

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAID – TLEMCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

**Département d'Ecologie et Environnement**

Laboratoire de Recherche n°31 : Gestion Conservatoire de l'eau, des Sols et des Forêts et Développement Durable des Zones Montagneuses de la Région de Tlemcen.

Laboratoire de Recherche n°13 : Ecologie et gestion des écosystèmes naturels

**MEMOIRE**

Présenté par

**Mlle ZENNOUCHE SMINA**

En vue de l'obtention du

**Diplôme de Magister**

Option : Gestion Intégrée des Ecosystèmes

**Thème :**

**ESPACE ECOLOGIQUE ET EVOLUTION DIACHRONIQUE DES  
CHANGEMENTS SPATIAUX DANS L'ECOSYSTEME STEPPIQUE DE TLEMCEN**

Soutenu le ...../...../2015

Devant le jury :

<b>Président</b> : Mme GAOUAR BENYELLES Nacira	Professeur	Université de Tlemcen
<b>Promoteur</b> : Mr HADDOUCHE Driss	M.C.A	Université de Tlemcen
<b>Examinatrice</b> : Mme STAMBOULI Hassiba	M.C.A	Université de Tlemcen
<b>Examineur</b> : Mr HAMIMED Abderrahmane	M.C.A	Université de Mascara

**Année universitaire 2015-2016**

## Dédicaces

---

*Je dédie mon travail à :*

*La mémoire de ma grand-mère, puisse dieu tout puissant  
assurer le repos de son ame par sa  
sainte miséricorde.*

*A mes grands parents que je remercie pour tout le soutien et l'amour  
qu'ils me portent depuis mon enfance.*

*A mes 3 parents à qui j'exprime la profonde gratitude que  
je leur témoigne pour les efforts et sacrifices qu'ils n'ont jamais cessé  
de consentir pour assurer mon instruction et mon bien être.*

*A mes frères et sœurs en témoignage de mon amour et de ma  
profonde admiration.*

*A mes oncles et tantes ainsi que leurs enfants en témoignage de mon  
respect et de mon affection.*

*A mon adorable petit ange Abderrahmane en témoignage  
de mon profond amour.*

*A tous mes amis en expression de ma profonde affection*

*A tous mes enseignants, du début jusqu'à la fin de mon instruction,  
pour exprimer mes profondes reconnaissance  
et affection.*

## Remerciements

---

*Je tiens à remercier*

*Mr Kaddouche Driss, Merci de m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. J'ai apprécié votre aide et vos conseils si précieux. Votre rigueur scientifique et vos qualités pédagogiques m'ont aidé tout au long de la réalisation de ce travail. Je vous prie de voir dans cette thèse, l'expression de mon estime et de ma profonde reconnaissance.*

*Mme Gaouar Macira. Merci de m'avoir fait l'honneur de présider le jury. J'ai eu la chance et le privilège de profiter de votre enseignement de qualité et de votre sagesse. J'ai apprécié votre gentillesse inégalée. Que ce travail soit pour vous un témoignage de ma profonde gratitude.*

*Mme Stambouli Kassiba. Merci de m'avoir fait l'honneur d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse. Vous demeurez pour moi un exemple à suivre pour vos qualités scientifiques et humaines. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect.*

*Mr Kamimed. Vous me faites un grand honneur en faisant partie du jury. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma reconnaissance.*

*Je remercie également Mme Bekkouche et Mr Benallal pour leur aide et leurs conseils précieux.*

*J'exprime ma profonde reconnaissance à Benlamara Karim, Ouahiba et Nabila qui m'ont toujours encouragé et poussé à réaliser mes objectifs.*

*Benlamara Kakima. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond amour.*

# *Sommaire*

## Sommaire

### INTRODUCTION GENERAL

#### Chapitre I : Présentation de l'outil télédétection et géomantique

I.1 La télédétection	1
I.1.1 Définition	1
I.1.2 Principes de base de la télédétection	1
I.1.2.1 La cible	2
I.1.2.2 La source d'énergie	2
I.1.2.3 Le vecteur	2
I.1.3 Les sept étapes clés	2
I.1.4 Objectifs de la télédétection	3
I.1.5 Techniques de la télédétection	3
I.1.6 Bases physiques et technologiques	3
I.1.6.1 Le rayonnement électromagnétique	3
I.1.6.2 Sources d'énergie électromagnétique	5
I.1.6.3 Notion de reflectance	5
I.1.7 Méthodes de traitement d'image	6
I.1.7.1 L'image numérique de la télédétection	6
I.1.7.2 Signification thématique des canaux	6
I.1.7.3 Traitement des données	7
I.2 Les systèmes d'information géographique	12
I.2.1 Introduction	12
I.2.2 Définition d'un SIG	12
I.2.3 Le concept du SIG	13
I.2.4 Fonctionnement d'un SIG	14

## Sommaire

---

I.2.5 Mode de représentation des données géographiques	17
I.2.6 Concepts de base de données géographiques	21
I.2.7 Analyse à l'aide des GIG	22
I.2.8 Organigramme d'un SIG	24
I.2.9 SIG et télédétection	26

## **CHAPITRE II. LE ROLE DE LA TELEDETECTION POUR L ETUDE DE LA VEGETATION.**

II.1 Introduction	28
II.2 Les satellites à haute résolution spatiale	28
II.3 Les satellites à moyenne résolution spatiale	28
II.4 Les satellites à basse résolution spatiale	29
II.5 Les caractéristiques spectrales de la végétation	30
II.5.1 Signatures spectrales des principales surfaces naturelles	30
II.5.2 Les propriétés optiques des feuilles	30
II.5.3 Comportement spectral	33
II.5.4 Caractéristiques spectrales des sols	37
II.5.5 Les facteurs externes aux couverts végétaux	39
II.6 Les indices de végétation	39
II.6.1 Introduction	39
II.6.2 Le principe	39
II.6.3 Les principaux indices de végétation	40

### **CHAPITRE III. PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE**

III.1 Le paysage steppique en Algérie	49
III.2 Situation géographique	51
III.3 Localisation de la zone d'étude	51
III.4 Présentation des formes de relief et le réseau hydrique	53
III.4.1 Le relief	53
III.4.2 Réseau hydrique	53
III.5 Géomorphologie	55
III.6 Géologie	55
III.7 Pédologie	55
III.8 Paramètres biologiques	56
III.8.1 Végétation	56
III.8.2 La faune	62
III.8.3 Le climat	62
III.9 Environnement bioclimatique de la zone d'étude	62
III.9.1 Introduction	62
III.9.2 Méthodologie	63
III.9.3 Paramètres climatiques	64
III.9.4 Synthèse bioclimatique	70

### **CHAPITRE IV. L ESPACE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE**

#### Introduction

IV.1 Espace écologique	75
IV.1.1 Hétérogénéité et spécificité	75
IV.1.2 La relation sol-végétation	75

## Sommaire

---

IV.1.3 La végétation	76
IV.1.4 Le sol	76
IV.2 L'étude socio économique	76
IV.2.1 La population	76
IV.2.1.1 Situation démographique	78
IV.2.2 L'agriculture et l'agro pastoralisme	82
IV.2.2.1 La surface agricole utile	82
IV.2.2.2 Le bilan de l'année 2011-2012	87
IV.2.3 Les systèmes d'élevage et répartition du cheptel	87

### **CHAPITRE V : METHODOLOGIE DE TRAVAIL ET MATERIEL UTILISE**

V.I Matériel utilisé	92
V.II Méthodologie de travail	93

### **CHAPITRE VI : RESULTATS ET ANALYSE**

VI.1. Carte hypsométrique	96
VI.2 Carte des pentes	98
VI.3 Carte des expositions	100
VI.4 Carte d'occupation du sol	102
VI.5 Résultats et interprétation	105

### **CONCLUSION GENERAL**



# *Liste des tableaux*

## Liste des tableaux

N° du tableau	Titres	N° de la page
01	Couleurs primaires et leurs longueurs d'ondes	08
02	Avantages et inconvénients des modes (vecteur et raster)	19
03	Domaines d'application des modes vecteur et raster	21
04	Résumé d'indices de végétation définis à partir de données de télédétection	47
05	La zone d'étude est divisée en 5 communes	51
06	Situation géographique des stations étudiée.	56
07	Amplitude thermique de la station météorologique d'El Arichaa (1970-2004).	62
08	Evolution de la population pour les trois derniers R.G.P.H.	77
09	répartition de la superficie des communes de la wilaya	78
10	Répartition de la population masculine par commune (année 2008)	79
11	Répartition de la population féminine par commune (année 2008)	80
12	le taux de natalité et mortalité pour l'année 2008	81
13	Superficie des terres utilisées par l'agriculture (S.A.U)	83
14	répartition du cheptel par communes 2012	88
15	Shepp équivalent cheptel	90
16	les caractéristiques des images satellitaires utilisées.	92
17	Matrice de confusion de la classification de l'image satellitaire de 1984.	105
18	Matrice de confusion de la classification de l'image satellitaire de 2011.	105
19	Supérficiés des différentes classes des cartes d'occupation du sol.	109

# *Liste des photos*

## Liste des photos

---

N° de la photo	Titre	N° de la page
Photo n°01	photo d'une touffe d'alpha prise dans la zone d'étude	58
Photo n°02	Parcour à alpha dans la zone d'étude.	58
Photo n°03	photo d'une touffe d'armoise blanche, prise dans la zone d'étude.	60
Photo n°04	Parcour à armoise blanche dans la zone d'étude.	60
Photo n°05	photo de deux touffes d'alpha et d'armoise blanche, prise dans la zone d'étude.	61
Photo n°06	Materiel bioclimatique de la station météorologique.	63

# *Liste des figures*

## Liste des figures

N° de figure	Titre	N° de page
01	PRINCIPE DE BASE DE LA TELEDETECTION	01
02	SEPT ETAPES CLES DE LA TELEDETECTION	02
03	Spectre électromagnétique « fenêtres de transmission de l'atmosphère utilisée par les satellites de télédétection »	04
04	Représentation de l'image	06
05	Fonction d'un SIG	15
06	Mode de représentations : Vecteur et Raster	18
07	Conversions de Vecteur à Raster « rastérisation » et de Raster à Vecteur « vectorisation »	20
08	Couches d'information	21
09	Organigramme d'un SIG	24
10	Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale	31
11	Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen	32
12	Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation	33
13	Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation	34
14	Illustration des interactions entre la réflectance du sol et de la végétation	35
15	Relation entre l'indice de végétation et l'indice de surface foliaire	36
16	Signatures spectrales pour différents types de sol	37
17	Variations du NDVI avec l'angle de visée du satellite	38
18	Répartition spectrale des réflectances dans le rouge et dans le proche infrarouge.	40
19	Relation simplifiée entre la température de surface et l'indice de végétation	45
20	L'indice de sécheresse (TDVI) peut être estimé dans le plan Ts / NDVI par le rapport A/B	46
21	P.V.I et droite des sols	48
22	Carte de situation de la zone d'étude	52
23	Carte hydrographique du bassin versant de la région Sud de Tlemcen.	54
24	Régime pluviométrique mensuel pour les stations météorologiques d' El Arichaa(1971-2012) et d'El Aoudj (1979-2012).	65
25	Régime interannuel des stations de El Arichaa (1979-2012) et El Aoudj (1971-2012).	66
27	Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausson pour la station d'El Arichaa (1988-2004).	72

## Liste des figures

28	: Position bioclimatique de la station d'El Arichaa pour les périodes (1 : 1970-2004) et (2 :1988-2004) sur le climagramme pluviothermique d'Emberger	73
29	Abaque pour le calcul de l'indice d'aridité de DEMARTONNE pour la station d'El Arichaa pour la période (1988-2004).	74
30	Evolution de la population pour les 3 derniers R.G.P.H	77
31	Répartition de la population sur la superficie des communes steppiques de la wilaya	78
32	Répartition de la population masculine par commune (année 2008)	79
33	Répartition de la population féminine par commune (H.G.P.H , 2008)	80
34	Le taux de natalité et mortalité pour l'année 2008	81
35	Evolution de la S.A.U . en (ha ) de la commune d'El Aricha 2012	83
36	Evolution de la S.A.U .(en ha) de la commune de sebdou	84
37	de la S.A.U. (en ha) de la commune d'El Bouihi et d'El Gor	85
38	Evolution de la S.A.U (en ha) de la commune de Sidi Djilali	86
39	La répartition du cheptel par communes, 2012.	88
40	Organigramme de la méthodologie adoptée.	93
41	Carte hypsométrique de la région steppique de Tlemcen	97
42	Carte des pentes de la région steppique de Tlemcen	99
43	Carte d'exposition de la région steppique de Tlemcen	101
44	Carte d'occupation du sol de l'année 1984	103
45	Carte d'occupation du sol de l'année 2011	104
46	Distribution fréquentielle des différents thèmes classés pour l'image de 1984.	106
47	Distribution fréquentielle des différents thèmes classés pour l'image de 2011.	106
48	Superficies des différentes classes de la carte d'occupation du sol pour l'année 1984.	109
49	Superficies en ha des différentes classes de la carte d'occupation du sol pour l'année 2011.	110

# *Liste des acronymes*



## Liste des acronymes

---

- A.C.P** : Analyse en composantes principales.
- A.N.R.H** : Agence Nationale des ressources hydriques.
- A.N.C.N** : L'agence nationale pour la conservation de la nature.
- A.R.V.I** : Indice réduisant les effets atmosphériques.
- B.D.G** : Base de données géographiques.
- C.N.E.S** : centre national d'études spatiales.
- C.N.R.S** : Centre nationale de la recherche scientifique.
- C.N.T.S** : Centre nationale des techniques spatiales.
- C.T.S** : Centre des techniques spatiales.
- C.A.O** : Cartographie assistée par ordinateur.
- D.A.O** : Dessin assisté par ordinateur.
- D.G.F** : Direction générale des forets.
- D.P.A.T** : Direction de la population et agglomération de Tlemcen.
- D.S.A** : Direction des services agricoles.
- D.V.I**: Indice de vegetation brut
- E.S.A**: European space agency.
- E.R.T.S**: Earth resources technology satellite.
- E.T.M**: Enhanced thematic mapper.
- E.N.V.I**: Environnement for visualizing images.
- E.V.I**: Indice corrigeant les effets conjugués du sol et atmosphere.
- G.O.E.S**: Geostationary operational environmental satellite.
- H.R.V** : Haute résolution dans le visible.
- I.N.R.F** : Institut national de recherches forestières.
- I.G.N** : Institut géographique national.
- I.N.C.T** : Institut national de cartographie et télédétection.
- I.N.R.A** : Institut national de recherche agronomique.

## Liste des acronymes

---

- LANDSAT** : Satellite de la terre (land : terre ; sat : satellite).
- L.A.I** : Indice de surface foliaire.
- L.A.D**: Leaf angle distribution.
- MAPINFO** : Map information.
- M.N.T** : Modèle numérique de terrain.
- M.S.A.V.I** : Indice modifié de végétation ajusté pour le sol.
- M.S.I** : Indice de stress hydrique
- M.S.S** : Multispectrale scanner.
- N.D.V.I**: Normalised difference vegetation index.
- N.D.W.I**: Indice de stress hydrique
- N.A.S.A**: National aeronautics and space administration.
- N.O.A.A**: National oceanographic and atmospheric administration.
- O.N.U** : Organisation des nations unies
- O.N.M** : Office nationale de météo.
- P.I.R** : Proche infrarouge.
- P.V.I**: Indice de végétation perpendiculaire.
- R.G.P.H** : Recensements généraux de la population et de l'habitat.
- R.V.8** : rouge, vert, bleu.
- R.V.I** : Indice de végétation par quotient.
- S.I.G** : Système d'information géographique.
- T.M**: Capteur « Thematic mapper ».
- S.A.U**: Surface agricole utile.
- S.A.V.I** : Indice de végétation ajusté au sol.
- SPOT** : Satellite pour l'observation de la terre.
- SFPT** : Société française de photogrammétrie et de télédétection.
- SGBD** : Système de gestion de bases de données.

## Liste des acronymes

---

**S.T.I** : Systèmes de traitements d'images.

**T.D.V.I** : Indice de température, végétation, sechresse.

**T.S.A.V.I** : Indice transformé pour végétation ajusté pour le sol

**I.C** : Indice de charge.

**I.B** : Indice de brillance.

**QX** : Quintaux.

**V.A.S**: Visible infrared spin. Scan radiometer atmospheric sounder.

**X.S** : Multispectrale.

# *Introduction*

# Introduction

---

## Introduction

La zone steppique occupe en Algérie une position centrale dans le sens Nord-Sud. Elle joue à la fois un rôle économique par la pratique de l'élevage ovin et la production d'alfa et un rôle de zone tampon entre le Tell agricole au Nord, et le désert du Sahara au Sud.

Les parcours steppiques couvrent 20 millions d'hectares, soit 8,4% de la superficie du pays et cette partie du territoire abrite 25% de la population algérienne. Au Nord, se trouve la zone Tellienne où sont concentrés 66% de la population sur à peine 4% du territoire. Au Sud, 9% de la population sont éparpillés sur une vaste zone saharienne qui couvre 87 % du territoire (Bekkouche, 2011). Cette répartition inégale de la population entraîne de sérieux problèmes d'aménagement du territoire. Aussi, une répartition plus équilibrée est-elle nécessaire. Elle dicte la prise de dispositions pour l'encouragement d'un flux migratoire vers les espaces steppiques où les spécialistes de l'aménagement du territoire avaient même, un moment, envisagé la création d'une nouvelle capitale (Bougezoul près de Djelfa). Or, le phénomène de désertisation entraîne l'exode en sens inverse aggravant l'accroissement anarchique des établissements humains et accentuant les risques de dégradation de l'environnement.

La végétation joue un rôle fondamental dans la structure et le fonctionnement de l'écosystème dont elle constitue une expression du potentiel biologique. Cependant, le couvert végétal naturel y est soumis à un double stress édaphoclimatique d'une part et anthropogène d'autre part. Décideurs et chercheurs n'ont cessé d'insister sur la gravité et l'aggravation constante des phénomènes de dégradation des parcours steppiques et sur l'urgence à adopter les solutions adéquates afin d'y remédier. Malgré les efforts déployés en matière d'investigations écologiques et socioéconomiques, les résultats obtenus issus de quelques tentatives de développement sont très loin des espoirs escomptés.

Une meilleure compréhension de l'évolution des modes d'utilisation des sols et du couvert végétal est une préoccupation majeure pour les zones dont les écosystèmes subissent des dégradations sévères. En effet, les dynamiques d'occupation des sols ont des implications directes sur la disponibilité des ressources naturelles. L'utilisation des nouvelles approches, pour mesurer les états de la dégradation à travers des analyses spatiales afin d'entreprendre de réelles options de gestion pour ces milieux devenus très fragiles et exposés aux phénomènes de la désertisation, reste incontournable.

Notre étude menée sur la steppe de Tlemcen en Algérie occidentale, en utilisant les classifications supervisées des images satellitaires de 1984 et 2011, met en évidence l'ampleur des changements du couvert végétal entre 1984 à 2011.

Ce travail s'organise autour de 6 chapitres :

- Le 1<sup>er</sup> chapitre présente l'outil de travail ;
- Le second chapitre illustre l'importance de cet outil dans l'étude de la végétation ;
- Le troisième chapitre a été réservé à la présentation de la zone d'étude ;
- Le quatrième chapitre donne un aperçu sur l'espace écologique et socio-économique de la zone d'étude ;

## Introduction

---

- L'avant dernier chapitre résume les différentes étapes poursuivies dans la méthodologie de travail ;
- Le dernier chapitre présente les principaux résultats obtenus avec des commentaires.

*Chapitre I :*  
*Téledetection et SIG*

## CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'OUTIL TELEDETECTION ET GEOMATIQUE

### I.1 La télédétection

#### I.1.1 Définitions

On peut donner plusieurs définitions de la télédétection :

La télédétection se définit comme un processus d'acquisition d'informations à propos d'un objet, d'une surface, d'un phénomène, sans contact avec eux.

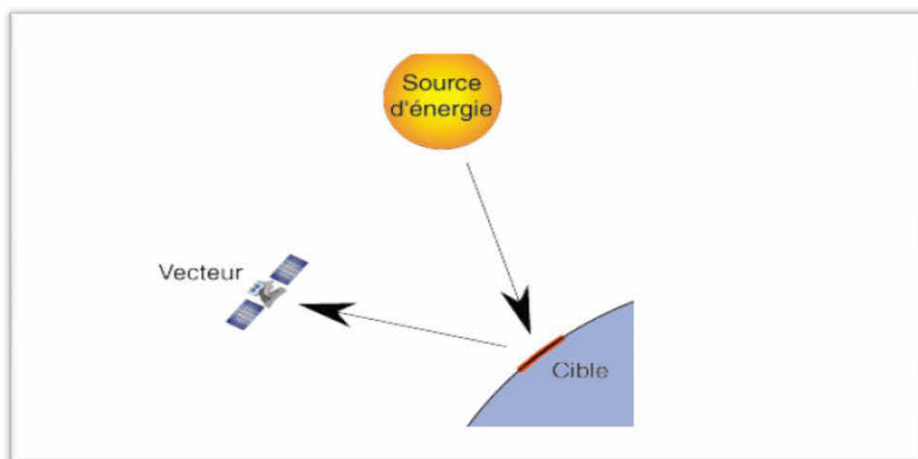
Notre œil est un excellent exemple d'un dispositif de télédétection. Nous sommes capables d'estimer la quantité et la nature de l'énergie de la lumière visible réfléchi nous parvenant dans notre champ visuel et d'en déduire des informations à propos de notre environnement. Cette énergie est produite par une source externe, en général le soleil.

La télédétection est aussi définie comme "l'ensemble des techniques mises en œuvre à partir d'avions, de ballons ou de satellites qui ont pour but d'étudier soit la surface de la terre ou d'autres planètes, soit l'atmosphère en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises, réfléchies ou diffractées par les différents corps observés " (SCANVIC, 1983 *in* HADDOUCHE, 1998).

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

#### I.1.2 Principes de base de la télédétection

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur.



**FIGURE n°01 : PRINCIPE DE BASE DE LA TELEDETECTION**

Source : BONN *et* ROCHON *in* HADDOUCHE (1998).



### I.1.2.1 La cible

Est la portion de la surface terrestre observée par le satellite. Sa taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.

### I.1.2.2 La source d'énergie

Est l'élément qui éclaire la cible en émettant une onde électromagnétique (flux de photons).

En écologie, la source d'énergie est le soleil. Néanmoins, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite lui-même en source d'énergie. Il est également possible de mesurer la chaleur qui se dégage à la surface de la cible (infrarouge thermique), auquel cas c'est la cible qui est source d'énergie (bien qu'il s'agisse d'énergie solaire stockée et réémise).

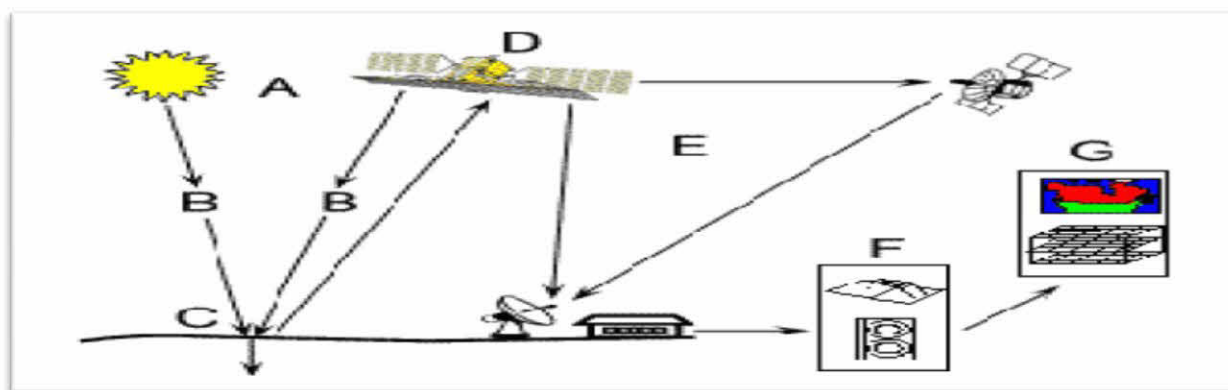
### I.1.2.3 Le vecteur

La plate-forme de télédétection mesure l'énergie solaire (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible. Le vecteur peut être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36.000 kilomètres. Les capteurs embarqués sur le satellite mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoie l'image sur terre vers des stations de réception.

Lorsque le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, on parle de télédétection passive et lorsque le satellite émet une onde vers la cible et en mesure l'écho, on parle de télédétection active.

### I.1.3 Les sept étapes clés

De manière plus détaillée, on peut schématiser la télédétection comme un ensemble de sept étapes clés.



- (A) : Source d'énergie ou d'illumination ; (D) : Enregistrement de l'énergie par le capteur ;  
(B) : Rayonnement et atmosphère ; (E) : Transmission, réception et traitement ;  
(C) : Interaction avec la cible ; (F) : Interprétation et analyse ; (G) : Application.

**FIGURE n°02 : LES SEPT ETAPES CLES DE LA TELEDETECTION**

Source : BONN et ROCHON in HADDOUCHE (1998).

## I.1.4 Objectifs de la télédétection

La télédétection permet la production d'images ou de photographies qui, par l'interprétation des informations acquises, permettent des applications multiples et une meilleure gestion des ressources naturelles de notre planète:

- surveillance de l'environnement;
- agriculture;
- cartographie;
- aménagement.

## I.1.5 Techniques de la télédétection

Les techniques de la télédétection se différencient les unes des autres et cela par le type de vecteur (avion ou satellite), le mode d'acquisition (analogique ou numérique), la résolution spatiale, la gamme spectrale utilisée et la surface observée.

Les techniques de la télédétection sont actuellement au nombre de quatre (4):

- la photographie aérienne ou spectrale;
- la télédétection multi spectrale visible;
- la télédétection thermique;
- la radar graphie.

Elles se différencient par le type des capteurs utilisés (caméra, radiomètre, radar) et par le mode d'acquisition actif ou passif (HADDOUCHE ,1998).

## I.1.6 Bases physiques et technologiques

### I.1.6.1 Le rayonnement électromagnétique

La notion de spectre fait référence à la décomposition de la lumière blanche au moyen d'un prisme. Cette nomenclature a été étendue à toutes les ondes électromagnétiques, dont le visible n'est qu'une petite partie (figure 3). Les différents types de rayonnement sont classés selon leurs longueurs d'onde et leurs fréquences.

