévrier] 230 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Vignobles 139 points 2.00000000  
Vergers 180 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Vergers 180 points and Salicornia fruticosa 28903 points 2.00000000  
Pelouses 225 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Oliveraies] 169 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Vergers 180 points and Atriplex 215 points - 2.00000000  
Sueada fruticosa 388 points and Cultures 253 points 2.00000000  
Sueada fruticosa 388 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Vergers] 180 points 2.00000000  
Sol nu 530 points and Retama et Genévrier 230 points 2.00000000

Annexe 07: Répartition des territoires en 1958 et 2005



Vignes	Agglomérations	Agrumes
Halipèdes	Terres occupé par l'agriculture	Garrigue arborée
Faciès à Juncus et Scirpus	Tamarix africana	Cultures maraichers
Oliveraies	Terres nouvellement mises en culture	Faciès à Tamarix gallica et Festuca arundinacea
Pelouse	Faciès à Festuca arundinacea	

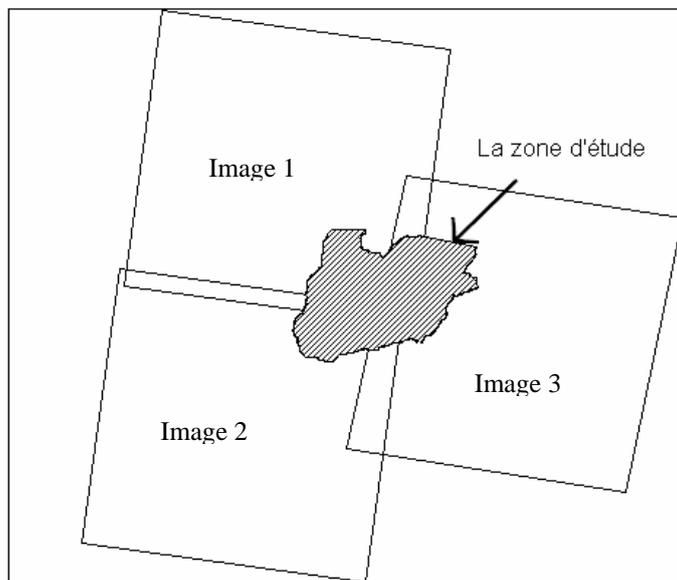
Etat de la répartition du territoire en 1958



Sol nu	Vergers d'agrumes +cultures	Vignobles	Agricultures
G. à Sueada fruticosa	G. à Atriplex halimus +Salsola	G. à Tamarix africana	Pelouses annuelles
Cultures maraichers	Oliveraies	G. à Salicornia fruticosa	G. à Genévrier et Retama

Etat de la répartition du territoire en 2005

Annexe 08 : Position de la zone d'étude par rapport au images ASTER utilisés



## Annexe09: statistiques des changements d'occupation du sol dans la zone de Béni-chougrane

## Pourcentages de changement période (1984 – 2002)

	Initial State					Row Total	Class Total
	orêt mélangée de thuya et Pin d'alep	sol nu	matorral à base de calycotome et ch	matorral à base de Lentisque			
Foret mélangée de Thuya et Pin d'alep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
broussaille à base de calycotome et chamaerops	40.980	29.227	5.436	17.317	92.729	100.000	100.000
matorral à base de Lentisque	30.544	14.417	2.013	6.748	96.256	100.000	100.000
sol nu	27.957	52.766	57.339	65.764	73.012	100.000	100.000
Class Total	0.519	3.591	35.212	10.171	51.396	100.000	100.000
Class Changes	100.000	100.000	100.000	100.000			
Image Difference	59.020	85.583	64.788	34.236			
	-35.191	47.502	196.980	91.867			

## surfaces de changement période (1984 – 2002)

	Initial State					Row Total	Class Total
	mélangeée de thuya et Pin d'	sol nu	matorral à base de calycotome et ch	matorral à base de Lentisque			
Foret mélangée de Thuya et Pin d'alep	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
broussaille à base de calycotome et chamaerops	30.24	5.90	0.27	7.95	44.35	47.83	47.83
matorral à base de Lentisque	22.54	2.91	0.10	3.10	28.65	29.76	29.76
sol nu	20.63	10.65	2.82	30.17	64.27	88.03	88.03
Class Total	0.38	0.72	1.73	4.67	7.51	14.60	14.60
Class Changes	73.80	20.18	4.92	45.88			
Image Difference	43.56	17.27	3.19	15.71			
	-25.97	9.58	9.69	42.15			