Les principales zones employées dans les mesures de télédétection sont:

#### • **Les ondes non-visibles :**

- ✓ 0.35 - 0.40 mm (ultraviolet)
- ✓ 0.70 - 0.90 mm (proche infrarouge)

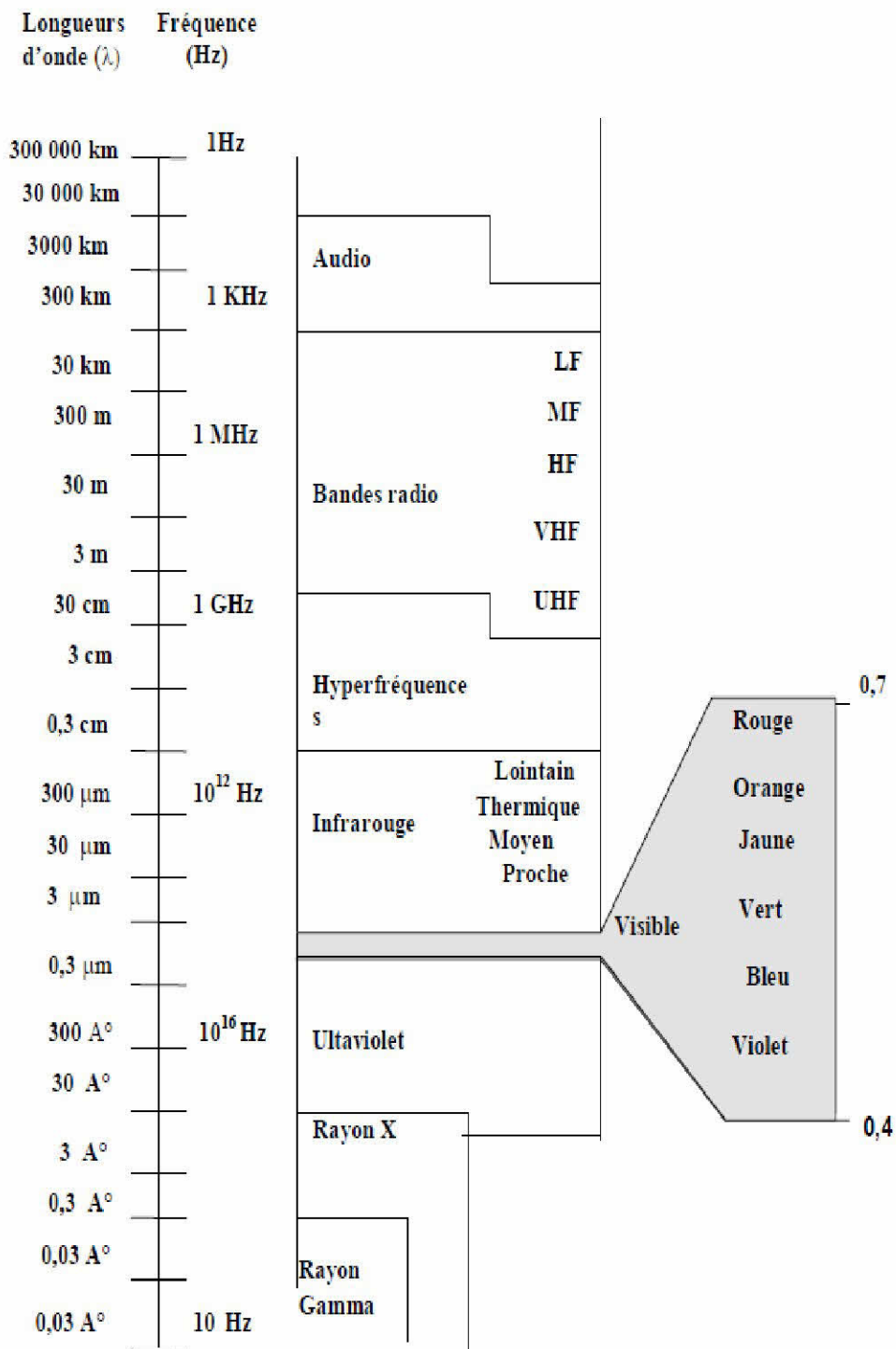
#### • **Les ondes visibles :**

- ✓ 0.40 - 0.70 mm (visible).

L'œil humain ne peut voir que la synthèse des trois bandes suivantes :

- ✓ 0.40 - 0.50 mm (bleu);
- ✓ 0.50 - 0.60 mm (vert-jaune);
- ✓ 0.60 - 0.70 mm (rouge) (HADDOUCHE, 1998).

## OUTIL DE TRAVAIL



**Figure n°03 : Spectre électromagnétique « fenêtres de transmission de L'atmosphère utilisée par les satellites de télédétection ».**

**Source:** BONN *et* ROCHON *in* HADDOUCHE (1998).

### I.1.6.2 Sources d'énergie électromagnétique

Les sources d'énergie utilisées en télédétection sont de deux types:

- **sources naturelles:** corps noir, soleil, terre;
- **sources artificielles:** radar et lasers.

#### ➤ *Sources naturelles*

Elles sont aussi appelées sources thermiques. Le corps noir est le radiateur parfait, car il émet toute l'énergie absorbée. Le rayonnement du soleil correspond à peu près à celui du corps noir. La terre représente aussi une source d'énergie qui émet essentiellement dans l'infrarouge lointain. Tous les objets se trouvant sur la surface de la terre émettent des radiations lorsque leur température est supérieure à -273 °c.

#### ➤ *Les sources artificielles*

Elles sont constituées par différents appareils tels que les lasers et les radars (HADDOUCHE, 1998).

### I.1.6.3 Notion de réflectance

#### ➤ *la définition de la réflectance*

« C'est le rapport entre l'énergie réfléchi par un corps et l'énergie incidente. Les données recueillies sur les images, et pouvant être quantifiées, représentent l'intensité relative des différentes longueurs d'ondes. Ces valeurs enregistrées simultanément représentent " la signature spectrale des objets." (GIRARD *et* GIRARD, 1977 *in* HADDOUCHE, 1998).

Cette énergie ou signature spectrale est donc propre à chaque objet et rend sa discrimination possible (STONNER *et* BAUGARDNER, 1981 *in* HADDOUCHE, 1998).

La réflectance des sols résulte directement de leur composition et de leurs couleurs.

Elle varie suivant les diverses combinaisons entre les principaux paramètres de surface tels que: la matière organique, le fer et le calcaire; elle varie aussi en fonction de l'humidité (MERZOUK A., 1992). Les sensations de couleur résultent des valeurs de la réflectance dans le visible (GIRARD *et* GIRARD, 1989 *in* HADDOUCHE, 1998).

La réflectance se mesure au moyen de spectroradiomètres. On peut alors tracer des courbes donnant la réflectance en fonction de la longueur d'onde. Selon leur nature, les objets auront des courbes de réflectance différentes. Cette propriété, dont la couleur est un aspect bien vulgarisé, est celle qui a conduit à concevoir des systèmes d'acquisition du rayonnement selon des canaux de longueur d'onde distincts.

L'expérience montre que, dans les mêmes conditions géométriques d'incidence et d'observation, un objet a une luminance qui varie avec la longueur d'onde (SCANVIC, 1983 *in* HADDOUCHE, 1998).

#### ➤ *La compréhension du phénomène*

Pour un rayonnement quelconque qui arrive sur un objet on peut écrire la loi de conservation suivante :  $R+T+A=1$ .

Où : R: énergie Réfléchie;  
T: énergie Transmise;  
A: énergie Absorbée.

Seules les ondes réfléchies par les objets peuvent être enregistrées par un capteur. Ce sont elles qui sont intéressantes en télédétection. Par ailleurs, tous les objets émettent de l'énergie dans différentes longueurs d'onde. Elle peut être captée par des appareils de télédétection et analysée.

En définitif, les capteurs enregistrent l'énergie issue principalement d'un rayonnement incident, ou de l'émission d'ondes électromagnétiques par l'objet.

## I.1.7 Méthodes de traitement d'image

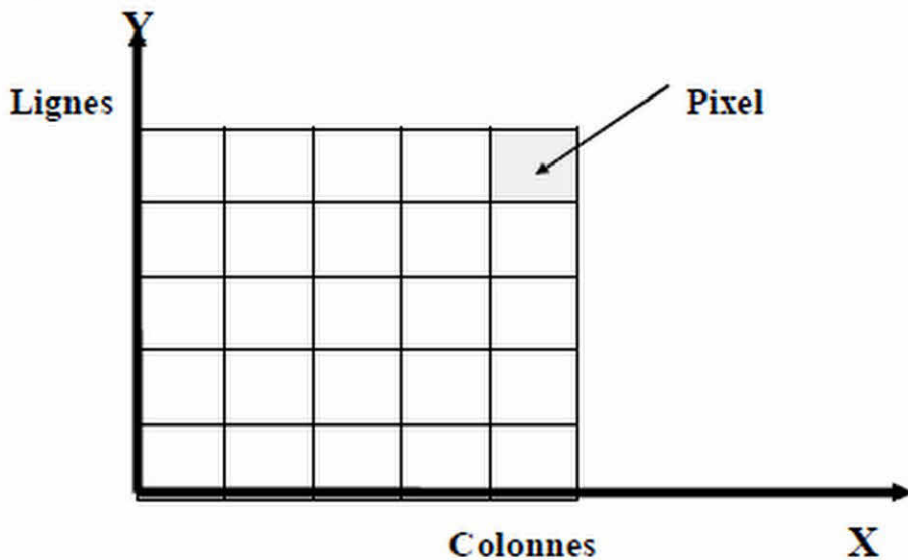
### I.1.7.1 L'image numérique de la télédétection

Toute représentation d'un objet ou d'une scène dans un plan est dite image.

Il y a trois formes physiques d'existence d'une image:

- forme binaire (trait);
- en niveaux de gris;
- en couleurs.

Une image numérique de télédétection est un document et une technique d'approche du milieu naturel ou d'analyse de la surface de la terre. Elle est sous forme d'une matrice géométrique à deux dimensions :



**Figure n°04 : Représentation de l'image**

Source : HADDOUCHE (1998).

Cette image est acquise, en général, par un capteur électronique embarqué à bord d'un vecteur et captant l'énergie provenant de la surface terrestre. Cette dernière est reçue par le capteur puis transformée en signaux électriques par les détecteurs.

### I.1.7.2 Signification thématique des canaux

Chaque cible thématique est caractérisée par une signature spectrale. Elle ne réagit pas de la même façon dans les différents canaux.

« L'analyse des réflectances moyennes des différents thèmes individualisés dans chacun des canaux permet le choix des bandes spectrales appropriées pour la cartographie des sols » (ESCADAFAL, 1989 *in* HADDOUCHE, 1998).

### a) indice de brillance

Il traduit les changements de limites de sols nus. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les canaux. Cet axe communément appelé " droite des sols" permet de mettre en évidence, en plus de l'humidité du sol, sa rugosité et sa couleur (GIRARD M-C, 1977; BIALOUSZ, 1977; ARROUAYS, 1987; HINSE *et al.*, 1989 *in* HADDOUCHE, 1998). L'indice de brillance trouve, au niveau du sol, toute sa justification dans la corrélation existant pour les sols entre les canaux rouge et infrarouge (KING, 1994). IL peut être comparé avec l'indice de végétation dans la même frange de bande.

### b) Indice de végétation

Il est une réduction de l'information de type radiométrique contenu dans le capteur. Les types d'indices sont souvent de bons indicateurs de la densité de la végétation mais doivent être manipulés avec prudence et après une étude attentive de leurs valeurs relativement à des données de terrain (DESHAYES *et* MAUREL, 1990).

Ces indices sont aisément construits par une simple combinaison linéaire de canaux qui ont pour but:

- La recherche de la corrélation entre l'indice de végétation et la densité du couvert végétal (détermination des indicateurs de développement à partir de la réponse spectrale des végétaux).
- La prévision des récoltes à partir des indices de végétation.

### I.1.7.3 Traitement des données

Avant que les données numériques ne soient prêtes à l'interprétation, il faudrait tout d'abord qu'elles passent par une chaîne de traitements visant l'élimination des défauts contenus dans les données brutes et leur amélioration (BONN *et* ROCHON, 1993 *in* HADDOUCHE, 1998).

Cette chaîne de traitements comporte deux grandes étapes:

#### a. Les prétraitements

##### ▪ *Les corrections radiométriques*

Les données télé détectées à l'état brut comportent des défauts radiométriques, ponctuels ou en lignes, dus essentiellement au capteur embarqué à bord du satellite « Une correction radiométrique vise l'élimination de ces défauts. Elle consiste en outre à un reformatage et à une élimination du lignage dans les images, notamment une calibration relative des canaux » (BARIOU, 1978 *in* HADDOUCHE, 1998).

##### ▪ *Les corrections géométriques*

Les fenêtres comportent des distorsions géométriques dues à l'instrument d'enregistrement des données et à la courbure de l'écran sur lequel les images ont été photographiées. Les images vont être, par conséquent, rectifiées par extrapolation afin d'avoir l'image superposable à la carte topographique considérée comme référentiel (BARIOU, 1978 *in* HADDOUCHE, 1998).

## OUTIL DE TRAVAIL

### b. Les traitements d'amélioration

#### ❖ *L'équilibrage de la dynamique*

Un détecteur a une sensibilité radiométrique égale à 256 niveaux de gris, l'information numérique répartie sur cette gamme est restituée sur un film de sensibilité 16 fois plus moindre. Ceci engendre une perte considérable d'informations que nous cherchons à minimiser par un ajustement de la densité en la ramenant à un niveau plus compatible.

#### ❖ *La composition colorée*

L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pouvant refléter de près ce qu'on espère ressortir à partir des données télé détectées. Pour ce faire, on a recours à la combinaison de trois (03) canaux en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales : Bleu, Vert ou Rouge; c'est à dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde à savoir: Vert, Rouge, Proche infrarouge.

Tableau n° 01 : Couleurs primaires et leurs longueurs d'ondes

LONGUEUR D'ONDE	COULEUR AFFECTEE
Vert	Bleu
Rouge	Vert
Proche infrarouge	Rouge

Source : HADDOUCHE (1998).

Le résultat final correspond à une image trichrome appelée **composition colorée** dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances dans ces trois couleurs de base.

#### ❖ *Conversion RVB ITS*

De la même façon qu'une couleur peut être parfaitement définie comme un mélange de quantités de rouge, vert, bleu (système RVB), elle peut aussi être définie par trois paramètres: Intensité, Teinte, Saturation...

#### *Intensité*

C'est le degré d'éclaircissement ou d'assombrissement d'une couleur. L'intensité d'une couleur correspond à la quantité d'énergie réfléchiée par l'objet coloré.

#### *Teinte*

Elle représente la qualité spécifique de sensation, ou dominante de couleur due à une radiation de longueur d'onde déterminée.

## OUTIL DE TRAVAIL

---

EX: rouge, vert, bleu, jaune.

Remarque: noir, gris, blanc ne correspondent à aucune teinte.

### **Saturation**

Elle est inversement proportionnelle à la fraction de radiation blanche qui affaiblit la coloration du rayonnement. Cette saturation représente la pureté de la couleur.

Les trois paramètres I, T, S constituent un triplet de propriétés nécessaires pour définir une couleur.

Le principe de ce traitement consiste à générer à partir des canaux bruts du système RVB, de nouveaux canaux dont la représentation des images est en intensité, teinte et Saturation (**I.T.S.**).

Ce traitement est intéressant du fait qu'il permet d'obtenir une meilleure perception et différencie la géomorphologie de la végétation.

En général, « I » varie de 0 à 1 (exprimé généralement en pourcentage) de noir et blanc ;

« T » varie de 0 à 360 degrés en décrivant toutes les teintes ;

« S » varie de 0 à 100% de pureté.

<b>INTENSITE</b>	Luminosité, énergie
<b>TEINTE</b>	Nature de la couleur
<b>SATURATION</b>	Force de la coloration

### c. Les traitements d'optimisations

#### ✓ **optimisation de la densité**

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

#### ✓ **Analyse en Composantes Principales (ACP)**

Elle permet la dé corrélacion et la compression de l'information dans des composantes principales en éliminant les redondances. La première composante contient le maximum d'informations (géomorphologique et végétation), les autres contiennent une information complémentaire (sols de grande brillance).

Autrement dit, elle permet de réduire la dimension initiale du fichier de données, tout en conservant le maximum d'informations. L'**A.C.P.** est une méthode statistique essentiellement descriptive.



### d. Les traitements spécifiques

#### ✓ **Filtrage**

Il consiste à isoler, grâce à des filtres différents, les objets qui présentent des signatures spectrales différentes pour les mettre en évidence.

-**Filtrage de Sobel et Kirsh**: il consiste à appliquer une matrice (3x3) dans le but de rehausser les différences de niveaux de gris suivant une ou plusieurs directions données.

-**Rapport entre les bandes spectrales**: à chaque objet correspond une réflectance propre dans une gamme de longueur d'onde donnée, et une autre valeur de réflectance dans une bande spectrale. Cette différence constitue la signature spectrale.

#### ✓ **Rehaussement d'image**

Ce genre de traitement permet d'augmenter les transitions entre les différents objets thématiques (amélioration des contours et nuances de couleurs).

#### ✓ **Classification multi spectrale**

Elle consiste à attribuer un pixel ou un groupe de pixels à une classe donnée et de généraliser à l'ensemble de l'image en utilisant des méthodes automatiques de classification et ceci grâce à deux modes :

• **Mode supervisé**: il exploite toutes les connaissances préalables de l'utilisateur.

• **Mode non supervisé** : il consiste à utiliser le calcul informatique pour classer

Les données selon une logique automatisable.

En se référant à l'objectif fixé au préalable, le traitement spécifique est l'ensemble des méthodes qui visent la discrimination des différents thèmes relatifs à cet effet. Ces derniers sont repérés puis regroupés en classes selon leurs signatures spectrales, cependant, cette opération de classification ne permet pas toujours de tenir compte de la réalité. Dans la pratique, il existe deux types de classification selon que l'on tienne ou non compte de la réalité terrain:

#### ✓ **classification supervisée**

Elle consiste à regrouper les différents thèmes selon leurs signatures spectrales en injectant a priori au calculateur l'information réalité terrain suivant une méthode statistique déterminée. Enfin, l'opération d'attribution des pixels aux différentes classes est généralisée sur l'ensemble de l'image. Cette information est obtenue à partir d'un échantillonnage soigneusement fait sur terrain. A cet effet, les zones d'échantillonnage sont représentées sur une carte topographique.

#### ✓ **classification non supervisée**

Cette classification ne fait pas intervenir dans son algorithme de traitement la « réalité terrain ». Les écologues optent pour la classification supervisée, la méthode non supervisée nécessite une connaissance très approfondie du terrain.

### e. l'interprétation

Suite aux différentes étapes de traitements effectuées sur les données numériques, on obtient une image améliorée prête à l'interprétation.

## OUTIL DE TRAVAIL

---

### ❖ *La mosaïque*

Pour une interprétation globale des images couvrant une zone d'étude, il est nécessaire de les regrouper en agrégat appelée « **mosaïque** ».

Cette opération s'effectue en deux étapes :

- ✓ ***obtention d'un meilleur rendu possible*** de l'image et ce en ayant un "raccord coloré optimal", lequel peut être obtenu en gardant le même seuillage des canaux pour l'ensemble de la mosaïque.
- ✓ ***correction géométrique***: les fenêtres comportent des distorsions géométriques dues à l'instrument d'enregistrement des données et à la courbure de l'écran sur lequel les images ont été photographiées.

### ❖ *L'interprétation proprement dite*

L'interprétation des images satellites est basée sur le même principe adopté pour l'interprétation des photographies aériennes. Elle consiste en une analyse qui prend en considération les paramètres de texture, structure et forme.

- ✓ ***l'interprétation globale***: une vue générale est faite sur l'ensemble de l'image permettant d'en extraire les grands traits, tels les différentes teintes existantes et leur répartition.
- ✓ ***l'interprétation définitive***: elle consiste à délimiter des aires ayant la même teinte appelées « zones isophènes ». Ce découpage correspond à des thèmes que le thématicien est sensé dégager par analogie avec des documents caractérisant la même zone (cartes, documents, etc.). Toutefois, la légende définitive n'est établie qu'après vérification et confirmation sur terrain.

## I.2 LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

### I.2.1 Introduction

Le système informatisé comprenant plusieurs bases de données géographiques et un logiciel de gestion et d'accès aux informations dont le but est de centraliser, d'organiser, de gérer et d'analyser les données et leurs mises à jour.

Le SIG permet d'établir des liens complexes entre plusieurs types de données géographiques (géologiques, géomorphologiques, pédologiques, phytogéographiques, ....etc.). L'information est organisée en niveaux de données (chiffres / cartes ; national / régional ; ... etc. ) qui peuvent être superposés, interactifs ou isolés. La restitution sous formes de cartes, de tableaux et de statistiques de la synthèse des données est l'un des principaux atouts des SIG.

Utilisé dès les années soixante, dans une optique d'archivage, le SIG s'est peu à peu développé et n'a cessé d'agrandir l'éventail de ses interventions. Ses différents domaines d'application sont, entre autres, la cartographie, les analyses de l'aménagement du territoire, de l'occupation des sols, de l'écosystème, de l'environnement (pollution, catastrophes naturelles, ... etc.), les analyses topographiques, géologiques, agricoles et démographiques. Les organismes utilisant des systèmes d'information géographique sont multiples : par exemple au niveau national, INCT et le CTS pour les domaines topographiques et cartographiques ; au niveau européen : Eurostat et au niveau mondial : l'ONU.

La gestion, la surveillance de l'environnement nécessite la prise en compte de renseignements multiples permettant une meilleure prise en décision, que ce soit en matière d'aménagement, de dégradation du sol et de lutte contre la désertification.

### I.2.2 Définition d'un système d'information géographique (SIG)

Le SIG, abréviation composée essentiellement de trois notions :

- **Notion de système** : Un système est un ensemble organisé globalement et comprenant des éléments qui se coordonnent pour concourir à une information et donc un système relie un ensemble d'objets et d'activités pour qu'ils interagissent dans un but unique.
- **Système d'information** : c'est donc un système qui, dans sa globalité, regroupe des équipements, des procédures, des ressources humaines et surtout des matières premières (données) prêtes au traitement, et ce, pour pouvoir fournir des informations désirées.
- **Système d'information géographique (SIG)** : selon les auteurs, plusieurs définitions ont été dictées, elles s'orientent vers les mêmes ordres et prennent les fonctionnalités que doit avoir tout SIG.

Selon BURROUGH (1986) *in* HADDOUCHE (2009), il s'agit d'un « ensemble puissant d'outils pour rassembler, stocker, extraire à volonté et visualiser des données spatiales du monde réel pour un ensemble particulier d'objectifs ».

Une définition du SIG a été adoptée lors du colloque de Strasbourg (Novembre 1990) et qui est la suivante : « Un système d'information permettant à partir des divers sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et présenter des

informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace » (DIDON, 1990).

D'après ESSEVAZ-ROULET (1999) *in* MIDOUN (2006), « Un système comprend un matériel informatique et le personnel associé et remplissant des fonctions d'entrée, de traitement, de mémorisation, de sortie et de commande pour effectuer une suite d'opérations portant sur des données ».

GILLIOT (2000) rapporte que « C'est un ensemble de données numériques localisées géographiquement et structurées à l'intérieur d'un système de traitement informatique comprenant des modules fonctionnels permettant de conduire, de modifier, d'interroger, de représenter cartographiquement, la base de données selon des critères sémantiques et spatiaux ».

A partir de ces définitions, il paraît bien clair que le module de données joue un rôle important dans un SIG et que les SIG actuels sont issus des résultats des efforts combinés dans plusieurs disciplines (HADDOUCHE, 1998).

### **1.2.3 Le concept du système d'information géographique (SIG)**

Apparue à la fin des années soixante, la notion de SIG résulte de l'extension du système de base de données à tous les types de données géographiques.

A ses débuts, le SIG est un outil de stockage de données en vue de leur restitution cartographique, ensuite ce qui a nécessité la prospection et la recherche à intégrer ces données dans le système général d'information. Ce dernier avènement confère tout son intérêt au concept SIG.

Il faut donc éviter une confusion courante : un logiciel SIG n'est pas un outil de cartographie assisté par ordinateur. C'est bien plus que cela, c'est un ensemble d'outils informatiques intégré, qui permet de gérer des données qui peuvent être localisées. (GAMBLIN 1995 *in* MIDOUN, 2006).

Un SIG est un ensemble de matériels et logiciels autorisant le recueil, la saisie, la codification, la correction, la manipulation et l'analyse, l'édition graphique des données géographiques spatiales : points, lignes, polygones, pixels de différentes valeurs. La gestion des données est un des autres aspects du système, qui prend toute son importance lorsque la base de données se doit impérativement être en phase avec l'actualité.

La gestion de cette base de données est assurée par un SGBD qui doit assurer :

- Des fonctions de gestion nécessaire au maintien et à l'exploitation d'une base de données (saisie, correction, suppression, extraction, interrelation,...etc.) ;
- Des opérations liées à la topographie (recherche sur la localisation, sur l'inclusion,...etc.) ;
- Mais aussi la gestion des droits d'accès.

### I.2.4 Fonctionnement d'un SIG

Un SIG est plus qu'un simple modèle de données où des différents types de structures de données doivent être incorporés. Il est habituellement composé de quatre modules :

- A. Acquisition ;
- B. Gestion de données ;
- C. Analyse ;
- D. Restitution.

Un SIG est capable de traiter de façon conjointe les informations géographiques (contours des unités de sols) et sémantiques (descriptive : classe de sols, occupation du sol, classe des pentes,...etc.) constituant la carte. Il délègue la saisie de l'information graphique à des périphériques spécialisés (saisie manuelle sur digitaliseur, semi automatique sur scanner). Il permet l'acquisition des données sémantiques par interfaçage avec un système de gestion de la base de données (SGBD), qui est à son tour interfacée à un logiciel. (EASTMAN 1993 *in* HADDOUCHE, 1998).

Selon ROBBEZ (1990) *in* MIDOUN (2006), il confie la restitution graphique des résultats à des traceurs ou imprimantes couleur. Les cartes numérisées ne sont plus un document papier, elles sont manipulées sur un écran, la notion d'échelle devient moins importante, on peut désormais réaliser des habillages et des sorties personnalisées rapides avec aussi des croisements des cartes (MASSON, 1992 *in* MIDOUN, 2006).

#### **A. Acquisition de la base de données**

Noyau du système, la BDG est constitué d'un ensemble numérique de « carte » et d'informations associées. Comme cette base de données décrit des objets à la surface de la terre, elle est composée de deux éléments : une base de données décrivant les objets spatiaux (localisation, forme) et une autre définissant les caractéristiques thématiques (attributs) de ces objets. Ainsi, par exemple, on peut avoir une base de données décrivant des objets spatiaux tels qu'un ensemble de dunes de sable, associées à la suscription thématique de ces dernières telle que la progression de désertification, leur superficie, l'ampleur de leurs dégâts, ...etc. Qui constitue la base de données thématique. (Figure 05).

# OUTIL DE TRAVAIL

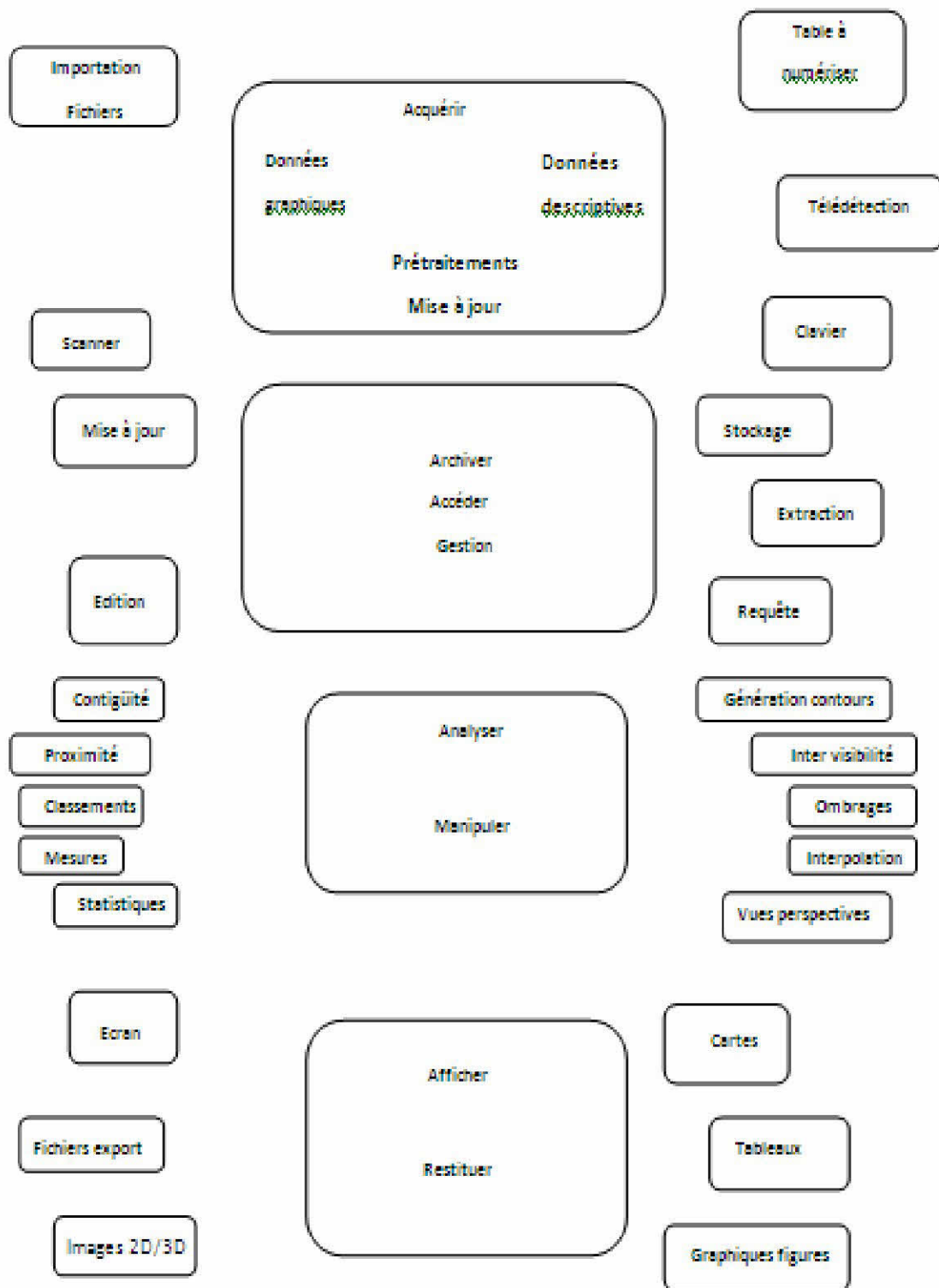


Figure n° 05 : Fonction d'un SIG

Source : DIDON, 1990

### **B. Système de gestion de la BDG**

Le SGBD est le second composant fonctionnel d'un SIG. En fait, normalement, un SIG contient non seulement un SGBD traditionnel, mais une variété d'outils capables de gérer à la fois les dimensions thématiques et spatiales de l'information. A l'aide d'un SGBD, il est possible d'introduire des informations thématiques, sous la forme de tables ou de statistiques et subséquemment d'en extraire des éléments spécifiques des deux mêmes formes. Plus important encore, un SGBD permet l'analyse de ce contenu thématique. (DIDON, 1990).

D'autre part, de nombreuses analyses de données spatiales ne comportent pas de vraies composantes spatiales, elles se suffisent donc d'un seul SGBD conventionnel.

Par exemple si l'on demande au système de trouver toutes les zones comportant des espèces indicatrices de dégradation du sol, on pourra représenter les résultats sous forme cartographique. Le produit final, la carte, sera certes spatiale, mais l'analyse elle – même n'a pas de caractéristiques spatiales. Ainsi, la flèche bidirectionnelle qui lie le SGBD à la composante thématique de la BDG met en évidence ce caractère spatial de l'analyse.

### **C. Système d'analyse spatiale**

Les systèmes précédemment décrits permettent de saisir l'information spatiale sous forme numérique, d'attribuer un contenu thématique aux objets spatiaux, d'analyser cette information sur la base de son contenu thématique et d'effectuer des représentations cartographiques. Ils sont insuffisants pour contenir un SIG, bien qu'ils répondent à d'énormes besoins importants. Mais leur capacité fondamentale est de permettre une analyse des données basée sur leurs caractéristiques spatiales.

L'analyse spatiale de l'information est une extension des capacités d'interrogation des bases de données traditionnelles, en prenant en compte la localisation des observations. L'exemple le plus simple consiste à combiner dans la requête conjointe de deux caractéristiques spécifiques à deux ensembles d'objets spatiaux distincts.

Au-delà de SGBD, le système d'analyse spatiale a une liaison bidimensionnelle avec la BDG pour permettre un traitement de type analytique. Ainsi, il prélève à la fois de l'information de la BDG et la complète à l'aide de l'analyse. Par exemple, on peut chercher les zones d'une région qui ont une faible pente, un sol squelettique et fragile, le résultat pourra d'appeler zone moyennement désertifiée et très sensible à la désertification. Cette information n'existait pas originellement dans la BDG mais a été dérivée sur la base de données existante et d'un ensemble de relations spécifiques. Ainsi, les capacités analytiques d'un système d'analyse spatiale et de SGBD jouent un rôle essentiel dans l'extension de données, au travers des connaissances sur les relations qui existent entre les objets (HADDOUCHE, 1998).

La notion de superposition étant le mot-clé des SIG, l'analyse spatiale par ordinateur a beaucoup évolué cette dernière décennie et propose des opérations bien plus riches et complexes. (IDRISSA, 2004 *in* MIDOUN, 2006).

### D. Système de restitution cartographique

La restitution des données est l'opération de représentation des résultats de l'extension ou de l'analyse de données sous une forme qui soit compréhensible par l'utilisateur ou un autre système informatique.

Autour de la BDG, gravitent un ensemble de systèmes. Le plus élémentaire est celui de représentation cartographique. Ce dernier permet de sélectionner des éléments de la BDG et de les représenter cartographiquement à l'écran ou à l'imprimante.

Dans la plupart des SIG, ces outils de représentation sont très sommaires et font appel à des logiciels spécialisés pour la production finale de qualité sur des supports film ou papier. (HADDOUCHE, 1998).

#### I.2.5 Mode de représentation des données géographiques

Tous les objets spatiaux peuvent être décrits par 3 classes de propriétés :

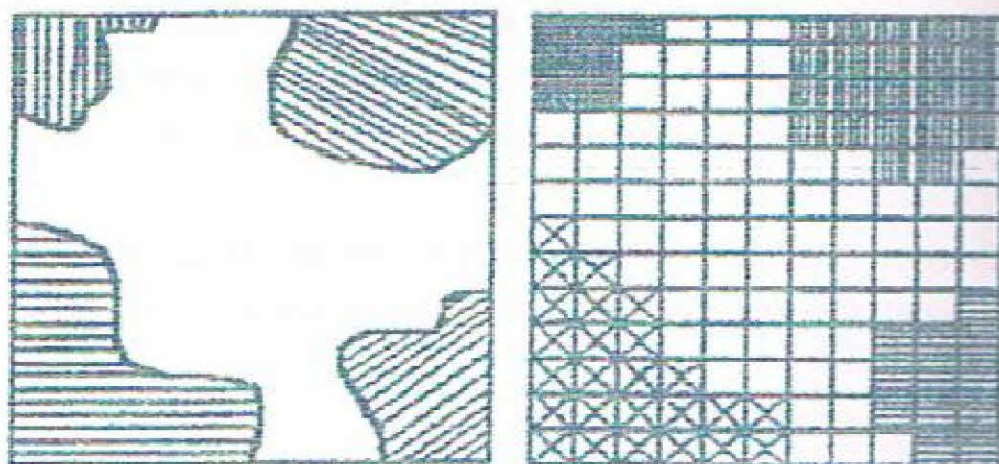
- Leur position à la surface de la terre ;
- Les relations spatiales qu'ils entretiennent avec d'autres objets ;
- Leurs attributs (caractères descriptifs non graphiques).

Quelque soit la structure de donnée adaptée dans le SIG, elle doit être capable de rendre compte correctement de ces 3 types de propriétés. Comme les attributs d'un objet peuvent changer dans le temps sans qu'il y ait modification de la position ou de la forme de l'objet, il est correct de séparer le codage des données graphiques et non graphiques. De la même manière, une limite séparant deux unités graphiques peut être modifiée sans que les attributs de ces deux unités ne subissent aucune altération.

Deux sources principales de données spatiales alimentent les SIG : les images numériques raster et les structures vectorielles cartographiques. Ainsi, l'émergence de SIG dit raster ou vecteur (figure 06). La cohabitation dans le SIG de deux types de données nécessite une bonne connaissance de leurs caractéristiques et de leurs propriétés. (CLRAMUNT, 1991 *in* MIDOUN, 2006).

Un système d'information stocke les deux composantes de l'information décrite par une carte : la description des objets spatiaux et leur thématique. Tous les systèmes n'utilisent pas la même approche pour réaliser cette gestion ; la grande majorité use toutefois d'une des deux techniques fondamentales de représentation : l'approche en mode objet (la structure vecteur) et l'approche en mode image (à structure raster ou maille).





**Figure n°06 : Mode de représentations : Vecteur (à gauche) et Raster (à droite)**

Source: LANGLOIS-CROSWELL (1990) *in* Diddon (1990).

### **a. Mode de représentation vecteur**

Le mode vecteur répond aux soucis de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. Les objets spatiaux peuvent être représentés sur une carte par des points (exemple : puits, points géographiques), des lignes (exemple : routes et rivières) ou des surfaces (exemple : unité géologique, unité pédopaysagique,....etc.).

L'espace des coordonnées est supposé continu. Ainsi, un point est désigné par ses coordonnées  $x, y$  dans un système de référence tel que latitude /longitude ou UTM. Les attributs ou caractéristiques thématiques de ces objets spatiaux sont eux stockés dans une base de données conventionnelle à l'aide d'un système de gestion de données (SGBD). Par exemple, un ensemble de dunes de sable décrit en mode objet peut être associé à une base de données thématique contenant l'exposition, l'allure et l'affectation.

### **b. Mode de représentation raster (ou maille)**

Le mode image est la deuxième forme importante de représentation numérique de l'information spatiale. Dans un système en mode maille, les entités décrites ne sont pas tout à fait des objets spatiaux, mais des unités d'observation qui résultent de subdivision de la zone d'étude en un maillage de cellules rectangulaires.

Cette forme de matrice a deux dimensions où le pas de la maille (cellule) représente l'indicateur de résolution spatiale, (exemple 20\*20m pour les images SPOT HRV et 30\*30m pour les images LANDSAT TM).

Le mode raster reproduit de manière satisfaisante une variable à distribution continue (CALOZ, 1990). Cette variable est en général numérique et entière.

Les deux systèmes, à savoir le mode vecteur et le mode raster, possèdent de points inhérents à leur manière de représenter et de gérer l'information spatiale. Chacun a ses

## OUTIL DE TRAVAIL

avantages et ses inconvénients ; toutefois une comparaison entre eux s'avère utile, illustrée dans le (tableau 02) :

**Tableau n°02 : Avantages et inconvénients de chaque mode.**

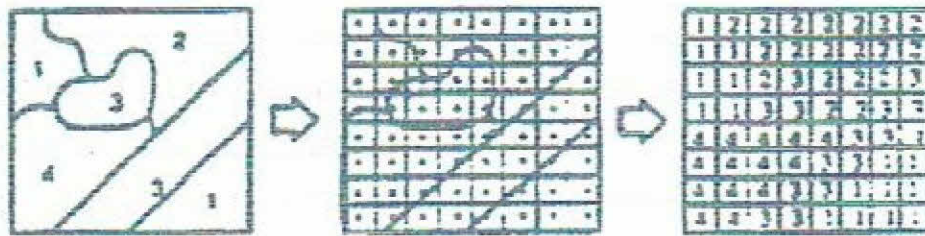
Vecteur	Raster
Avantages	Avantages
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grande précision ;</li> <li>-Stockage plus compact des données ;</li> <li>-Topologie complètement décrite par la liste des relations ;</li> <li>-Représentation graphique précise ;</li> <li>-Extraction, mise à jour et généralisation des graphiques et des attributs possible ;</li> <li>-Plus adopté à des objets décrits c'est-à-dire dont les limites sont parfaitement définies : limites administratives, données urbaines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Structure des données très simples ;</li> <li>-Superposition et combinaison des données très aisées ;</li> <li>-Analyse spatiale aisée ;</li> <li>-Croisement thématique rapide et simple ;</li> <li>-Technologie relativement bon marché et en plein développement ;</li> <li>-Plus adopté à des données dont les limites sont peu précises, données dont la valeur varie graduellement en fonction de la distance : altitude, géologie, pédopaysage.</li> </ul>
Inconvénients	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Croisement thématique plus complexe et plus long ;</li> <li>-Structure des données complexe ;</li> <li>-Combinaison, superposition très difficile à réaliser car chaque cellule est différente ;</li> <li>-Technologie chère car de haute précision graphique ;</li> <li>-Analyse spatiale couteuse en temps de calcul.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Précision liée à la taille ;</li> <li>-Taille des mailles dépendante du phénomène étudié ;</li> <li>-Gros volume de stockage ;</li> <li>-Topologie difficile à implanter ;</li> <li>-Aspect visuel médiocre des documents.</li> </ul>

Source : CALOZ (1990).

Aucune des deux structures ne conviennent pour toutes les applications, et le choix d'un mode de représentation se fera en fonction du type de traitement que les données auront subi. De ce tableau nous pourront dire de façon évidente que tout points faibles des SIG raster sont les points forts des SIG vecteur et inversement. Mais, le problème de choix est simple Delors qu'existent des algorithmes de conversion de données vecteur à raster et réciproquement (figure 07).

## OUTIL DE TRAVAIL

### 1. Conversion vecteur--raster



### 2. Conversion raster -> vecteur

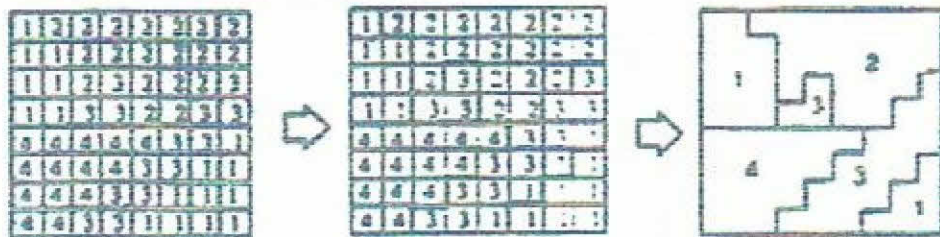


Figure n°07 : Conversions de Vecteur à Raster « rasterisation » et de Raster à Vecteur « vectorisation »

Source : ROBINSON ,1988 in DIDDON (1990).

### Conversion des données :

- **Rasterisation**

La conversion du vecteur au raster est toujours facile et fait appel à des algorithmes simples. Il en résulte une modification des contours des polygones qui peut conduire à une perte d'informations.

- **Vectorisation**

La conversion du raster au vecteur est beaucoup plus délicate, complexe et couteuse en temps de calcul. Il existe des algorithmes permettant de laisser les contours crénelés obtenus après vectorisation.

L'utilisateur du SIG devra donc choisir dans chaque cas, en fonction des données disponibles et de ses objectifs, les démarches méthodologiques optimales. Certaines analyses peuvent faire appel aux deux sources de données « vecteur et raster » ;

- ✓ Drapage d'une carte vectorielle sur un modèle numérique de terrain ;
- ✓ Mise à jour d'une carte vectorielle par superposition d'image raster ;
- ✓ Aide à la classification d'images satellitaires par superposition de cartes vectorielles.

La nature différente et donc complémentaire des données vecteur et raster élargit le sens d'investigation de l'utilisateur du SIG en élargissant, pour une analyse de données, l'éventail des possibilités de traitement.

## OUTIL DE TRAVAIL

L'ensemble de ces particularités fonctionnelles amène une adaptation des modes raster et vecteur aux applications (tableau 03).

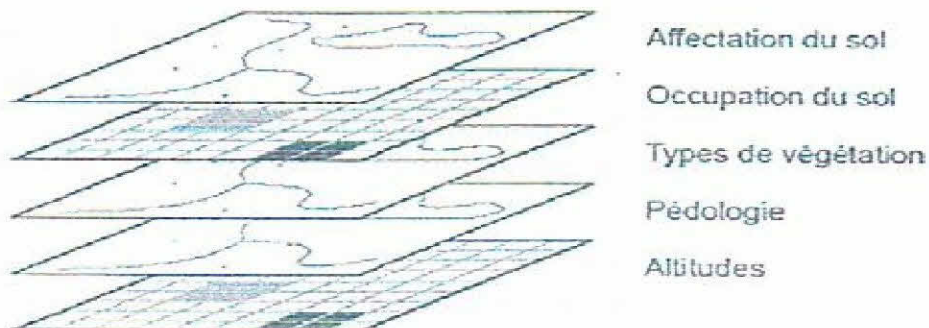
**Tableau n° 03: Domaines d'application**

Application/Sites	Faible densité de données	Haute densité de données
-Systèmes d'information urbains ;	-Vecteur	-Vecteur
-Aménagement du territoire ;	-Raster	-Vecteur-Raster
-Urbanisme ;	-Raster	-Vecteur-Raster
-Hydrologie ;	-Raster	-Vecteur-Raster
-Environnement ressources naturelles.	-Raster	-Vecteur-Raster

Source : INRA (1991).

### I.2.6 concepts de base de données géographiques

Mise à part la procédure suivie par les systèmes raster ou vecteur pour la représentation numérique de l'information spatiale, on n'observe qu'une base de données géographique (une base de données complète sur une région d'étude) est organisée de façon comparable à un ensemble de carte (figure 08).



**Figure n°08 : Couches d'information**

Source : DAO, in HADDOUCHE (1998).

Les systèmes en mode objet s'approchent encore plus de cette logique avec le concept de couvertures (couches) correspondant à un ensemble de cartes qui contiennent la description d'objets spatiaux et leurs tables d'attributs associés. Ces couvertures se différencient cependant des cartes de deux manières ; d'abord parce qu'elles ne contiennent généralement qu'un seul type d'objets spatiaux telles les courbes de niveau, occupation du sol... ensuite, parce qu'à chaque objet peut être associé une série d'attributs décrivant différentes caractéristiques thématiques.

### I.2.7 analyse à l'aide des systèmes d'information géographique

L'organisation de la base de données en couches n'a pas pour seul but la clarté, elle permet un accès rapide aux éléments d'information nécessaires à l'analyse spatiale. La particularité, la justification de l'existence des SIG est de permettre l'analyse spatiale.

Les capacités d'analyse des SIG peuvent être considérées de deux manières : à savoir les outils que propose un SIG ou celui des démarches d'analyse. Que le SIG travaille en mode image ou en mode objet, les outils peuvent être regroupés en 4 catégories et les démarches d'analyse sont de 3 types.

#### a) Les outils :

- ***Interrogation de la BDG***

Les outils les plus fondamentaux d'un SIG sont certainement ceux qui permettent l'interrogatoire de la base de données géographiques (SOUIDI, 2000 *in* MIDOUN, 2006). Cela consiste à récupérer une information déjà existante.

L'interrogatoire peut se faire sur des critères spatiaux : « quel type d'utilisation du sol se trouve à cet endroit ? » ou sur des critères thématiques : « quelles sont les zones les plus ensablées ? » par exemple.

- ***Outils d'analyse thématique***

La combinaison des couches d'informations avec des opérations mathématiques est le deuxième type d'outils qu'offre un SIG.

- ***Opérateurs à distance***

Le troisième groupe d'outils offert par le SIG est constitué des opérateurs de distance. C'est l'ensemble des techniques capables d'intégrer la notion de distance dans l'analyse de l'information.

- ***Opérateurs contextuels***

Ils représentent le quatrième type d'outils que propose le SIG. Ces opérateurs contextuels, permettent la création d'une nouvelle couche d'informations sur la base d'une couche existante et du contexte spatiale de chacune des unités d'observation (cellule) ou chacun des objets spatiaux.

#### b) Les démarches d'analyse

- ***Interrogatoire de la base de données***

L'interrogatoire de la BDG consiste simplement à sélectionner différentes combinaisons de variables et de zones pour examen.

S'agissant de la plupart des systèmes, les opérations d'interrogatoire sont réalisées en 2 étapes :

## OUTIL DE TRAVAIL

---

La première, appelée reclassification, consiste à constituer une nouvelle couche d'informations pour chacune des conditions de la requête. Par exemple, si nous chercherons les zones culturelles situées sur les sols sensibles à la désertification, il faudra dans un premier temps créer une couche des zones culturelles en reclassant tous les types du sol en deux catégories en agissant un (1) aux zones culturelles et zéro (0) aux autres. La couche résultante est appelée couche booléenne (couche logique ou couche binaire), car elle ne retient que les zones qui satisfont aux critères mentionnés (1=vrai, zones culturelles) et attribue aux autres 0 (0=faut autres utilisations). Une fois la couche de zones culturelles est celle des sols sensibles à la désertification réalisées, leur combinaison est possible en utilisant l'opération de « superposition ». Comme deuxième étape, cette dernière est un des points forts des SIG dans la mesure où ils sont les seuls à permettre la combinaison de deux informations à caractère spatial. Cette combinaison fait appel à des opérateurs logiques et mathématiques appliqués sur deux ou plusieurs couches.

- ***Création de nouvelle couche***

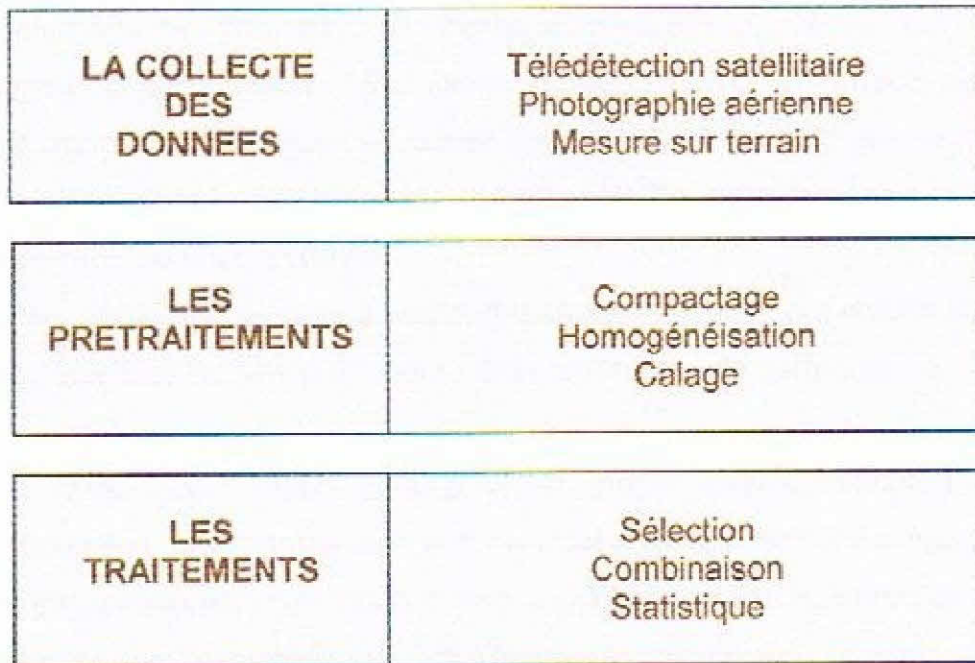
Dans cette démarche, des composantes sélectionnées de la BDG sont combinées pour produire une nouvelle couche d'informations.

- ***Modélisation***

Cette dernière permet de créer des scénarios (modèles) qui peuvent refléter une image projetée dans le futur. Elle demande un développement plus poussé des technologies modernes.

### I.2.8 organigramme d'un SIG

L'architecture d'un SIG s'articule sur trois parties comme l'indique la figure suivante :



**Figure n°09 : Organigramme d'un SIG**

La collecte des données est l'une des principales phases qu'un SIG doit remplir.

Selon le thème de recherche, l'opérateur devra rassembler toutes les données dont il a besoin à partir d'images satellitaires, de photographies aériennes, de mesures sur le terrain, de cartes déjà existantes et de statistiques. Les données peuvent être analogiques et/ou numériques.

Les données traitées ne sont pas de même nature, tant du point de vue sémantique, que du point de vue géométrique. C'est ainsi, les choix des données se feront en fonction de l'objectif de l'étude, qu'il faut choisir les variables les plus utiles et pouvoir les associer selon :

- Le Thème cartographique ;
- L'échelle de la carte ;
- Le système de projection ;
- La date de réalisation.

Certaines cartes sont simplement la transcription d'un tableau de chiffres (carte statistique).

## 1) Les prétraitements

La mise en mémoire informatique de toutes les données graphiques est l'opération la plus longue et la plus ingrate : il faut saisir, vérifier, archiver, et surtout, mettre à jour. Selon, les données analytiques ou numériques, la phase de prétraitement est :

- ✓ Une opération lente si la documentation de base est analogique et couteuse en temps de main d'œuvre ;
- ✓ Une opération onéreuse si les données numériques sont issues des scanners des satellites ou des ordinateurs d'un organisme de cartographie.

Il faudra donc saisir, tout homogénéiser (taille, pixels, échelle), tout caler géométriquement, tout harmoniser soit en mode vecteur soit en mode raster et/ou manager des passages d'un mode maillé au vecteur et inversement et maintenir le tout en phase avec l'actualité ; une tâche longue et fastidieuse.

Du moment où tout est référencé au même quadrillage, il est possible de superposer à l'écran (ou en mode manuel, avec un système transparents) des images satellitaires de structure raster et un fond topographique de structure vectorielle.

## 2) Les traitements

Lorsque des données sont stockées en couches homogènes ou homogénéisées, le traitement consiste à extraire de la mémoire centrale, les fichiers ou les éléments qui intéressent la question posée par le décideur. A partir des données brutes géo référencées, l'opération fournira une information raffinée (SAGE, 1991 in MIDOUN, 2006).

- ✓ Par sélection ;
- ✓ Par combinaison ;
- ✓ Par étude statistique (classification ACP, calcul de surface, et visualisations diverses) ;
- ✓ Par application d'autres algorithmes (probabilités, morphologie mathématique).

## 3) Notion d'échelle

Selon GIRARD *et al.* (1989), la notion n'a plus grand sens quand on utilise les SIG. Il faut la remplacer par plusieurs notions.

- ✓ Niveau de précision des données : type et nature des données, quantité des données, signification spatiale et sémantique de chaque donnée.
- ✓ Champ d'étude : étendu sur laquelle porte des données acquises, ou sur laquelle porte l'étude.
- ✓ Résolution spatiale : surface sur laquelle on dispose d'une donnée. C'est aussi l'inverse de la densité d'observation.



### **I.2.9 SIG et télédétection**

Ces deux technologies qui ont évolué séparément peuvent aujourd'hui être utilisées conjointement de manière interactive et complémentaire.

#### **1). Rapport SIG-télédétection**

Les relations mutuelles entre SIG et systèmes de télédétection sont évidentes ; la télédétection constitue une source de données géographiques. C'est un privilège d'entrée de données pour le SIG (réalisation d'inventaires, uniformisation, actualisation des données existantes).

#### **2). Intégration SIG-STI**

Il existe 3 schémas d'organisation d'un ensemble SIG-STI :

- les deux systèmes sont totalement séparés. Ils communiquent par échange de données à l'aide de formats de transfert ;
- il existe une interface commune aux deux systèmes ;
- intégration SIG et STI est complexe (peu développée encore).

Ces deux derniers schémas, notamment le derniers, permettent de gérer et de traiter des données graphiques classiques (généralement en mode vecteur) et des images de télédétection.

L'intérêt de cette intégration. Par exemple, possibilité en interactif, de remettre à jour un fichier vecteur à partir de l'interprétation d'une image satellitaire, et inversement, des segmentations préalables de fichiers topographiques (ou autres) pour apporter une aide à l'interprétation des images satellitaires.

De même, des données SIG élaborées à partir de cartes existantes ou de données de terrain, peuvent apporter une aide considérable à l'interprétation des images de télédétection. Ces données sont souvent très intéressantes pour l'utilisation régulière et rationnelle de la télédétection.

Ainsi, la liaison et la convivialité entre SIG et le traitement d'images représentent un axe de développement prometteur. Le développement de l'utilisation de la télédétection sera favorisé par le développement des bases de données localisées et SIG ; à moyen terme, le développement de la télédétection pourra à son tour renforcer le secteur SIG.

#### **3). Apport de la télédétection**

La télédétection, notamment satellitaire, de part les qualités intrinsèques des données produites (surface couverte, stéréoscopie parfois, résolution au sol, précision liée à la résolution et la stéréoscopie, répétitivité) peut permettre la mise à jour ou l'élaboration de cartes à intégrer à la base des données.

## OUTIL DE TRAVAIL

---

La télédétection fournit, par exemple, des informations :

-sur l'occupation du sol ;

-permettant l'évaluation prévisionnelle de la nature et du rendement des récoltes ;

-permettant de mettre en évidence des phénomènes périodiques ou exceptionnels (pollution, glissement de terrains, crues, incendies)...etc.

*Chapitre II :*  
*La télédétection appliquée à la*  
*végétation*

## CHAPITRE II. LE ROLE DE LA TELEDETECTION POUR L'ETUDE DE LA VEGETATION

### II.1 Introduction

Les satellites d'observation de la Terre s'avèrent être un outil tout à fait approprié dans l'étude de la biosphère terrestre. Ils sont conçus à toutes les échelles de temps et d'espace, même s'ils ne permettent pas d'observer directement tous les paramètres relatifs à la végétation, comme la hauteur des arbres, leur volume, la structure verticale des couverts ou encore la végétation qui pousse sous les arbres d'une forêt. Depuis bientôt une quarantaine d'années, les nombreux capteurs satellitaires en orbite autour de la Terre offrent un large choix de résolutions spatiales, spectrales et temporelles, pour caractériser et cartographier les couverts végétaux, aussi bien au niveau parcellaire pour l'agriculture de précision, qu'à des échelles plus petites, échelle planétaire par exemple pour les inventaires forestiers mondiaux.

Avant d'aborder le rôle des satellites 'grand champ' pour l'étude et le suivi des dynamiques végétales aux échelles régionale et globale, nous présentons rapidement quelques unes des principales applications de l'imagerie spatiale à haute résolution pour l'étude des surfaces végétalisées.

### II.2 Les satellites à haute résolution spatiale

L'imagerie satellite à haute résolution spatiale (Ikonos, etc.) est utilisée dans de nombreuses applications relatives à l'étude de la biosphère terrestre. L'analyse diachronique d'images haute résolution permet de déceler les changements d'origine naturelle ou anthropique survenus sur un territoire. On peut ainsi surveiller le déboisement, la dégradation, la désertisation et le morcellement des milieux naturels - notamment la dégradation de la steppe qui se fait à un rythme alarmant - dus à un fort développement des pratiques de pastoralisme.

La haute résolution est aussi très utilisée pour étudier l'impact des activités humaines sur l'environnement.

### II.3 Les satellites à moyenne résolutions spatiales

Parmi tous les satellites à moyenne résolution utilisés pour l'étude de la végétation, les plus anciens sont ceux de la série Landsat. Le programme américain de télédétection spatiale Landsat a été le premier programme civil d'observation de la Terre par satellite. Il a commencé avec le lancement du premier satellite Landsat-1, appelé à l'origine ERTS (Earth Resources Technology Satellite) en 1972. L'objectif du programme initié par le gouvernement des Etats - Unis et la NASA, était de fournir de façon régulière des images des ressources terrestres sur le long terme, mais également d'estimer le rendement des récoltes céréalières aux Etats - Unis et en Russie, afin d'anticiper l'évolution des cours du marché boursier. A ce jour, sept satellites Landsat ont été lancés depuis juillet 1972, le dernier, Landsat 7, a été mis en orbite le 15 avril 1999. Les instruments embarqués sur les satellites Landsat et la continuité exceptionnelle du programme ont permis d'acquérir des milliers

d'images de la surface de la planète, utilisées non seulement pour la surveillance des ressources terrestres, mais aussi pour de nombreuses autres applications (cartographie des températures de surface de la mer, gestion de l'habitat, géologie, etc.). Tous les satellites de la série sont placés sur des orbites héliosynchrones quasi polaires (inclinaison de  $98^{\circ}2$ ). Les trois premiers satellites tournaient sur une orbite située à environ 900 km d'altitude, avec une répétitivité de 18 jours. A partir de Landsat 4, l'altitude de l'orbite a été ramenée à 705 km, permettant un gain de deux jours pour la répétitivité. Le décalage de phase entre les orbites de Landsat 4 et 5 permet d'abaisser la répétitivité à 8 jours, ce qui est très intéressant pour suivre l'évolution de la dynamique de la végétation. La fauchée des satellites Landsat est de 185 km. Aujourd'hui, deux satellites sont en fonctionnement, les Landsat 5 et 7. ) (JENSEN, 2000).

Autres satellites à moyenne résolution : SPOT (5 générations), ALSAT1 et ALSAT2...etc.

### II.4 Les satellites à basse résolutions spatiales

L'imagerie satellite à basse résolution spatiale est utilisée de manière régulière depuis bientôt une trentaine d'années pour étudier la biosphère terrestre sur de vastes étendues. A l'échelle de la planète, les satellites 'grand champ' permettent de suivre les variations saisonnières et annuelles des couverts végétaux. Ils sont des outils irremplaçables et constituent une importante source d'informations pour mieux comprendre le fonctionnement de la biosphère, la répartition des types de végétation, ainsi que sa variabilité saisonnière et interannuelle et même à plus court terme.

-Parmi ces satellites, le METEOSAT qui a été mis au point par l'agence spatiale européenne. Le 1<sup>er</sup> satellite de la série METEOSAT fut mis en orbite vers la fin de 1977. Ces satellites sont positionnés sur une orbite géostationnaire au dessus du méridien d'origine (greenwich).

Ces satellites comprennent 3 bandes spectrales (visible, infrarouge moyen et infrarouge thermique) et une tache au sol, à l'équateur de 2.5km dans le visible et de 5km dans l'infrarouge.

La fréquence d'acquisition des scènes multibandes est d'une scène par 30 minutes. Ces satellites servent bien sûr à la météorologie, mais permettent aussi de suivre certains phénomènes dynamiques de la surface comme la désertification. (BONN et GUY, 1996).

-Il y a aussi les satellites GEOS (NOAA geostationary operational environmental satellite) qui, contrairement aux satellites à défilement qui couvrent progressivement toute la surface terrestre, en raison de la rotation de la terre, ces satellites géostationnaires observent toujours la même portion du globe, à une altitude de 35.800km.

Il en faut donc plusieurs à des longitudes différentes pour couvrir le globe, à l'exclusion de la région polaire qui n'est jamais visible sur ces images.

Le 1<sup>er</sup> satellite météorologique géostationnaire a été mis en orbite en 1966. La génération de ces satellites nommés GEOS (geostationary operational environmental satellite) comprend un capteur VAS (visible infrared spin. Scan radiometer atmospheric sounder) qui procure des images du globe par le balayage produit par la rotation même du satellite (environ 100 tours par minute). Les images multibandes (2 canaux) dont la tache au sol est

d'environ 6,9km, sont transmises à toutes les 30 minutes. Deux positions à l'équateur ont été choisies pour ces satellites, l'une à 135° de longitude (GEOS WEST) et l'autre à 75° de longitude (GEOS EAST).

-Il y a aussi le SPOT végétation.

## **II.5 Les caractéristiques spectrales de la végétation**

### **II.5.1 Signatures spectrales des principales surfaces naturelles**

Comme dans la plupart des études thématiques par télédétection, l'identification et le suivi des couverts végétaux repose sur la réponse spectrale des surfaces dans les différentes longueurs d'onde et donc sur la notion de signature spectrale. On explique simplement que la signature spectrale d'une surface correspond à la courbe de réflectance de la surface en fonction des longueurs d'onde du spectre électromagnétique, dans des conditions données. La réflectance correspond au rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi par une surface à celle du rayonnement incident. C'est donc une grandeur sans dimension, qu'on exprime généralement en pourcentage.

Les propriétés spectrales des couverts végétaux dépendent à la fois de la nature de la végétation qui les compose, de leur état physiologique, de leur teneur en eau (propriétés optiques des feuilles), mais aussi du sol sous-jacent qui influera d'autant plus la mesure spectrale que la végétation sera clairsemée (structure du couvert végétal).

### **II.5.2 Les propriétés optiques des feuilles**

Les propriétés optiques des feuilles sont reliées à leurs caractéristiques biochimiques (teneur en pigments, structure cellulaire, teneur en eau, état physiologique, *etc.*). On distingue trois types d'éléments qui interviennent dans les propriétés optiques des feuilles et qui correspondent aux grands domaines spectraux du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen.

- la teneur en pigments
- l'anatomie des feuilles, leur structure cellulaire
- la teneur en eau

Ces trois éléments varient au cours du temps et entraînent par conséquent des changements dans la structure et les caractéristiques des couverts végétaux. Plutôt que de parler de signature spectrale, on va parler de comportement spectral de la végétation.

## ➤ Les pigments foliaires

Tous les végétaux renferment des pigments : chlorophylles (pigments verts), carotènes (pigment orangés) et anthocyanes (pigments bleus rouges), les pigments chlorophylliens étant de loin les plus abondants. La chlorophylle possède deux bandes d'absorption dans le bleu (450 nm) et dans le rouge (660 nm). La présence des pigments foliaires dans les végétaux est donc responsable de la forte absorption du rayonnement visible, avec un maximum relatif de réflectance autour du vert (550 nm). (BONN *et* GUY, 1996).

## ➤ La structure cellulaire des feuilles

La structure anatomique des feuilles joue un rôle très important dans la signature spectrale de la végétation. Si les pigments chlorophylliens absorbent la majeure partie du rayonnement visible qui leur parvient, ils sont en revanche totalement transparents au rayonnement de plus grande longueur d'onde. Le proche infrarouge traverse donc la feuille jusqu'à une couche cellulaire formée de cellules irrégulières et d'espaces intercellulaires dans lesquels sont stockés les gaz échangés entre la feuille et l'atmosphère, le parenchyme lacuneux ou mésophylle. C'est au niveau de cette couche, lieu d'échange entre l'oxygène et le dioxyde de carbone dans les processus de la photosynthèse et de la respiration, que le rayonnement proche infrarouge est fortement réfléchi (figure ci-dessous). Il est d'autant mieux réfléchi que le parenchyme lacuneux est bien développé. (BONN *et* GUY, 1996).

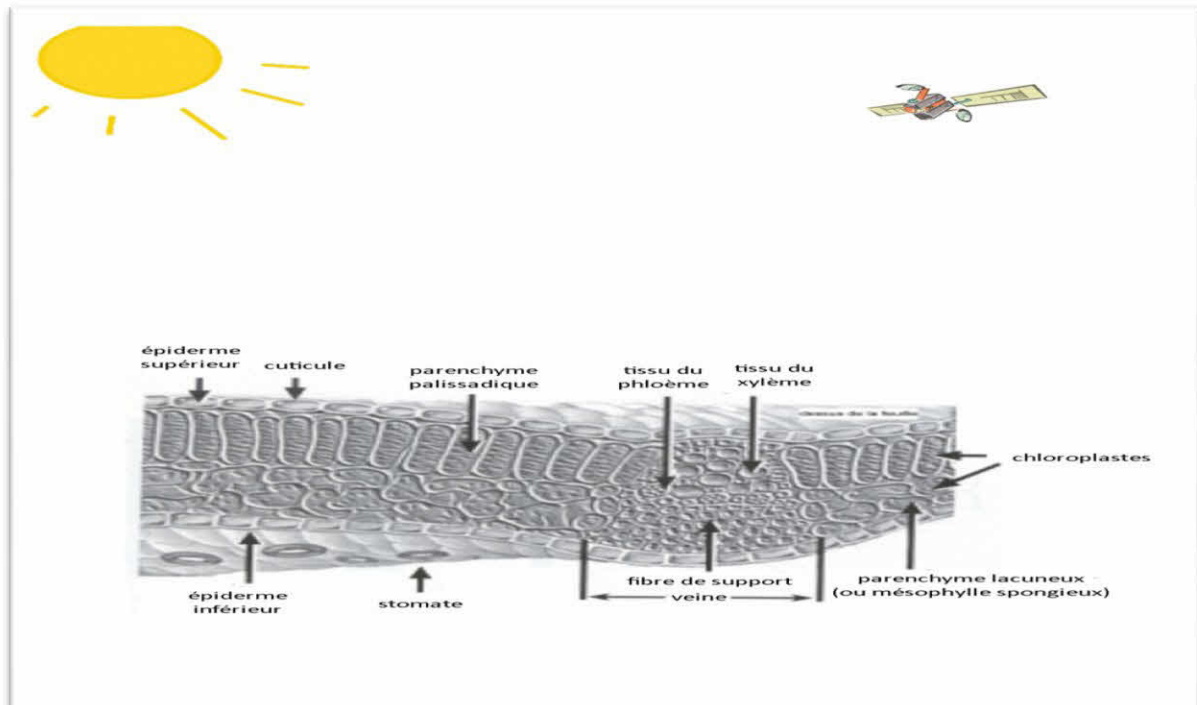


Figure n° 10 : Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale

Source : JENSEN (2000).

## LA TELEDETECTION APPLIQUEE A LA VEGETATION

Les longueurs d'onde bleue et rouge sont absorbées par la chlorophylle. Les vertes sont très faiblement réfléchies par la feuille. Le rayonnement PIR, lui, est fortement réfléchi par le parenchyme lacuneux.

La réflectance dans les bandes rouges et proche infrarouge est donc directement liée à la biomasse végétale. Il est donc possible de déterminer radiométriquement cette biomasse en utilisant l'information contenue dans ces deux bandes spectrales, en utilisant des indices de végétation.

### ➤ *L'influence de la teneur en eau*

La teneur en eau des feuilles est également un facteur qui va fortement influencer la signature spectrale de la végétation, dans les longueurs d'onde de l'infrarouge moyen. Plus la teneur en eau est forte, plus la réflectance de la végétation diminue, en particulier aux longueurs d'onde 1450 nm et 1900 nm qui correspondent aux bandes d'absorption de l'eau. Ce domaine de longueur d'onde est très utile en télédétection des couverts végétaux, il permet notamment de détecter les plantes en état de stress hydrique. (BONN et GUY, 1996).

La figure ci-dessous précise les facteurs prépondérants dans la signature spectrale d'un végétal sain, pour des longueurs d'onde allant du visible à l'infrarouge moyen.

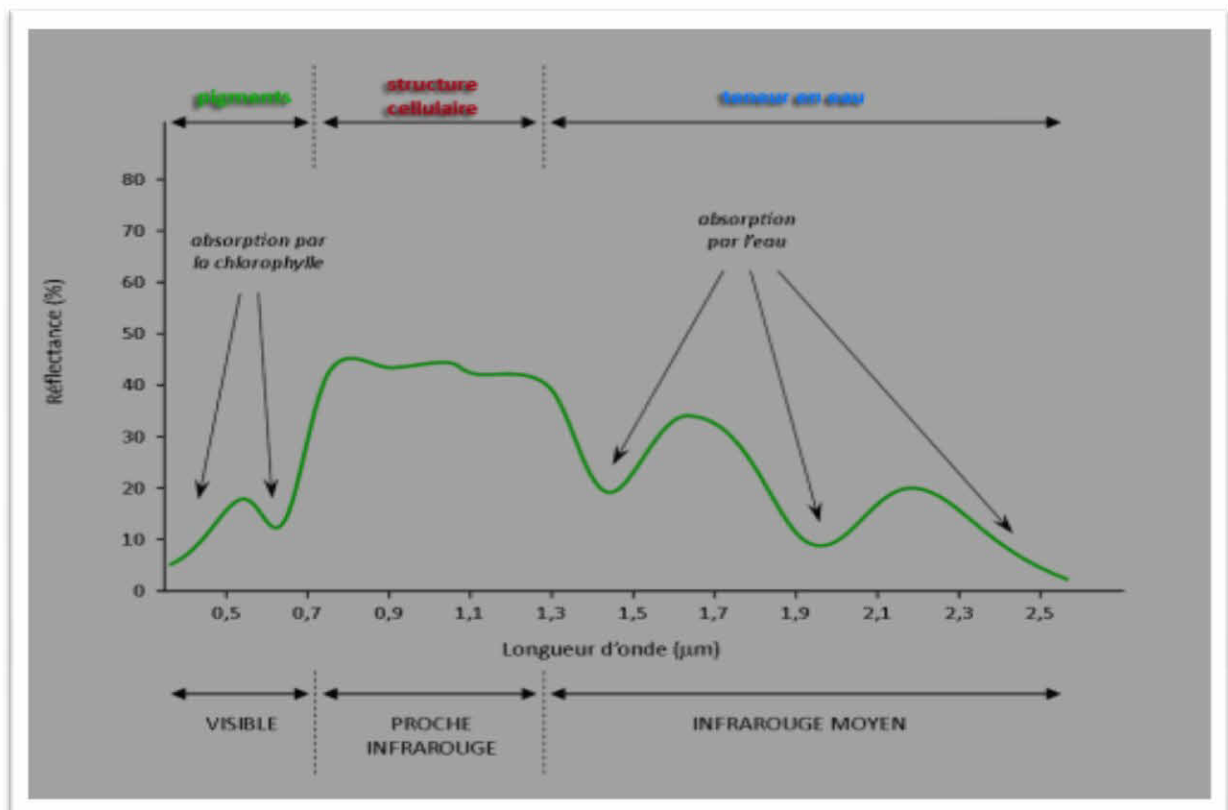
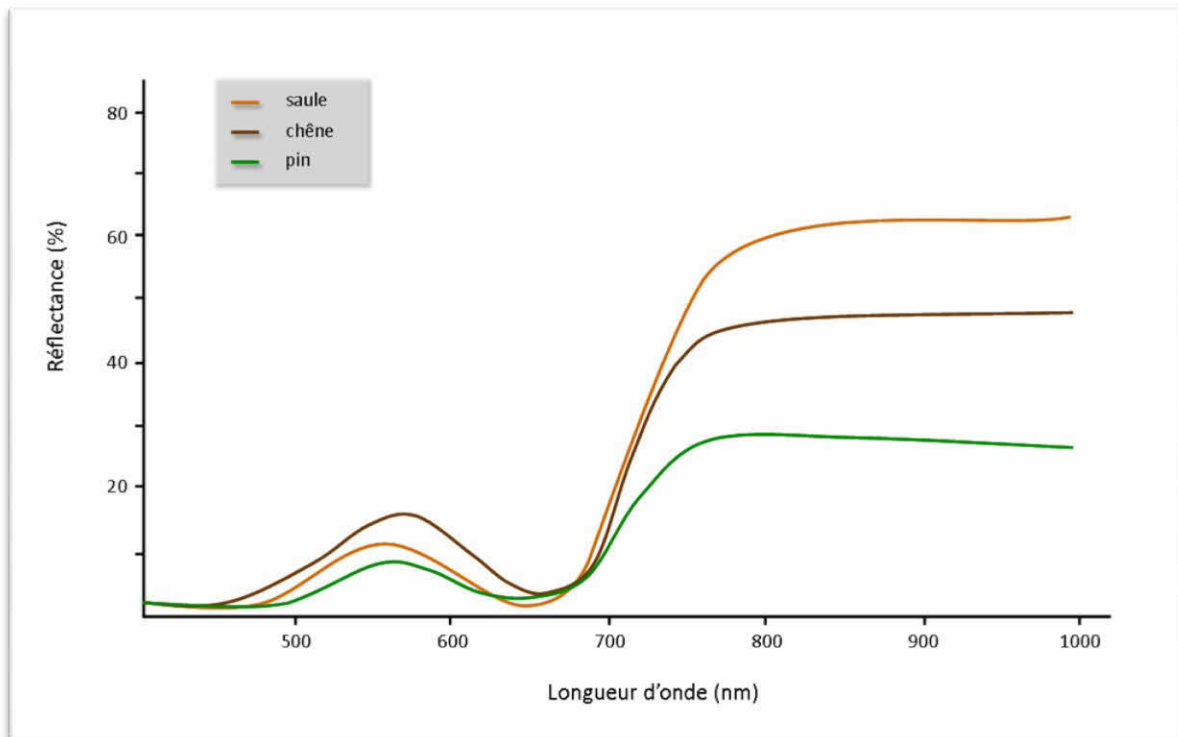


Figure n°11 : Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen. Source : JENSEN (2000).



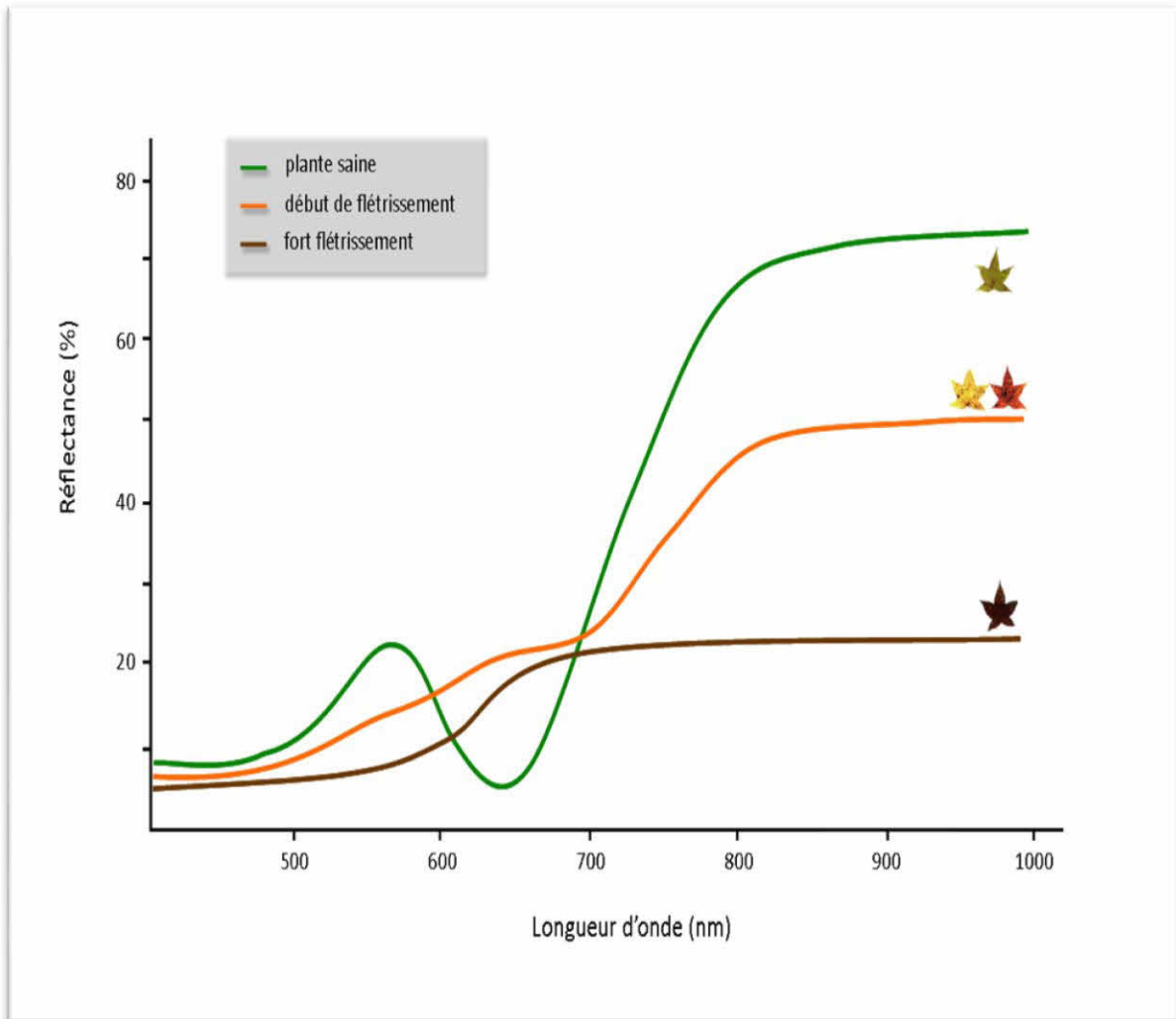
## II.5.3 Comportement spectral

On parle de comportement spectral plutôt que de signature spectrale pour bien montrer que la réflectance de la végétation n'est pas constante. Elle varie non seulement en fonction des types de végétaux (les résineux par exemple, ont une réflectance moins importante que les feuillus dans le proche infrarouge), mais également selon l'état de santé d'une plante. Comme le montre la figure ci-dessous, la signature spectrale de la végétation dans le visible ne varie pratiquement pas quelque soit le type de végétal. En revanche, on note des différences sensibles dans le proche infrarouge, liées à la structure du parenchyme lacuneux, comme nous l'avons vu précédemment. La différence est très nette entre les feuillus et les résineux, ces derniers ayant une réflectance bien moindre dans le proche infrarouge



**Figure n°12 : Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation**  
Source : JENSEN (2000).

Les changements physiologiques qui accompagnent la croissance d'une plante, depuis la phase de maturation jusqu'à sa sénescence, qu'elle soit naturelle (stades phénologiques) ou liée au stress, influent fortement sur la signature spectrale de la végétation (figure 13). Lorsque vient l'automne par exemple, les plantes diminuent leur activité photosynthétique, les pigments chlorophylliens disparaissent laissant aux autres pigments foliaires le soin d'exprimer leurs couleurs. Les cellules entrent peu à peu en état de plasmolyse, entraînant une déstructuration des couches cellulaires. On observe par conséquent une sensible augmentation de la réflectance dans les grandes longueurs d'onde du visible (jaune - rouge) et parallèlement, une diminution de la réflectance dans le proche infrarouge.



**Figure n° 13 : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation.** Source : JENSEN (2000).

## ➤ Caractérisation de la structure d'un couvert végétal

Lorsqu'on étudie la végétation par télédétection, les variations de la réflectance mesurées au niveau du capteur satellitaire sont, non seulement liées aux propriétés optiques des feuilles, mais aussi à la structure des formations végétales. La structure d'un couvert végétal n'est pas reliée aux organes végétaux, mais concerne la plante ou le peuplement. Elle prend en compte à la fois des paramètres de structure de la canopée, comme l'indice de surface foliaire ou l'angle d'inclinaison des feuilles, et l'organisation spatiale des peuplements, leur agencement, leur densité, ainsi que le taux de recouvrement du sol selon le stade phénologique. Lorsque la végétation est peu couvrante, la réponse spectrale des plantes est affectée par la réflectance des sols. Les interactions du rayonnement entre la végétation et le sol sont si complexes qu'il est très difficile de corriger l'influence perturbatrice du sol. Le signal mesuré par le capteur intègre généralement les réflectances du sol et de la végétation, comme le schématise la (figure 14) (HUETE, 1989). Nous verrons dans le paragraphe suivant que certains indices ont été proposés qui tentent de corriger l'influence du sol.

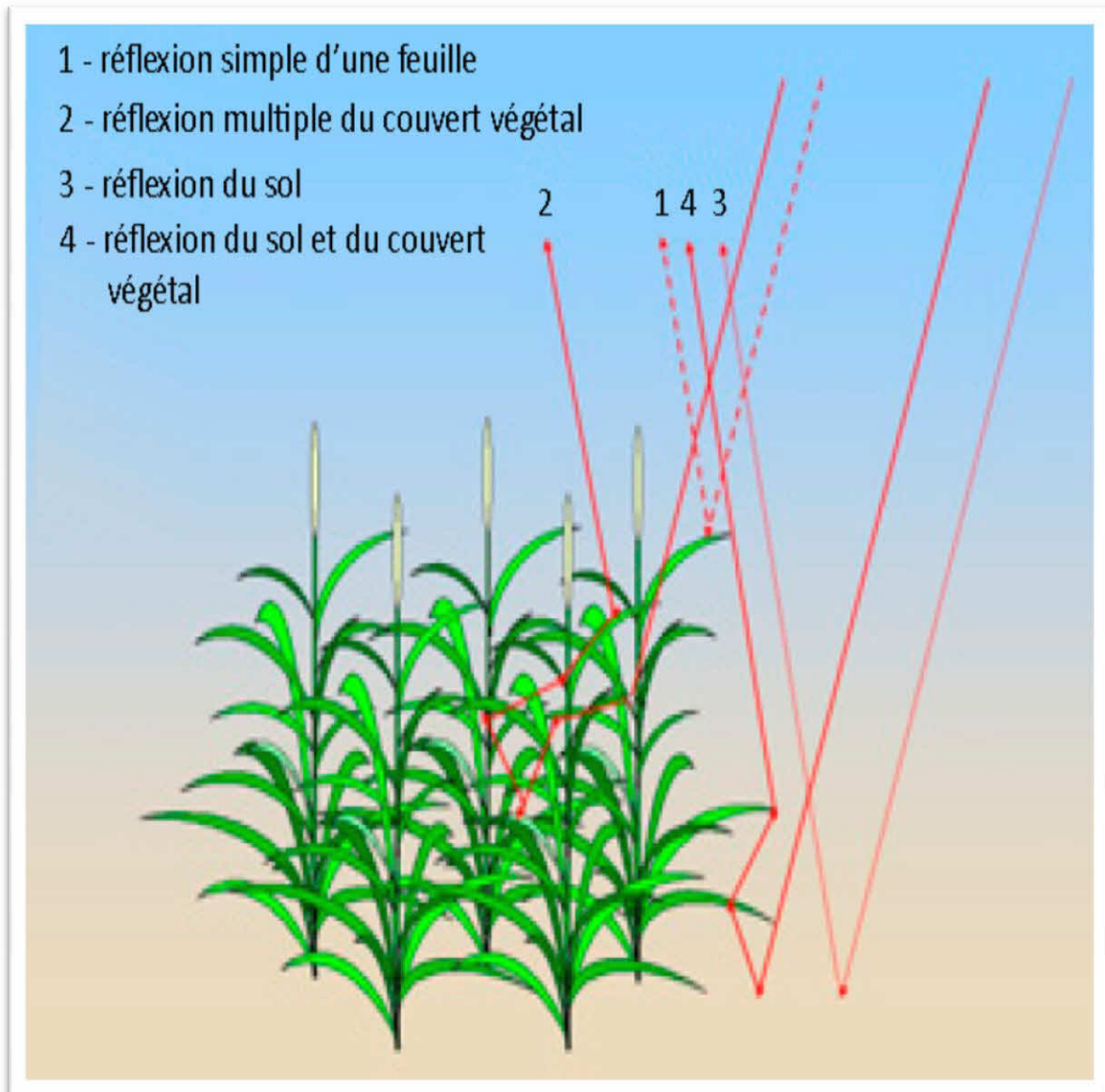
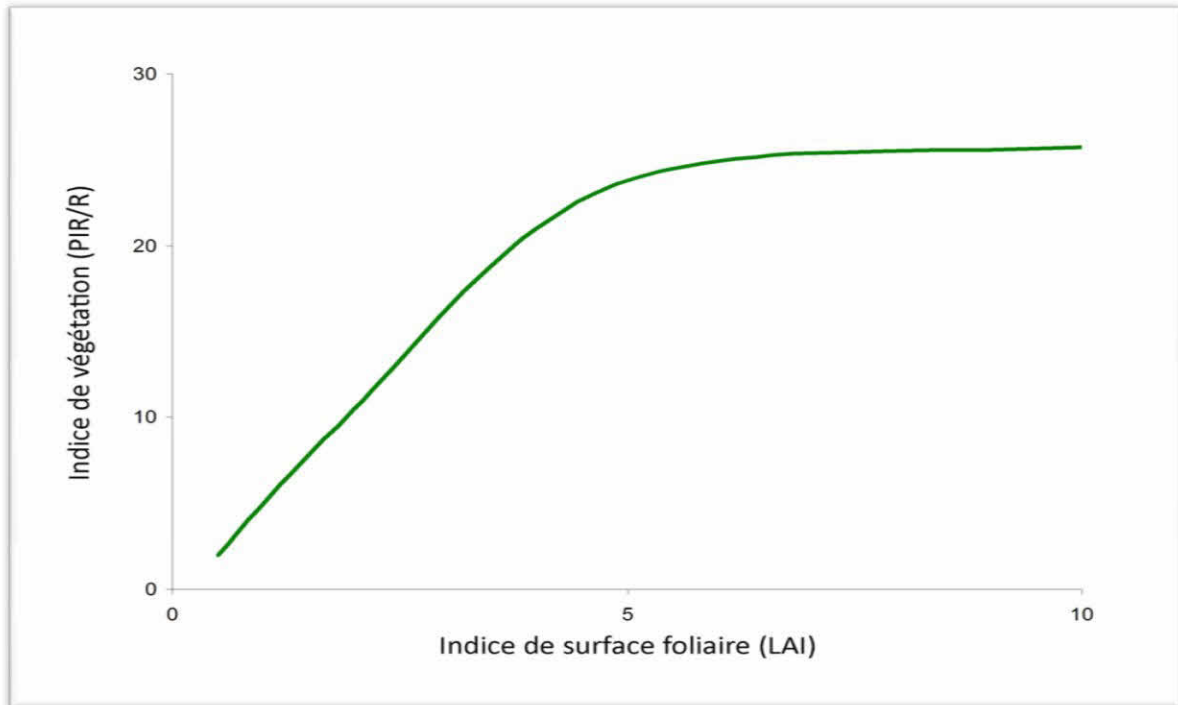


Figure n° 14 : Illustration des interactions entre la réflectance du sol et de la végétation  
Source : FENSHOLT (2003).

## ➤ L'indice de surface foliaire

L'indice de surface foliaire (**LAI**) est le ratio de la surface totale supérieure des feuilles à la surface du sol sur laquelle la végétation se développe. Le LAI est une grandeur sans dimension qui varie en général de 0 pour le sol nu à 8 pour une forêt tempérée dense. Pour des forêts tropicales très fermées ou des forêts de conifères, la valeur du LAI peut dépasser 15 (SCHULZE, 1982 *in* DUTHOIT, 2006). C'est un bon indicateur de la croissance et de la biomasse végétale, ainsi que de la densité d'un peuplement (WEISS, 1998). Le LAI est relié à l'indice de végétation par une fonction logarithmique. On observe en général un pallier à partir des valeurs de LAI de 5 ou 6 (figure 14), et on estime que pour un couvert végétal avec un LAI supérieur à 5, toute possibilité d'éclairement incident direct du sol sous-jacent est écarté, quelle que soit la géométrie d'éclairement (SLATER *et al.*, 1980).



**Figure n° 15 : Relation entre l'indice de végétation et l'indice de surface foliaire**  
Source : COLWELL (1974).

### ➤ L'indice de répartition angulaire des feuilles

L'indice de répartition angulaire des feuilles (LAD - Leaf Angle Distribution) correspond à l'inclinaison des feuilles. C'est un paramètre primordial puisque de l'orientation des feuilles dépend la surface foliaire réceptrice et donc la quantité d'énergie directement reçue. Le LAD peut être décrit comme la fonction de répartition des feuilles selon leur inclinaison. Les plus couramment observées, sont les répartitions :

- planophile : les feuilles ont une répartition plutôt horizontale (LAD  $\sim 0^\circ$ )
- plagiophile : les feuilles ont une répartition plutôt oblique (LAD  $\sim 45^\circ$ )
- extremophile : les feuilles se répartissent de manière horizontale et verticale
- uniforme : la fonction de répartition des inclinaisons est la même, quel que soit l'angle d'inclinaison considéré
- sphérique : la fonction de répartition des inclinaisons correspond à celle qu'auraient les feuilles placées à la surface d'une sphère.

Le LAD dépend bien sûr du type de végétation, des contraintes du milieu (disponibilité en lumière, stress hydrique), mais aussi de la géométrie capteur / cible / soleil. En effet, pour un LAD donné, en fonction de la position du soleil et du satellite, donc des angles zénithaux et azimutaux solaire et satellitaire, la réflectance mesurée au niveau du capteur satellitaire variera au cours de la journée. Selon FENSHOLT (2003), les feuillages orientés horizontalement (planophiles) présentent une variabilité moins importante en terme de réflectance que les autres vis-à-vis de la géométrie capteur / cible / soleil. Ils présentent aussi les réflectances les plus importantes par rapport aux autres répartitions angulaires des feuilles.

## II.5.4 Caractéristiques spectrales des sols

La signature spectrale des sols est en général caractérisée par une augmentation progressive de la réflectance depuis les longueurs d'onde du visible jusqu'à celles de l'infrarouge (. Les seules discontinuités observées correspondent aux bandes d'absorption de l'eau, à 1,4  $\mu\text{m}$  et 1,9  $\mu\text{m}$ . Fonctions à la fois de la composition minérale et organique des sols, de leur contenu en eau et de la rugosité, les propriétés optiques des sols peuvent présenter une variabilité considérable (figure 16). Une augmentation de l'humidité du sol entraîne une baisse de la réflectance sur tout le spectre, de même qu'un accroissement de la rugosité (obscurcissement par effet d'ombre), (GIRARD *et* GIRARD, 1989).

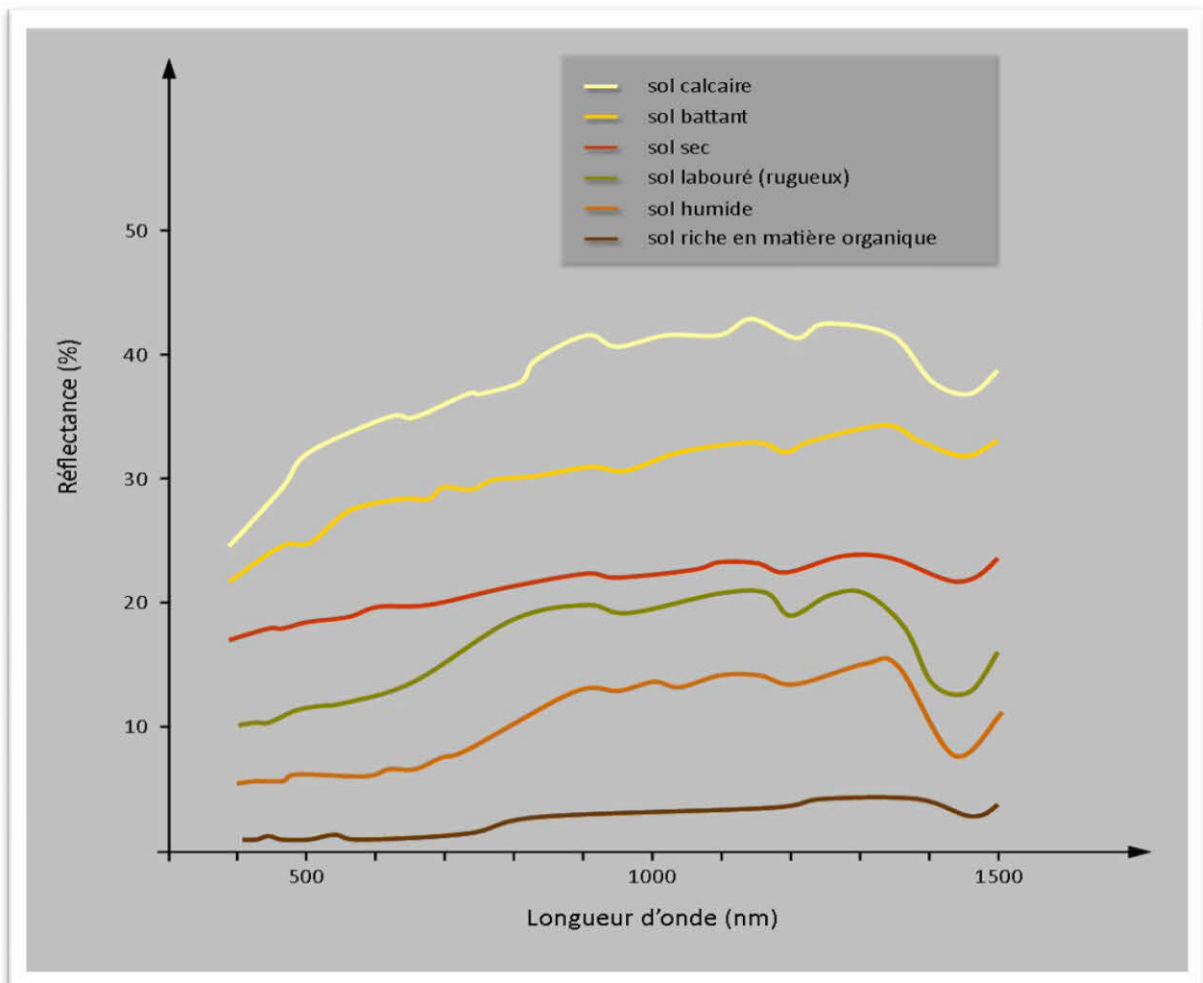


Figure n° 16 : Signatures spectrales pour différents types de sol

Source : Girard *et* Girard (1989).

## II.5.5 Les facteurs externes aux couverts végétaux

A côté des facteurs propres aux couverts végétaux, d'autres types de facteurs, externes aux couverts ceux-ci, vont également avoir une influence sur la réponse spectrale de la végétation. Il s'agit en particulier de :

## LA TELEDETECTION APPLIQUEE A LA VEGETATION

- **l'angle solaire** : les variations de la position relative et de la hauteur du soleil au cours de la journée influent sur la quantité d'énergie reçue et sur les phénomènes d'ombre
- **l'angle de visée** : la variation de l'angle de visée du satellite va avoir une influence sur les ombres portées par le couvert végétal, ainsi que sur la proportion de sol nu visible par le capteur. D'une manière générale, on peut dire que plus l'angle de visée est important, plus la proportion de sol nu visible diminue. Cela a pour conséquence une baisse de la réflectance dans la bande spectrale rouge et donc une augmentation de l'indice de végétation par différence normalisée.

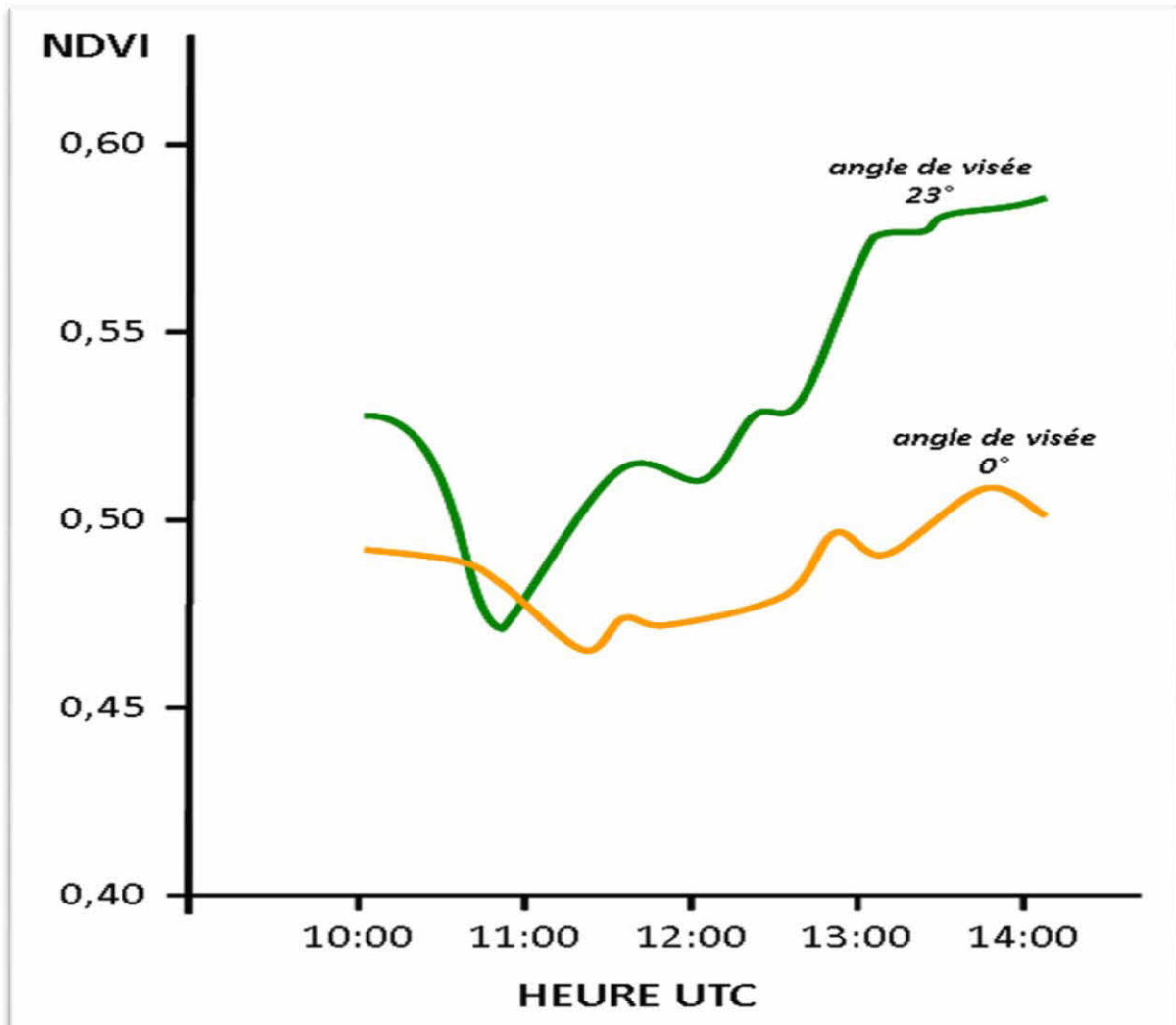


Figure n° 17 : Variations du NDVI avec l'angle de visée du satellite

Source FENSHOLT *et al.* (2006).

- **l'atmosphère** : en fonction de la teneur en poussières et aérosols présents dans l'atmosphère, les phénomènes de diffusion et d'absorption atmosphériques vont entraîner des variations dans les mesures de réflectance mesurées par les capteurs satellitaires.

## II.6 Les indices de végétation

### II.6.1 Introduction

En télédétection, les indices font parties des méthodes de traitement que l'on appelle les transformations multispectrales. Ils consistent à convertir les luminances mesurées au niveau du capteur satellitaire en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement.

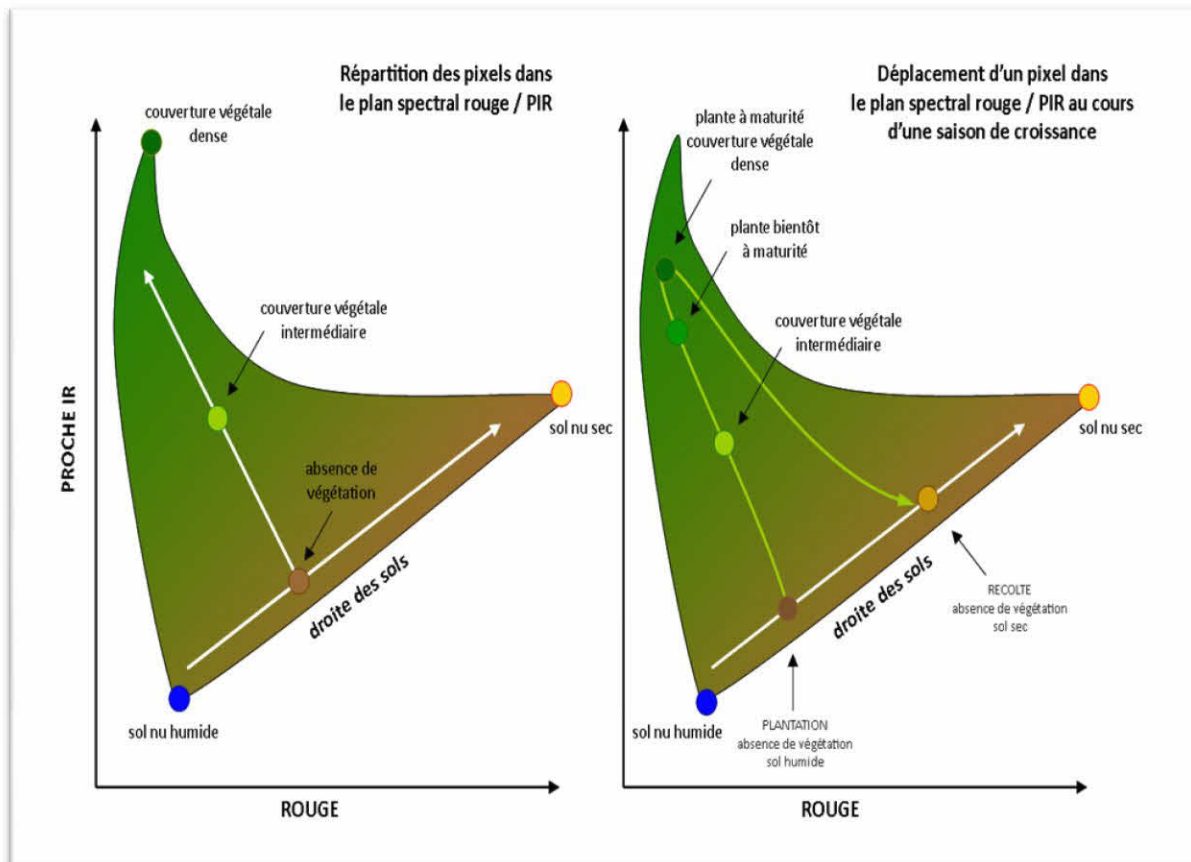
Basés sur le caractère multispectral des données satellitaires, ils permettent de décrire l'état d'un phénomène. Un indice de végétation par exemple, peut rendre compte du stade de croissance végétale à un moment donné.

Tous les indices, que ce soient les indices de végétation, les indices des sols, les indices relatifs à la colonne d'eau, *etc.*, reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Les indices de végétation sont très utilisés d'une part, pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux, comme la biomasse, l'indice de surface foliaire, la fraction de rayonnement photosynthétique actif, *etc.*

### II.6.2 Le principe

Le principe consiste à relier entres-elles certaines caractéristiques de la végétation (teneur en eau, évapotranspiration, *etc.*) et les mesures radiométriques (valeurs de réflectance et éventuellement températures de brillance) acquises dans deux ou plusieurs bandes spectrales d'un capteur. Concrètement, il s'agit de réaliser des combinaisons (différence, rapport, *etc.*) linéaires ou non, de réflectances obtenues dans les différentes longueurs d'onde. Le calcul des indices s'appuie essentiellement sur les écarts de réflectance constatés dans les différentes bandes spectrales, ainsi que sur la variabilité des réflectances au sein d'une même bande spectrale, qui traduisent des surfaces de nature différente. Par conséquent, on utilise principalement les différences des propriétés optiques de la végétation dans le rouge et le proche infrarouge. Les réflectances dans le proche infrarouge augmentent avec la présence de la végétation (forte réflexion par le parenchyme lacuneux), Tandis que celles dans le rouge diminuent (pic d'absorption de la chlorophylle).

Si l'on observe le diagramme de dispersion ou scattérogramme des bandes spectrales rouge et proche infrarouge, on constate généralement une répartition des valeurs de réflectance en forme de chapeau (figure 18). La base du chapeau répartie le long de la bissectrice représente la droite des sols, dépourvue de végétation. Les variations de réflectance le long de la droite des sols traduisent le caractère sec ou humide des sols. Plus on est proche de l'origine (faibles valeurs de réflectances dans le rouge et le proche infrarouge), plus les sols sont humides et a contrario, plus on s'éloigne de l'origine, plus les sols sont secs.



**Figure n° 18 : Répartition spectrale des réflectances dans le rouge et dans le proche infrarouge. Source : JENSEN (2000).**

Plus la couverture végétale est dense, plus les valeurs de réflectance augmentent dans le PIR et plus elles diminuent dans la bande rouge. La droite des sols, dépourvue de végétation présente des réflectances qui varient en fonction de leur teneur en eau. (b) exemple du déplacement d'un pixel 'agricole' dans l'espace multi spectral rouge / PIR au cours d'une saison de croissance. Après la germination, la réflectance du pixel s'éloigne de la ligne des sols pour atteindre le sommet du chapeau. Après la récolte, le pixel retrouve une valeur de réflectance correspondant à un sol nu, éventuellement plus sec. (JENSEN, 2000).

## II.6.3 Les principaux indices de végétation

- **Introduction**

De très nombreux indices de végétation ont été construits et utilisés depuis maintenant une quarantaine d'années (BANNARI *et* BONN, 1995). Ils prennent la forme soit d'expressions très basiques (simple différence ou simple ratio), soit de formules beaucoup plus complexes. On a l'habitude de les classer en familles d'indices selon qu'ils prennent ou non en compte les facteurs externes aux couverts végétaux, tels que l'influence de l'atmosphère, la contribution spectrale des sols, la teneur en eau des végétaux (indices de sécheresse), *etc.*



- **Les indices simples**

Les indices de végétation les plus simples sont basés sur des opérations arithmétiques entre deux bandes spectrales, généralement le rouge et le proche infrarouge, mais également les bandes du proche et du moyen infrarouge

- Parmi les indices les plus élémentaires et les plus anciens, on trouve *l'indice de végétation brut, ou indice différentiel de végétation (DVI en anglais)* qui est égal à la simple différence des bandes du proche infrarouge et du rouge (BACOUR *et al.*, 2006).

$$DVI = \rho_{PIR} - \rho_R$$

Où

$\rho_R$ : réflectance dans la bande rouge

$\rho_{PIR}$ : réflectance dans la bande proche infrarouge

- *L'indice de végétation par quotient (RVI en anglais)*, s'exprime également de façon très simple. Il est égal au rapport entre les bandes du PIR et du rouge (KRIEGER *et al.*, 1969; JORDAN, 1969).

$$RVI = \frac{\rho_{PIR}}{\rho_R}$$

L'inconvénient de ces indices est qu'ils sont très sensibles aux variations atmosphériques, ainsi qu'à la contribution spectrale des sols. En outre, lorsque la végétation est très dense, la réflectance dans la bande rouge devient très faible, ce qui entraîne une saturation des valeurs de l'indice RVI

- L'indice le plus connu et le plus utilisé est *l'indice de végétation par différence normalisé ou indice de Tucker (NDVI en anglais)* (ROUSE *et Haas*, 1973; TUCKER, 1979). Son expression est la suivante :

$$NDVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R}$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quelque soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence qui est très sensible aux variations d'éclairement. Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur

## LA TELEDETECTION APPLIQUEE A LA VEGETATION

dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 - les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

- *Les indices de stress hydrique*, comme le MSI (HUNT et ROCK, 1989) ou le NDWI (GAO, 1996) sont des indices simples dans lesquels on utilise la bande spectrale du moyen infrarouge à la place de la bande rouge. Ces indices varient en fonction de la teneur en eau des feuilles. Ils permettent de déceler lorsque les végétaux sont en état de stress hydrique et sont par conséquent très utiles pour le suivi de la végétation en zone sèche.

$$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{PIR}}$$

$$NDWI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{PIR} + \rho_{MIR}}$$

Où

$\rho_{MIR}$ : réflectance dans la bande infrarouge moyen

$\rho_{PIR}$ : réflectance dans la bande proche infrarouge

- **Les indices prenant en compte l'influence des sols**

Ces indices ont été proposés avec pour objectif de corriger ou tout au moins, réduire l'influence des sols sous-jacents aux couverts végétaux sur le signal mesuré au niveau du capteur satellitaire.

- *L'indice perpendiculaire de végétation PVI* proposé par RICHARDSON et WIEGAND (1977) suppose que la distance perpendiculaire est linéairement reliée à la couverture végétale. Cela a pour conséquence de produire des isolignes de végétation (couverture végétale d'égale densité) parallèles à la droite des sols, ce qui n'est pas très représentatif de la réalité. En effet, (HUETE, 1988 et HADDOUCHE, 2009) ont montré que les pentes des lignes de végétation croissent avec l'augmentation de la biomasse végétale

$$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)$$

Où

$a$ : pente de la droite des sols dans l'espace (R, PIR)

$b$ : ordonnée à l'origine de la droite des sols

## LA TELEDETECTION APPLIQUEE A LA VEGETATION

---

- HUETE (1988) propose un *indice de végétation ajusté pour le sol* : le SAVI qui introduit un paramètre d'ajustement, noté L, qui caractérise le sol et son taux de recouvrement par la végétation.

$$SAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$$

Où  $L$  est une constante égale à 0,5.

- (BARET *et al.* 1989) proposent une amélioration de l'indice SAVI. Leur *indice transformé de végétation ajusté pour le sol TSAVI* est basé sur la détermination préalable de la droite des sols à partir des bandes spectrales du capteur. Il utilise la pente a et l'ordonnée à l'origine b de la droite, plutôt que les valeurs arbitraires fixées pour l'indice SAVI.

$$TSAVI = \frac{a (\rho_{FIR} - a \rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{FIR} - ab + 0,08 (1 + a^2)}$$

- Dans le même ordre d'idée, Qi *et al.* (1994) proposent eux aussi une amélioration du SAVI. Dans leur *indice modifié de végétation ajusté pour le sol MSAVI*, le paramètre L n'est plus une constante, mais il est ajusté automatiquement aux conditions locales. La différence concerne le facteur L qui dépend à la fois de la droite des sols, du NDVI et de l'indice de végétation par différence pondérée (en anglais, Weighted Difference Vegetation Index, abrégé. WdVI (RICHARDSON *et* WIEGAND, 1977).

$$MSAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$$

Avec  $L = 1 - 2 a NDVI \cdot WdVI$

Où

$a$  est la pente de la droite des sols

$$WdVi = \rho_{FIR} - a \rho_R$$

- **Les indices prenant en compte les effets de l'atmosphère**

Les gaz et aérosols présents dans l'atmosphère affectent le rayonnement électromagnétique par les processus de diffusion et d'absorption.

- KAUFMAN *et* TANRE, 1992 proposent un indice permettant de réduire les effets atmosphériques en utilisant la bande bleue, l'indice ARVI

$$ARVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{rb}}{\rho_{FIR} + \rho_{rb}}$$

où :

$\rho_{rb}$  est une combinaison des réflectances dans les bandes spectrales bleu et rouge.

$$\rho_{vis} = \rho_{rouge} - \gamma (\rho_{bleu} - \rho_{rouge})$$

$\gamma$  est un facteur d'autocorrection atmosphérique qui dépend du type d'aérosols présents. Il est calculé à partir des réflectances intrinsèques de l'atmosphère dans les bandes bleue et rouge.

- Pinty *et Verstraete*, 1992, quant à eux, proposent une relation non linéaire pour minimiser l'influence de l'atmosphère sur la mesure de l'indice de végétation, l'indice GEMI.

$$GEMI = \eta (1 - 0.25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0.25}{1 - \rho_{rouge}}$$

$$\eta = \frac{2(\rho_{PIR}^2 - \rho_{rouge}^2) + 1.5\rho_{PIR} + 0.5\rho_{rouge}}{\rho_{PIR} + \rho_{rouge} + 0.5}$$

- **Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère**

En combinant les indices présentés ci-dessus, notamment le SAVI et l'ARVI, il est possible d'obtenir des indices qui corrigent les effets conjugués des sols et de l'atmosphère, comme l'indice de végétation amélioré (EVI, HUETE *et al.*, 1999), produit standard adopté par la NASA pour les instruments TERRA *et* AQUA de MODIS.

$$EVI = G \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$$

où :

$G$  : facteur de gain (égal à 2,5)

$L$  : facteur d'ajustement des sols

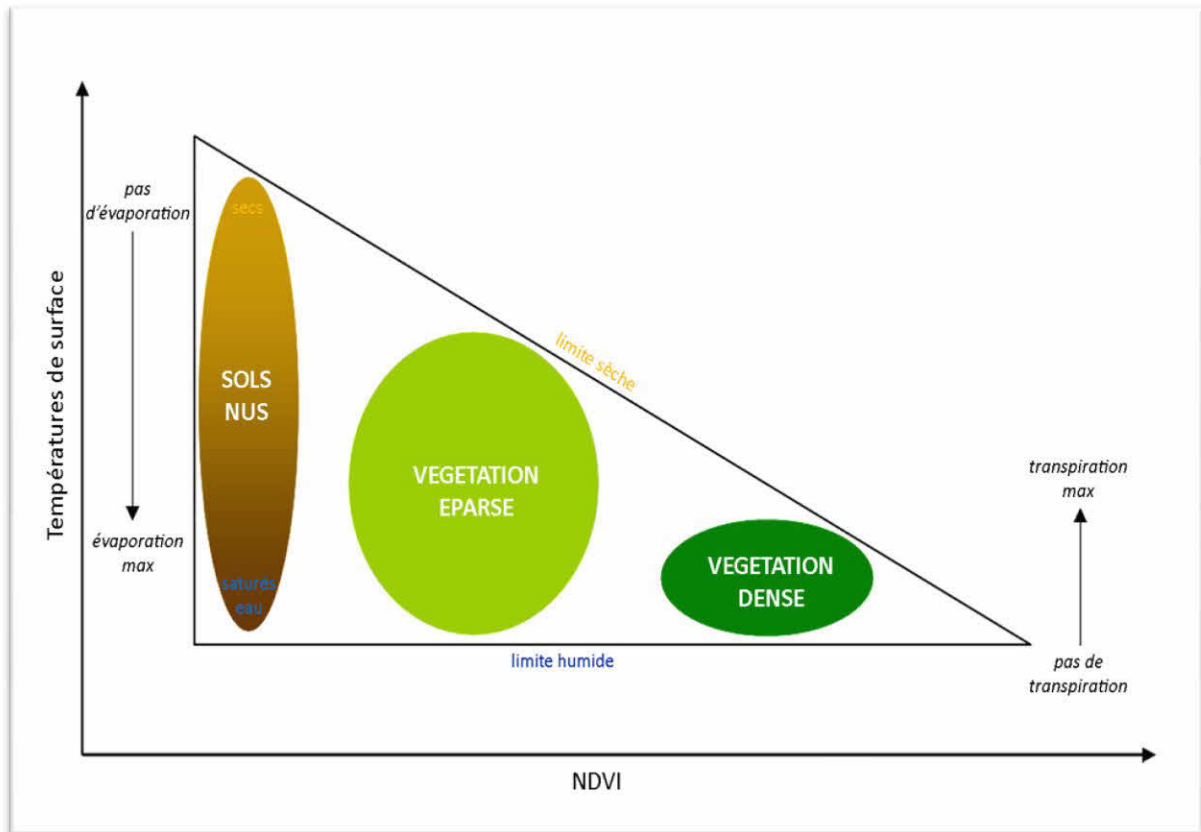
$C_1$  et  $C_2$  : coefficients de correction de la diffusion atmosphérique.

- **Les indices prenant en compte la température de surface**

Plusieurs études ont suggéré l'utilisation combinée de l'indice de végétation et de la température de surface des sols mesurée dans l'infrarouge thermique, pour estimer le taux d'humidité des sols, ainsi que l'état de stress hydrique des végétaux (JACKSON *et al.*, 1977; GOWARD *et al.*, 2002)

Parmi les techniques développées, la méthode dite 'du triangle', suppose que la température de surface des sols dépend essentiellement de la couverture végétale et de l'humidité des sols (figure 18). Le côté du triangle correspondant au NDVI le plus faible représente la droite des sols nus, depuis les sols secs (températures les plus élevées) jusqu'aux sols saturés en eau (températures les plus basses). Le sommet en bas à droite du triangle correspond à la densité maximum de végétation. La droite reliant les températures de surface les plus élevées (sols secs) au maximum de densité de la végétation est appelée

'limite sèche'. Celle reliant les températures de surface les plus basses (sols humides) au maximum de densité de la végétation est appelée 'limite humide'. Dans cette méthode, la température de surface des sols est reliée à l'indice de végétation par une relation linéaire décroissante. Plus la végétation a une densité importante, plus la température de surface est faible. La végétation régule la température de surface en absorbant l'énergie rayonnante et en la réémettant sous forme de chaleur latente via le processus d'évapotranspiration.



**Figure n° 19 : Relation simplifiée entre la température de surface et l'indice de végétation**  
 Les pixels de l'image ont une répartition triangulaire dans le plan Ts / NDVI.  
 Source : LAMBIN et EHRLICH (1996).

-SANDHOLT *et al.*, 2002 proposent un indice de température / végétation / sécheresse TDVI. Son expression est la suivante :

$$TDVI = \frac{T_s - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$$

où :

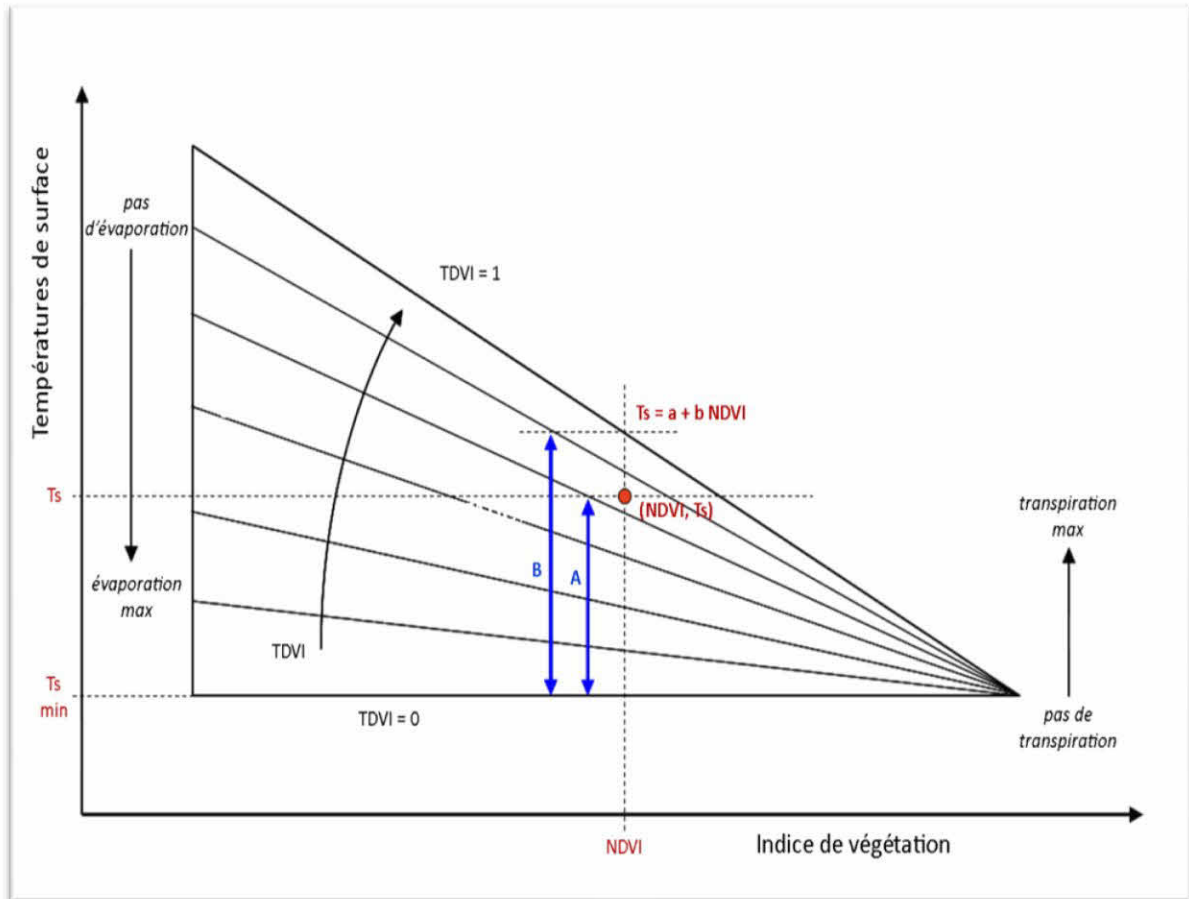
$T_s$  : température de surface

$T_{S(min)}$  : température de surface minimum

$a$  et  $b$  : respectivement ordonnée à l'origine et pente de la droite reliant la température de surface au NDVI maximum.

## LA TELEDETECTION APPLIQUEE A LA VEGETATION

Pour une même valeur de l'indice de végétation, les températures les plus élevées correspondent aux surfaces les plus sèches (figure 19). Il est donc possible d'estimer le taux d'humidité des sols et par conséquent, l'état de stress hydrique des plantes, dès lors que la température de surface et l'indice de végétation sont connus.



**Figure n° 20 :** L'indice de sécheresse (TDVI) peut être estimé dans le plan  $T_s$  / NDVI par le rapport  $A/B$ . Source : SANDHOLT *et al.* (2002).

### ✚ Remarque

Comme pour la végétation, il existe aussi des indices spécifiques pour les sols nus, comme l'indice de brillance. Celui-ci est construit à partir des bandes rouge et proche infrarouge selon l'expression :

$$IB = \sqrt{\rho_R^2 + \rho_{PIR}^2}$$

Il permet de faire clairement la distinction entre les surfaces végétalisées et les sols nus

## LA TELEDETECTION APPLIQUEE A LA VEGETATION

-tableau ci-dessous résume quelques uns des indices de végétation les plus couramment utilisés; adapté de (CALOZ *et* PUECH, 1996; GILABERT *et al.*, 2002 ; Le GIRARD *et* GIRARD, 1999).

**Tableau n°04 : Résumé d'indices de végétation définis à partir de données de télédétection**

Indice	Formule	Auteur
DVI	$DVI = \rho_{FIR} - \rho_R$	BACOUR <i>et al.</i> (2006)
RVI	$RVI = \frac{\rho_{FIR}}{\rho_R}$	KRIEGER <i>et al.</i> (1969); JORDAN (1969)
NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R}$	ROUSE and HAAS (1973); Tucker (1979)
MSI	$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{FIR}}$	HUNT and ROCK (1989)
NDWI	$NDWI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{FIR} + \rho_{MIR}}$	GAO (1996)
PVI	$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)$	RICHARDSON and WIEGAND (1977)
SAVI	$SAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	HUETE (1988)
TSAVI	$TSAVI = \frac{a(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{FIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$	BARET <i>et al.</i> (1989)
MSAVI	$MSAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Qi <i>et al.</i> (1994)
ARVI	$ARVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{vb}}{\rho_{FIR} + \rho_{vb}}$	KAUFMAN and TANRE (1992)
GEMI	$GEMI = \eta(1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0,25}{1 - \rho_{rouge}}$	PINTY <i>et</i> VERSTRAETE (1992)
EVI	$EVI = G \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$	HUETE <i>et al.</i> (1999=
TDVI	$TDVI = \frac{T_S - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$	SANDHOLT <i>et al.</i> (2002)

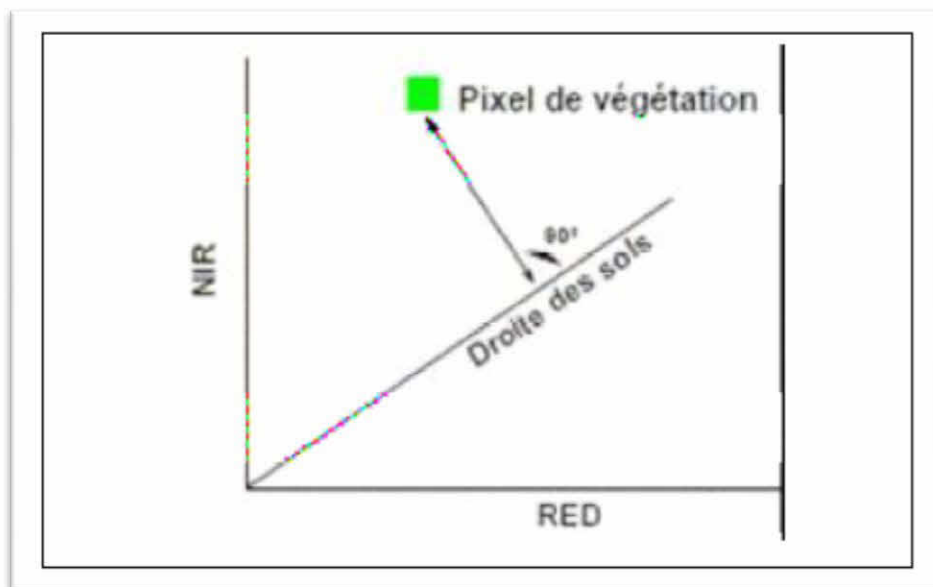
### ✚ Remarque

Les indices de végétation ont été utilisés dans des applications très nombreuses et variées depuis l'apparition de la télédétection spatiale. Leur usage pour des estimations quantitatives soulève un certain nombre de questions qui peuvent limiter sérieusement leur utilité réelle s'ils ne sont pas correctement interprétés.

Ils dépendent de nombreux paramètres (éclairage solaire, angles de visée, *etc.*) et sont perturbés par plusieurs facteurs (sensibilité aux effets atmosphériques, aux types de sols et à leur taux d'humidité) comme nous l'avons vu précédemment, ce qui implique une très grande prudence quant à leur interprétation.

Compte tenu du poids de la réflectance du sol par rapport à celle de la végétation, HADDOUCHE (2009) a montré que l'indice PVI discrimine mieux la végétation du sol nu que le NDVI dans les zones arides en Algérie.

Cet indice exploite la présence de la droite des sols (figure 21), son intérêt réside dans le fait que la droite des sols devient une référence. Plus un pixel est éloigné spectralement de la droite, plus sa couverture végétale est censée être dense comme l'illustre le schéma de la figure ci-dessous.



**Figure n° 21 :P.V.I et droite des sols**  
Source : CALOZ *et al.* In HADDOUCHE (2009).



*Chapitre III :*  
*Presentation de la zone d'étude*

# PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

### III.1 Le paysage steppique en Algérie

En Algérie, les écosystèmes steppiques arides sont marqués par une grande diversité paysagère en relation avec une grande variabilité des facteurs écologiques ; L'équilibre de l'écosystème steppique a été pour longtemps assuré par une harmonie entre l'homme et le milieu dans lequel il vit. Cet équilibre a été à l'origine des pratiques humaines ancestrales qui pouvaient assurer la durabilité et la régénération des ressources naturelles.

Cependant, ce territoire qui fut l'espace du nomadisme et des grandes transhumances, a subi des modifications profondes. Les différentes crises endurées par la société pastorale ancestrale ont provoqué l'apparition de nouvelles pratiques, étrangères au mode de vie des populations steppiques.

La conséquence de ces modifications étant une dégradation de plus en plus importante, et ressentie à tous les niveaux, du territoire steppique. Sur le plan physique, les steppes algériennes, situées entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, couvrent une superficie globale de 20 millions d'hectares, ce qui représente 8.5% du territoire national. (HADDOUCHE, 2009).

- **Zone 1** : avec une superficie de 700.000 à 1.000.000 d'hectares, elle reçoit des précipitations annuelles moyennes de 400 mm, c'est essentiellement le domaine des maquis, des garrigues et des forêts de l'Atlas saharien.
- **Zone 2** : occupant entre 3.5 et 4 millions d'hectares, elle bénéficie d'une pluviométrie comprise entre 300 et 400 mm Il s'agit de la zone steppique la plus favorisée, située sur la frange Nord de l'Atlas tellien. C'est la zone des « parcours vrais » qui supporte une importante charge pastorale (2 à 4 moutons à l'hectare). Elle est cependant occupée par la céréaliculture rentable en saison pluvieuse.
- **Zone 3** : elle couvre entre 5 et 6 millions d'hectares et connaît des précipitations moyennes annuelles comprises entre 200 et 300 mm C'est la région des hautes plaines centrales et méridionales et le versant Sud de l'Atlas saharien. Les parcours sont de qualité moyenne et la charge pastorale y est plus faible (2 moutons à l'hectare).
- **Zone 4** : elle s'étend sur 10 millions d'hectares avec une pluviométrie annuelle très limitée, entre 100 et 200 mm, c'est la région sud du Hodna et le piémont sud atlasique. La charge pastorale y est très faible.

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### ➤ *Facteur de dégradation*

Selon RAMADE (1983) *in* BEKKOUCHE (2011) "La destruction des communautés végétales naturelles fut souvent un prélude à l'aridification ou à la désertification de bien des territoires livrés à la culture ou transformés en pâturage..."

Depuis une trentaine d'années, l'écosystème steppique a été complètement bouleversé, tant dans sa structure que dans son fonctionnement à travers sa productivité primaire. On assiste à un ensablement progressif allant du voile éolien dans certaines zones à la formation de véritables dunes dans d'autres.

La réduction du couvert végétal et le changement de la composition floristique sont les éléments qui caractérisent l'évolution régressive de la steppe.

### ❖ *Facteurs physiques*

#### ✚ *Sécheresse :*

Le climat de la steppe algérienne est marqué par une grande variabilité interannuelle des précipitations. La diminution des précipitations est de l'ordre de 18 à 27% et la durée de la saison sèche aurait augmenté de 2 mois entre les deux périodes 1913- 1938 et 1978-1990 (DJELLOULI *et* NEDJRAOUI, 1995).

BENABADJI *et* BOUAZZA (2004) précisent que la zone steppique sous une ambiance climatique aride, la période sèche peut s'étendre jusqu'à neuf mois.

#### ✚ *Erosion éolienne:*

Pour ce facteur, les milieux des zones steppiques sont très sensibles aux processus d'érosion dès que la végétation steppique disparaît. Le recours à des techniques d'aménagement et de gestion des terres est nécessaire.

Ces techniques sont basées sur l'utilisation judicieuse des eaux de pluie et la plantation d'espèces ligneuses adaptées à ces régions, contribuant aussi bien à l'accroissement de la production qu'à la protection des sols contre l'érosion (DUTUIT, POURRAT *et* DODEMAN 1991 *in* BEKKOUCHE, 2011).

### ❖ *Facteurs anthropiques:*

La tendance actuelle vers la désertisation est un phénomène provoqué par l'homme (défrichement au profit des cultures céréalières).

BENCHETRIT (1972) précise que l'intervention anthropique rend les sols instables à cause de l'érosion qui suit leur dénudation.

#### ✚ *Le surpâturage:*

Le surpâturage est défini comme étant un prélèvement d'une quantité de végétal supérieure à la production annuelle des parcours (LE HOUEROU, 1995). La répartition des formations végétales est complètement bouleversée par l'homme (surpâturage) de là, nous avons un éco-complexe fragilisé.

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

### **Défrichement et extension de la céréaliculture:**

Les pratiques humaines irrationnelles sans respect du cycle biologique des espèces, les conditions qui influent sur son développement comme la cueillette anarchique, les incendies provoquent une modification irréversible du tapis végétal.

Pour satisfaire les besoins en combustibles, cette destruction s'est aggravée par le prélèvement des produits ligneux (FLORET, LE FLOC'H *et* PONTANIER, 1992). Ces différents phénomènes ont contribué à accroître la fragilité des écosystèmes, à réduire leur capacité de régénération et à diminuer leur potentiel de production.

### **III.2 Situation géographique**

D'après CHAMIGNON *et* MANIERE (1986) *in* OULHACI (2011), le terme « steppe » évoque d'immenses étendues arides et semi-arides couvertes d'une végétation basse et clairsemée.

Les limites géographiques de l'espace steppique s'appuient sur les critères pluviométriques entre 100 et 400mm de pluviosité moyenne annuelle. D'une région à une autre, la steppe change de physionomie (HADDOUCHE, 2009).

En Algérie, malgré l'absence de délimitation exacte on estime la superficie steppique à 20 millions d'hectares ce qui représente une part de 8,5% du territoire national (HADDOUCHE, 2009).

La zone d'étude est située au Sud-ouest de la ville de Tlemcen, d'une superficie de 3268,4km<sup>2</sup> et d'un périmètre de 606,76km. (Figure 22).

**Tableau n° 05 : Les cinq communes de la zone d'étude**

Commune	Superficie	Périmètre
Sidi Djilali	733,4km <sup>2</sup>	129km
El-Bouihi	734km <sup>2</sup>	149,1km
El-Aricha	747,3km <sup>2</sup>	122,9km
El-Gor	803,9km <sup>2</sup>	121,8km
Sebdou	249,8km <sup>2</sup>	83,96km

### **III.3 localisation de la zone d'étude**

La zone d'étude est limitée par :

- Au Nord, les monts de Tlemcen ;
- Au Sud, la wilaya de Naama ;
- A l'Est, la wilaya de Sidi Bel-Abbes ;
- A l'Ouest, les frontières Marocaines.

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

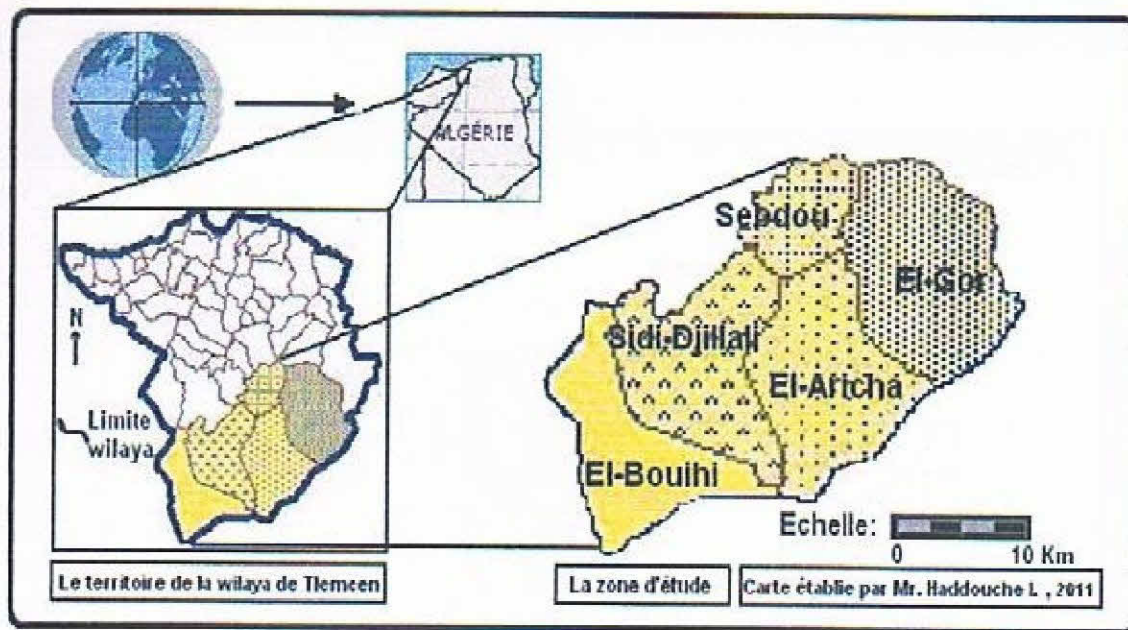


FIGURE n°22 : Carte de situation de la zone d'étude

# PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

## III.4 Présentation des formes de relief et le réseau hydrographique

### III.4.1 le relief

Il y a trois grands ensembles qui peuvent être distingués :

- Au Nord, la chaîne montagneuse à une direction Sud-ouest, Nord-est ; elle est beaucoup plus accidentée à l'Ouest qu'à l'Est. La topographie s'abaisse progressivement d'Ouest en Est (de 1300m à 900m) ; soit une dénivellée de 400m environ ;
- Au centre la présence de petites collines et cuvettes (dayet el ferd) ainsi que les entailles provoquées par un réseau hydrographique non hiérarchisé, donnent au relief un aspect ondulé. L'altitude moyenne est ici de 1000m ;
- Au Sud des monts de Tlemcen, s'étend une plaine où émergent le Djebel Sidi El Abed, le Djebel Mekaidou, et Djebel En Necheb (altitude moyenne de 1200m). Les versants Nord de ces reliefs (en ajoutant le djebel Ouark, le Djebel Kerbaya et le Djebel Taerziza), sont beaucoup plus abrupts et plus fournis en végétation et présentent des pentes assez fortes dans leur partie sommitale et plus ou moins douces en aval. L'écoulement des oueds se fait du Sud vers le Nord et s'interrompt souvent au niveau des Dayats.

### III.4.2 Réseau hydrographique

Ce bassin versant est alimenté à partir d'un certain nombre d'oueds venant de tous les sens qui ne se connaissent que lors des crues. Dayet El Ferd située au centre de ce grand bassin versant, constitue par ailleurs un réservoir des eaux de pluie assurant ainsi la maîtrise des crues, la rétention des sédiments et des nutriments ainsi que la charge de la nappe phréatique (Figure 23).

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

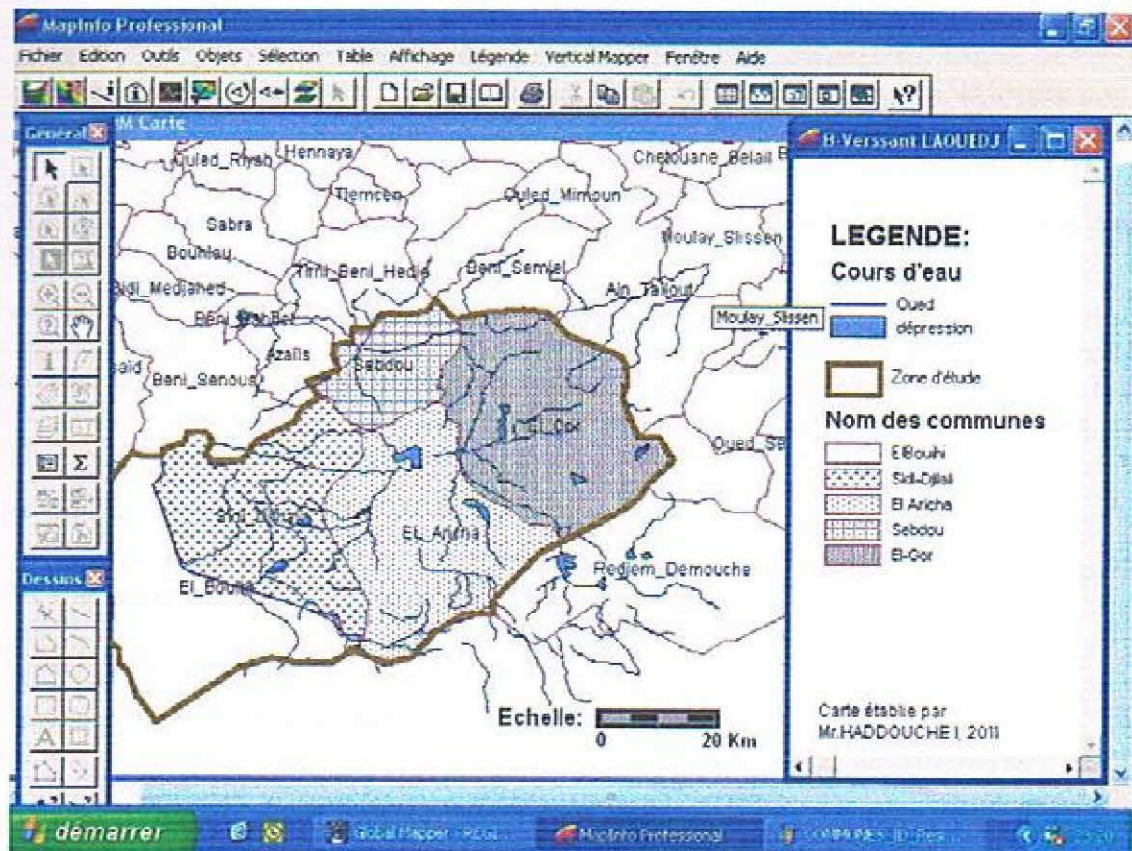


FIGURE n° 23 : Carte hydrographique du bassin versant de la région Sud de Tlemcen.

# PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

## III.5 Géomorphologie

Elle est le résultat des actions conjuguées et efficaces d'un ensemble de processus sur des ensembles lithologiques et le comportement de ces derniers vis-à-vis de cette action agissent sur le façonnement du relief.

« La géomorphologie est un des éléments les plus précieux de l'analyse cartographique dans les études de reconnaissance. Ce paramètre régit un nombre considérable de processus physiques tels que la morphologie (pente), la pédogénèse et par conséquent le développement et l'évolution des sols ». (TRICART, 1978).

## III.6 Géologie

La géologie est à l'origine de la nature lithologique qui constitue un des facteurs de formation du sol et des formes du relief. Elle occupe une place privilégiée dans le cadre d'une étude du milieu naturel puisque à elle seule revient l'origine des roches mères et les formations superficielles » (BENEST, 1985).

La géologie de cette zone est surtout connue à la suite des travaux de synthèse d'AUCLAIR et BIEHLERT (1967) in OULHACI (2011); BENEST (1985) in OULHACI (2011) et BENSALAH (1989). Les principales séries lithologiques reconnues dans la partie Sud des monts de Tlemcen sont :

- Mésozoïque (surtout jurassiques) ;
- Eocènes (secteur El-Aricha) ;
- Post éocènes (Néogènes et quaternaires). Toute la partie centrale de la dépression d'El Aouedj.

Les monts de Tlemcen sont marqués par une succession de grabens et de horsts d'orientation N 50° à NE 70°, limités par une grande faille normale (les rejets peuvent atteindre 500m). Celle-ci a souvent joué en failles inverses lors des mouvements de compression cénozoïques.

A l'affleurement, les terrains mésozoïques les plus anciens (surtout le jurassique inférieur) se rencontrent vers l'Ouest à la périphérie du horst paléozoïque de Ghar Rouban. En revanche, vers l'Est, en direction de Sidi Bel-Abbes affleurent principalement des séries du crétacé inférieur. Au Sud, les couches du jurassique supérieur-Eocrétacé s'enfoncent sous une couverture importante d'âge tertiaire et quaternaire.

## III.7 Pédologie

Le sol est un milieu cohérent dont les propriétés s'expliquent par son histoire, les conditions de son environnement et surtout aussi par l'action humaine (HADDOUCHE, 1998). Le sol est formé selon :

- La nature de la roche mère ;
- La topographie du milieu ;
- Les caractères du climat ;
- L'homme ;
- Le couvert végétal.



## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

Les sols steppiques adaptés au régime climatique aride sont généralement peu évolués, moins profonds et parfois inexistant. La répartition des sols steppiques correspond à une mosaïque compliquée ou se mêlent sols anciens et sols récents, sols dégradés et sols évolués (HADDOUCHE, 2009)

Les sols steppiques ont deux caractères principaux :

- Pauvreté et fragilité des sols, prédominance des sols minces de couleur grise due à la raréfaction de l'humus. Ce sont les sols les plus exposés à la dégradation ;
- Existence de bons sols dont la superficie est limitée et bien localisée.

Ces derniers se localisent dans les zones :

- ***Les sols de dépression***

Ces dépressions, qu'elles soient linéaires (lits d'oueds) ou des dépressions fermées constituées par les chotts et les dayas sont les meilleurs sols. Ce sont des sols formés par des éléments fins déposés par les eaux de ruissèlement, constituant un horizon pédologique très fertile.

- ***Les sols piedmonts***

Ces sols sont beaucoup moins homogènes et moins épais. Leurs constituants sont plus grossiers et moins stables que ceux des sols des dépressions.

### **III.8 Paramètres biologiques**

#### **III.8.1 Végétation**

En Algérie, malgré l'absence de délimitation exacte, on estime la superficie steppique à 20 millions d'hectares ce qui représente une part de près de 8,5 % du territoire national (HADDOUCHE, 2009). La végétation primitive des steppes arides n'a pas été partout steppique. Ces zones ont connu une végétation forestière (LE HOUEROU, 1985).

Dans ces zones, la végétation a fait l'objet de nombreuses études phytosociologiques et écologiques. La plupart ont aboutit à la conclusion que la végétation steppique se trouve dans un état alarmant du à l'action combinée des facteurs anthropiques et climatiques.

Dans la zone d'étude, la végétation obéit fortement au substrat lithologique, à la géomorphologie du terrain et au climat. De même façon la connaissance de la phytocénose d'une région donnée permet de déduire une foule de renseignements sur les animaux, micro-organismes, des conditions de climat et de sol (OZENDA, 1986).

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

Les espèces végétales rencontrées peuvent être classées de la manière suivante :

### ➤ **Groupements forestiers**

Forêts claires à *Pinus halepensis* sur les sommets des Djebels.

Steppe arborée à base de *juniperus oxycedrus* et *stipa tenacissima* et *stipa parviflora*.

### ➤ **Groupements steppiques**

Steppe à *stipa tenacissima* ;

Steppe à *artemisia herba alba*;

Steppe à *lygeum spartum*.

### ❖ **La steppe à *Stipa tenacissima***

Du point de vue biologique, plusieurs auteurs ont traité cette espèce : HARCHE *et al.* 2007 Du point de vue écologique : AIDOUUD *et* TOUFFE, DJEBAILI, KADI HANIFI, ACHOUR, DAHMANI, *et* BOUAZZA, pour ne citer que ceux-là.

### ✓ **Caractères physiologiques**

Ces steppes sont dominées par des Poacées pérennes cespiteuses telles que *Stipa tenacissima* (LE HOUEROU, 1995 *et* BOUAZZA, 1995). Elle se présente en forme de touffes, de 40 à 60cm de hauteur ; observée surtout dans la région de Sidi Djilali, où le recouvrement global est de l'ordre de 55 %. Par contre, à El Gor et El Aricha, cette espèce reste très dégradée, l'espacement des touffes est énorme et elles ne dépassent guère 35 cm de hauteur dans ces stations.

### ✓ **Composition floristique du paysage steppique**

La steppe à alfa est caractérisée, en cas de pluie automnale et hivernale, par une remarquable richesse floristique. De nombreuses espèces qui constituent « l'âcheb » sont particulièrement appréciées au printemps :

✚ Des Poacées : *Brachypodium distachyum*, *Dactylis glomerata*, *Stipa parviflora*, *Avena sterilis*, *Echinaria capitata*, *Bromus rubens*, *Hordeum murinum*.

✚ Des Fabacées: *Lotus ornithopodioides* *Medicago rugulosa*, *Medicago orbicularis*, *Medicago soleirolii*, *Hyppocrepis unisiliquosa*, *Coronella minima*, *Vicia tetrasperma*.

✚ Des espèces annuelles ou bisannuelles relevant de diverses familles : *Senecio vulgaris*, *Bellis annua*, *Evax argentea*, *Atractylis cancellata*, *Tolpis barbata* *subsp.umbellata*, *Malva aegyptiaca*, *Micropus bombicinus*, *Plantago albicans*, *Scabiosa stellata* (BEKKOUCHE, 2010).

### ✓ **État actuel de la steppe à *Stipa tenacissima***

La Poacée la plus symbolique de ces steppes est *Stipa tenacissima* qui se développe en général sur des sols peu profonds et bien drainés (LE HOUÉROU, 1981).

Dans la zone d'étude les nappes alfatières ont subies des dégradations très importantes et surtout au Sud (zone charnière avec le désert). Les nappes de *Stipa tenacissima* sont dans un état de dépérissement avancé.

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---



**Photo n° 01 : photo d'une touffe d'alpha prise dans la zone d'étude (Avril, 2013).**



**Photo n° 02 : Parcours à alpha dans la zone d'étude (Avril, 2013).**

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### ❖ *La steppe à Artemisia herba-alba*

#### ✓ *Caractères physionomiques*

D'un grand intérêt pastoral, la steppe à armoise blanche constitue un meilleur pâturage steppique surtout durant les périodes estivales.

Physionomiquement dominée par le Chih (*Artemisia herba-alba*), cette steppe occupe une faible superficie au sein de la zone d'étude où elle trouve son optimum écologique au sein des zones d'épandage, des eaux de ruissellement comme c'est le cas d'El Gor et El Aricha. Dans ces stations, le recouvrement de la végétation est de l'ordre de 35 % à 45%, avec des touffes de 40 cm de hauteur pour El Gor et 30cm à El Aricha avec des touffes d'armoise blanche dans un état délabré. Par contre, la station de Sidi Djilali ; *Artemisia herba-alba* est complètement absente. (BEKKOUCHE, 2010).

#### ✓ *Composition floristique*

La composition floristique globale comporte un cortège floristique représenté par un lot de taxons propres à ce type de steppe. Parmi ces espèces on note *Artemisia herba-alba*, *Astragalus armatus*, *Helianthemum virgatum*, *Helianthemum helianthemoïdes*, *Helianthemum pilosum*, *Biscutella didyma*, *Alyssum parviflorum*, *Raphanus raphanistrum*, *Reseda phyteuma*, *Papaver hybridum*, *Roemeria hybrida* et *Lolium rigidum* (BEKKOUCHE, 2010).

La végétation de cette steppe correspond à une mosaïque de 2 types de communautés. D'une part, la dominance des herbacées thérophytiques, constituées en grande partie par des taxons du cortège floristique à *Stipa tenacissima*; d'autre part, la présence d'espèces annuelles ou bisannuelles relevant de diverses familles comme *Daucus carota*, *Malva aegyptiaca*, *Linum strictum*, *Papaver rhoeas*, *Plantago psyllium*, *Plantago lagopus*, *Atractylis cancellata*, *Picris echioïdes*, *Taraxacum laevigatum*, *Micropus bombicinus*, *Plantago albicans*, *Scabiosa stellata*; enrichissant cette steppe à *Artemisia herba-alba*, et assurant un pâturage d'appoint pour les éleveurs de la région. (BEKKOUCHE, 2010).

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---



**Photo n°03 : photo d'une touffe d'armoïse blanche, prise dans la zone d'étude (Avril, 2013).**



**Photo n° 04 : Parcours à armoïse blanche dans la zone d'étude (Avril, 2013).**

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### ❖ *La steppe à *Spartium junceum* et à *Artemisia herba-alba**

La steppe à *Spartium junceum* assure la transition entre, d'une part les steppes à alfa, et armoise blanche, végétation typique des Hautes Plaines steppiques où prédomine l'élément floristique méditerranéen 64 % et d'autre part par la végétation du Sahara représentée par *Malva xaegyptiaca* ; taxon Saharo-Sindiennes environ 2%. (BEKKOUCHE, 2011).

### ✓ *Caractères physionomiques*

Physionomiquement dominée par *Spartium junceum*, cette steppe occupe une grande superficie au sein de la zone d'étude ; notamment à la station d'El Aricha où le recouvrement de la végétation est de l'ordre de 45%, avec des touffes d'*Artemisia herba-alba* de 30 cm de hauteur et des touffes de *Stipa tenacissima* dans un état délabré (BEKKOUCHE, 2011).

### ✓ *Composition floristique*

La composition floristique globale permet de reconnaître un premier lot d'espèces exclusives de ce type de steppe: *Gladiolus segetum*, *Phillyrea angustifolia*, *Sanguisorba minor*, *Asperula hirsuta*, *Ulex boivinii*, *Mathiola tricuspidata*, *Lepidium glastifolium*, *Adonis aestivalis* var *flava* et *Eruca visicaria*.

L'identification et la caractérisation de chacune de ces steppes peuvent servir comme un noyau initial pour l'établissement d'une typologie de référence pour le paysage steppique de Tlemcen. Typologie indispensable à la mise en place d'une politique d'identification des aires protégées en vue d'une conservation de la biodiversité et d'une gestion durable des ressources naturelles. Ici, les espèces indicatrices par leur présence seront peu nombreuses mais généralement très informatives.

La première steppe occupe les bioclimats semi-arides supérieurs et inférieurs. Les autres steppes apparaissent en bioclimats arides. (BEKKOUCHE, 2011).



**Photo n°05 : photo de deux touffes d'alfa et d'armoise blanche, prise dans la zone d'étude (Avril, 2013).**

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### III.8.2 La faune

La faune de la région Sud de Tlemcen est riche et variée domestique et sauvage. La faune domestique est représentée surtout par les ovins, les bovins et les caprins. Ces animaux constituent la principale source de vie pour la majorité des populations riveraines.

La faune sauvage est assez variée ; ces animaux sont adaptés à la sécheresse et aux variations de température.

### III.8.3 le climat

C'est un facteur très important en raison de son influence prépondérante sur les zones steppiques du Sud Ouest Oranais.

Le climat est un ensemble des facteurs du milieu qui interviennent en écologie, tel que : la température, le vent, l'humidité, les précipitations...etc. les paramètres climatiques sont directement responsables de la répartition et du développement des plantes ; comme ils interviennent fortement dans la formation et l'évolution du sol.

## III.9 Environnement bioclimatique de la région d'étude

### III.9.1 Introduction

De nombreux auteurs ont travaillé sur le climat général de l'Algérie, nous avons entre autres le travail de SELTZER (1946), BAGNOULS *et* GAUSSEN (1953-1957), QUEZEL (1957), GOUNOT (1959), SAUVAGE (1962-1963), Le HOUEROU *et al.* (1969-1973), STEWART (1969-1975), CHAUMONT *et* PAQUIN (1971), DAHMANI (1984), DJEBAILLI (1984), KADIK (1987), BENABADJI (1995) *et* BOUAZZA (1995).

L'ensemble de ces auteurs s'accordent à reconnaître que le climat de l'Algérie s'intègre au climat méditerranéen qui est un climat de transition entre la zone tropicale, avec un été chaud et très sec, et la zone Saharienne à hiver très froid.

Ce climat n'est tempéré qu'en bordure de mer, où l'hiver est frais et plus humide (ESTIENNE, 1970).

En ce qui concerne les études bioclimatiques sur l'Oranie et la région de Tlemcen, elles sont aussi nombreuses, il convient de citer les travaux d'ALCARAZ, (1969-1980) dans son étude sur la végétation de l'Ouest Algérien où il effectue une étude très complète des variations spatiales du climat de la région, (AIME ,1991), (HADJADJ AOUL ,1995), (BENABADJI *et* BOUAZZA ,2000).

En effet, le climat joue un rôle très important dans la répartition de la végétation. Dans le cadre de notre étude nous avons pris en considération comme paramètres climatiques, la pluviosité et les températures qui sont d'une part, les données les plus disponibles et d'autre part, les variables les plus influentes sur la végétation.

L'étude climatique de notre zone d'étude est faite sur la base des données de la station d'El Aricha et El Aoudj.

# PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

## III.9.2 Méthodologie

On a choisi les stations météorologiques : El Aricha et El Aoudj parce que ce sont les seules stations dont les données climatiques sont représentatives de notre zone d'étude (steppe de Tlemcen) et aussi disponibles.

Dans la steppe de Tlemcen, les précipitations sont très irrégulières d'une année à une autre, aussi afin de mieux observer les fluctuations climatiques, il a été nécessaire de prendre en considération une durée plus ou moins longue de 40ans (El Aoudj), de 30ans (El Aricha) pour les précipitations et températures.

**Tableau n° 06 : Situation géographique des stations étudiée.**

Stations	Latitudes (Nord)	Longitudes (Ouest)	Altitudes (m)	Communes	Wilayas
El Arichaa	34°12'00''	01°60'00''	1250	Tlemcen	Tlemcen



**Photo n° 06 : Materiel bioclimatique de la station météorologique (Février, 2013).**



## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### III.9.3 Paramètres climatiques

#### ➤ *Précipitation*

La pluviosité du point de vue quantitatif est exprimée en général par la pluviosité moyenne annuelle. Elle peut être utilisée comme un élément caractéristique du climat (Le HOUEROU, 1969 ; CELLES ,1975).

La variation des paramètres climatiques tels que l'évapotranspiration et la saison sèche, sont surtout fonction de la pluviosité moyenne annuelle.

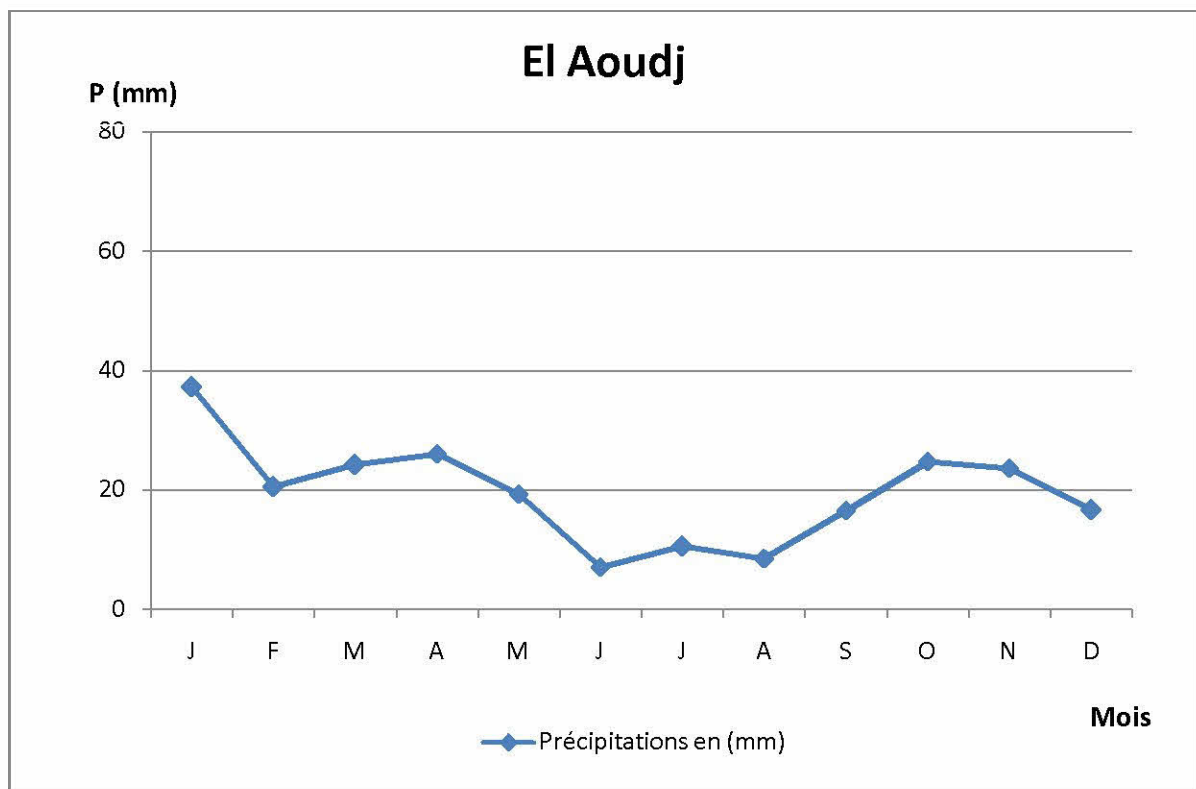
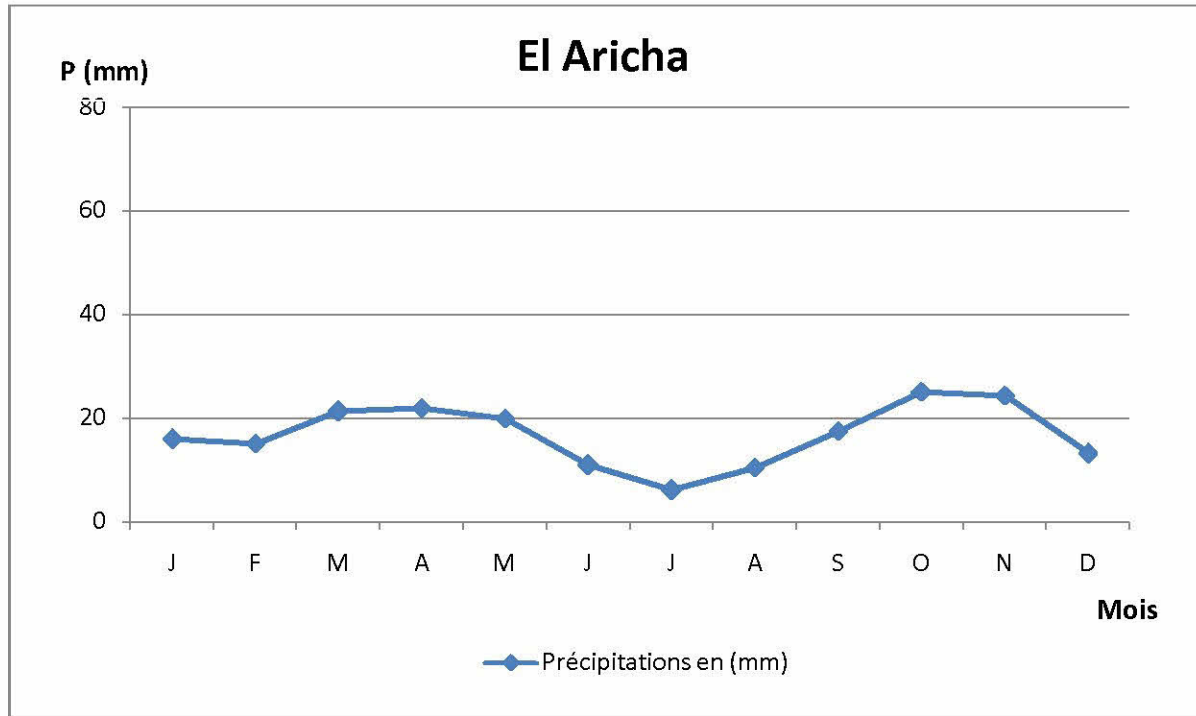
En effet, quand la pluviosité diminue l'évapotranspiration et la durée de la saison sèche augmentent (HOSTE, 1977 *in* Bekkouche, 2011). Ceci a conduit les auteurs à considérer la pluviosité moyenne annuelle comme un facteur important du climat.

#### **-Précipitations moyennes mensuelles et annuelles**

La pluviosité moyenne annuelle est de 202.7 mm pour la station d'El Aricha et de 235.8 mm pour la station d'El Aoudj. Entre ces deux stations, il y a une variation de 33.1 mm de plus pour la station d'El Aoudj.

On constate que pour la station météorologique d'El Aricha le mois dont la pluviosité est la moins élevée est Juillet avec 6.2 mm et le mois dont la pluviosité est la plus élevée est octobre avec 25.2mm. Concernant la station météorologique d'El Aoudj, le mois dont la pluviosité est la moins élevée est Juin avec 7.1mm et le mois dont la pluviosité est la plus élevée est Janvier avec 37.3mm.

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE



**FIGURE n° 24 : Régime pluviométrique mensuel pour les stations météorologiques d'El Aricha (1979-2012) et d'El Aoudj (1971-2012).**

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

### -Régime interannuel

Afin d'établir une étude complète, il nous a semblé important de prendre en considération des données complètes pour une période déterminée et ceci pour chaque station.

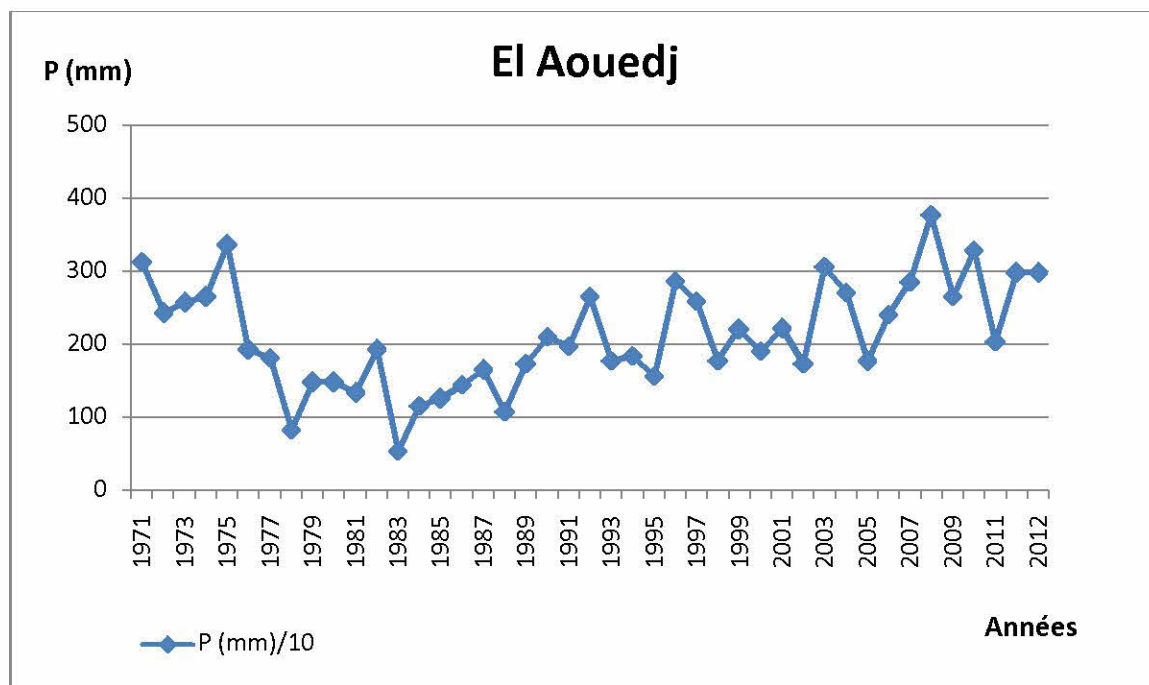
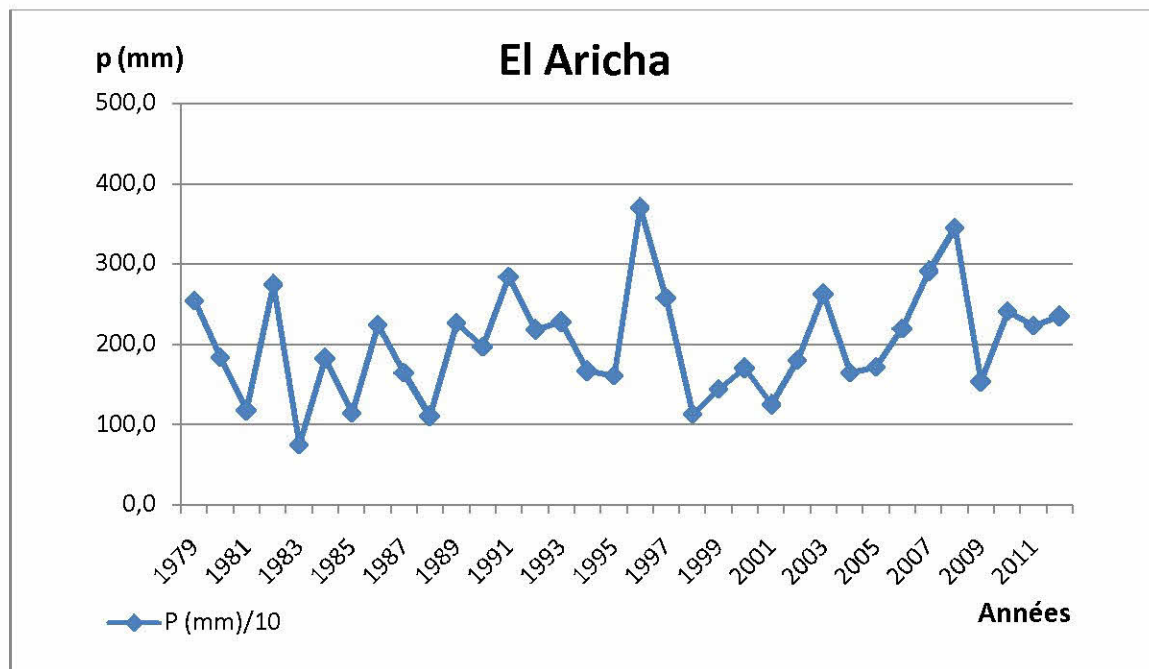


FIGURE n° 25 : Régime interannuel des stations d'El Aricha (1979-2012) et El Aoudj (1971-2012).

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### **-Régime saisonnier**

Le régime pluviométrique est aussi considéré comme un élément caractéristique du climat.

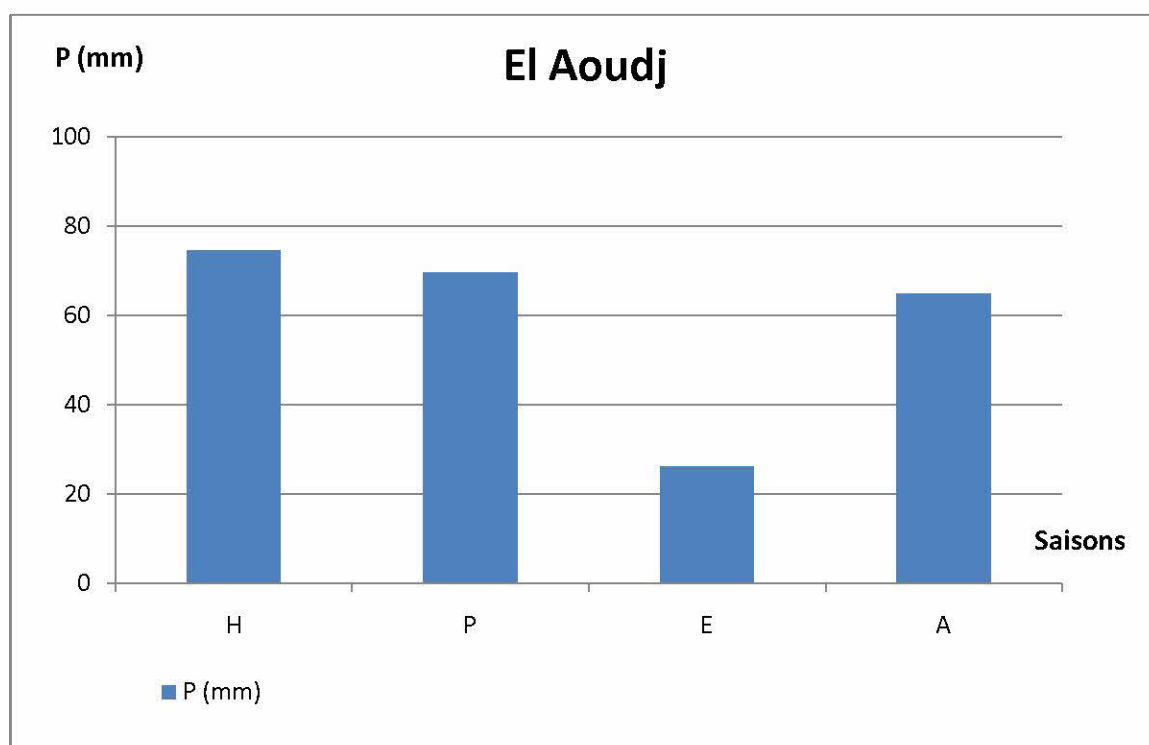
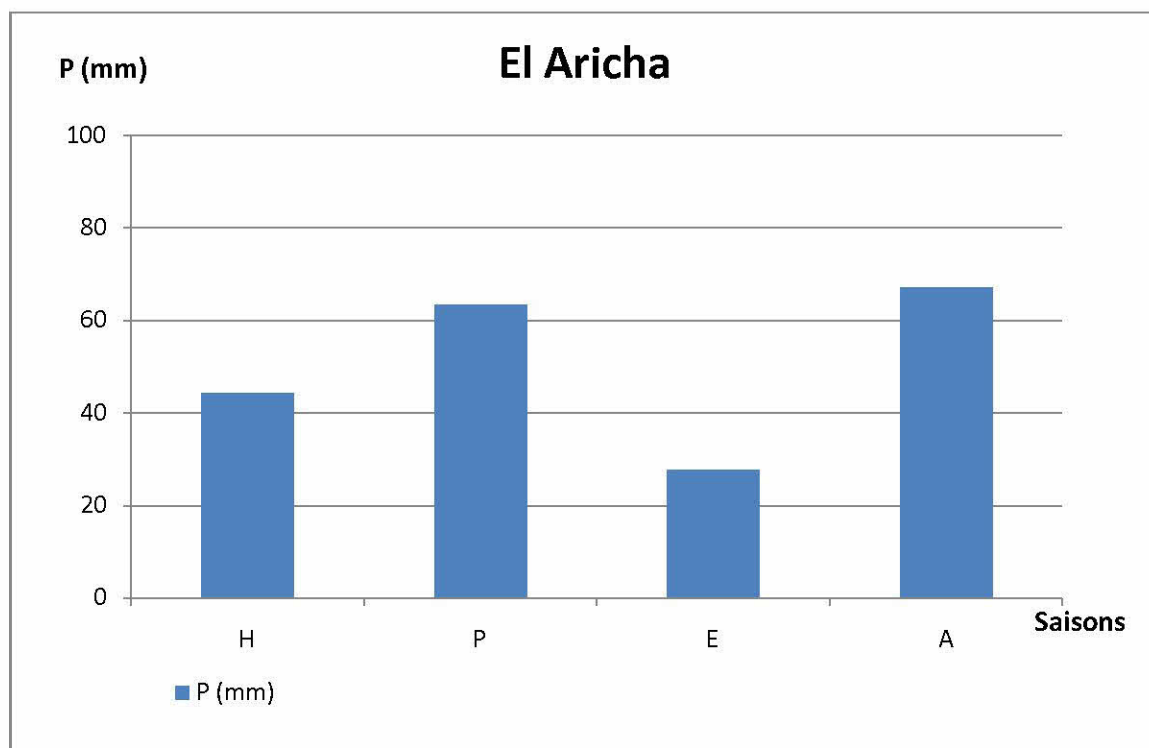
La répartition des pluies est plus importante que la quantité pluviométrique annuelle pour le végétal car l'eau qui lui est utile est celle qui est disponible durant son cycle de développement (ACHOUR, 1983).

Le régime pluvial est couramment exprimé par le régime saisonnier qui est représenté dans la (figure 26).

Le régime pluviométrique saisonnier est de type APHE pour la station d'El Aricha et de type HPAE pour la station d'El Aoudj.

On remarque que toutes les stations sont représentées par un minimum estival, ce qui est une des caractéristiques essentielles du climat méditerranéen (EMBERGER, 1930 *et* DAGET, 1977).

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE



**FIGURE n° 26 : Régime pluviométrique saisonnier des stations météorologiques d'El Aricha (1979-2012) et El Aoudj (1971-2012).**

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### ➤ *Températures*

Tout comme la pluviosité, les températures sont des éléments importants pour la vie des végétaux.

En effet, en écologie, la connaissance de la valeur des extrêmes est un indicateur pour les seuils létaux (DJELLOULI, 1999 *et* DJEBAILLI, 1984).

L'étude des températures de la station d'el Aricha a été faite pour la période (1979-2012).

#### **-Température moyenne et annuelle :**

Elle est de 14.57°C pour la station météorologique d'El Aricha.

#### **-Températures moyennes mensuelles**

Elles sont comprises entre 4,8°C et 27,7°C pour la station d'El Aricha.

#### **-Moyenne des températures minimales du mois le plus froid « m » :**

Les minima thermiques « m » expriment le degré et la durée de la période critique des gelées (EMBERGER, 1930). Selon SAUVAGE (1961), elle détermine le repos hivernal caractérisé par une température inférieure à 3°C.

Pour la station météorologique d'El Aricha, la moyenne des températures minimales du mois le plus froid « m » est de 0°C avec généralement le mois de Janvier comme le mois le plus rigoureux, pour la période (1979-2012).

#### **-Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M » :**

La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M » est une valeur aussi importante que « m », car elle représente elle aussi un facteur limitant pour certains végétaux.

Pour notre station, la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M » est de 32.94°C pour la période (1979-2012), avec généralement Juillet comme le mois le plus chaud.

#### **-Amplitude thermique :**

DEBRACH (1953), a fait une classification thermique des climats, basée sur cette amplitude (M-m) :

-Climat insulaire :  $M-m < 15^{\circ}\text{C}$  ;

-Climat littoral :  $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$  ;

-Climat semi-continentale :  $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$  ;

-Climat continental :  $35^{\circ}\text{C} < M-m$ .

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

Tableau n°07 : Amplitude thermique de la station météorologique d'El Aricha (1979-2012).

Station	M-m	Type de climat
El Arichaa	32.94	Continental

Avec une « M » de 32.94°C et « m » de 0°C on obtient une amplitude thermique de 32.94 donc la station d'El Aricha possède un climat de type semi-continental pour la période (1979-2012).

Ce type de climat entraîne l'installation d'un cortège floristique steppique caractérisée par la présence des espèces suivantes :

*Stipa tenacissima; Artemisia herba-alba; Astragalus armatus.*

### -Classification des ambiances bioclimatiques en fonction de "T" et "m":

RIVAS MARTINEZ utilise la température moyenne annuelle "T" avec la Température moyenne des minima comme critère de définition des étages de végétation.

- **Thermo-méditerranéen:**  $T > 16^{\circ}\text{C}$  et  $m > +5^{\circ}\text{C}$
- **Méso-méditerranéen:**  $12^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$  et  $0^{\circ}\text{C} < m < +5^{\circ}\text{C}$
- **Supra-méditerranéen:**  $8^{\circ}\text{C} < T < 12^{\circ}\text{C}$  et  $-5^{\circ}\text{C} < m < 0^{\circ}\text{C}$

Avec une température moyenne annuelle « T » de 14.57°C et une moyenne des minima du mois le plus froid « m » de 0°C, notre station est caractérisée d'une ambiance climatique Méso-méditerranéenne.

### III.9.4 Synthèse bioclimatique

La synthèse climatique est basée sur plusieurs indices climatiques, tenant compte de variables telles que la pluviosité et les températures, afin d'établir une expression synthétique du climat régional.

- **Indices climatiques**

#### -Indice de DEMARTONE

L'indice de DEMARTONE (1926) est utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse

$$I = P / T + 10$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C)

$I = 198 / 14.57 + 10$  ainsi l'indice de DEMARTONE de la station météorologique d'El Aricha est de 8.05.

Suivant la (figure29), l'indice d'aridité de DE.MARTONNE, nous montre que la Station d'El Aricha suit un régime semi-aride avec un écoulement temporaire et formations herbacées.

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

---

### -Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER et STEWART

Emberger (1955) a proposé un quotient pluviométrique ( $Q_2$ ) spécifique du climat méditerranéen, suite aux travaux de Sauvage (1961), le  $Q_2$  a été formulé de la façon suivante :

$$Q_2 = 1000P / (M-m)(M+m)/2 = 2000P/M^2-m^2$$

- $Q_2$  : Quotient pluviothermique ;

-P : précipitations moyennes annuelles en mm ;

-M : moyenne des maxima thermiques du mois le plus chaud en degré kelvin ;

-m : moyenne des minima thermiques du mois le plus froid, en degré kelvin.

-Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER et STEWART pour la station d'El Aricha pour la période (1979-2012) est de 20.76, donc la station d'El Aricha se positionne dans l'étage climatique aride supérieur sur le climagramme d'Emberger.

-En Algérie, STEWART a développé une reformulation du quotient Pluviothermique de la manière suivante :

$$Q_3 = P/M-m$$

**M** et **m** sont exprimés en degrés Celsius.

STEWART a montré aussi que les valeurs du **Q3** et celles obtenues par la formule du **Q2** sont très peu différentes.

La valeur du **Q3** pour notre station (1979-2012) est de 20.61.

La différence entre **Q2** et **Q3** est inférieure à 3%.

### -Indice xérothermique de Bagnouls et Gausсен

BAGNOULS *et* GAUSSEN (1953) ont établi les diagrammes ombrothermiques à partir de la formule  $P < 2T$ .

P : Exprime les précipitations en mm du mois considéré.

T : Exprime les températures en degré Celsius durant le même mois considéré.

Un mois est considéré comme sec lorsque la courbe des températures est supérieure à celle des précipitations, la partie du graphe comprise entre les deux courbes traduit la durée et l'intensité de la sécheresse.

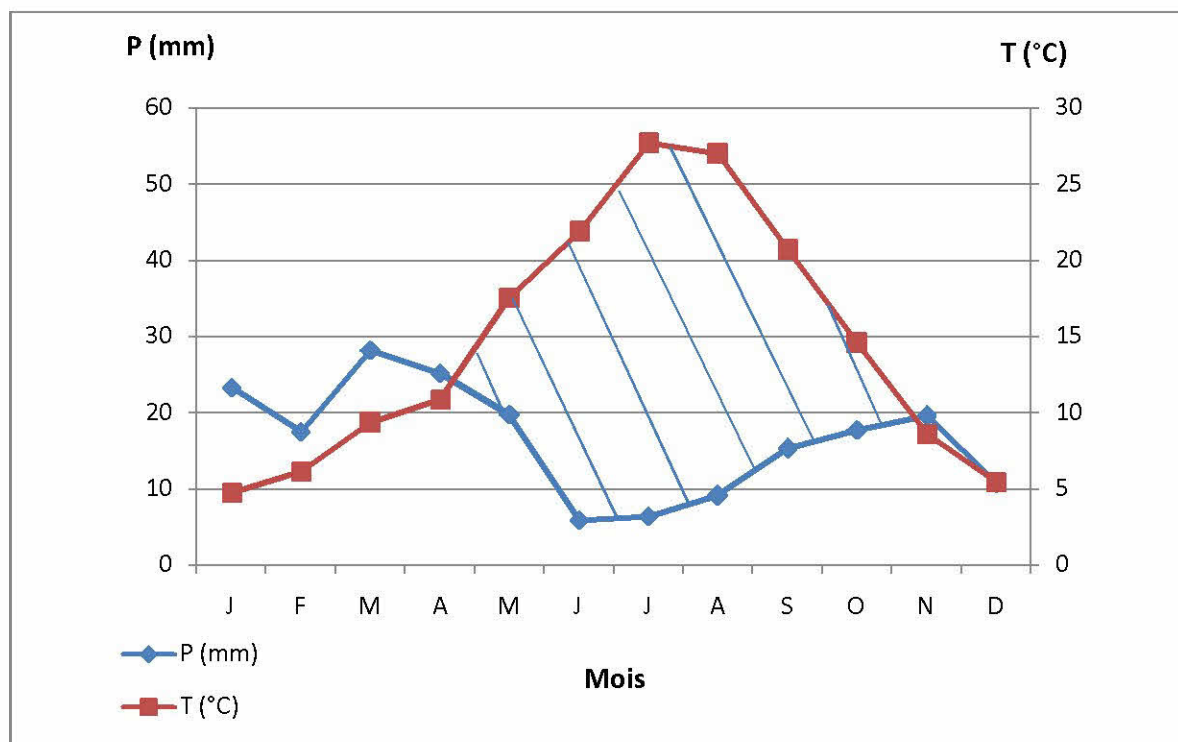
L'intersection des courbes thermiques et pluviométriques détermine la durée de la saison sèche. D'après les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausсен de la station météorologique étudiée, la période sèche est de presque 7 mois.



## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

### Représentation des climagrammes et diagrammes

#### ➤ *Diagramme Ombrothermique*



**FIGURE n° 27 : Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausson pour la station d'El Aricha (1979-2012).**

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

➤ *Le climagramme d'Emberger :*

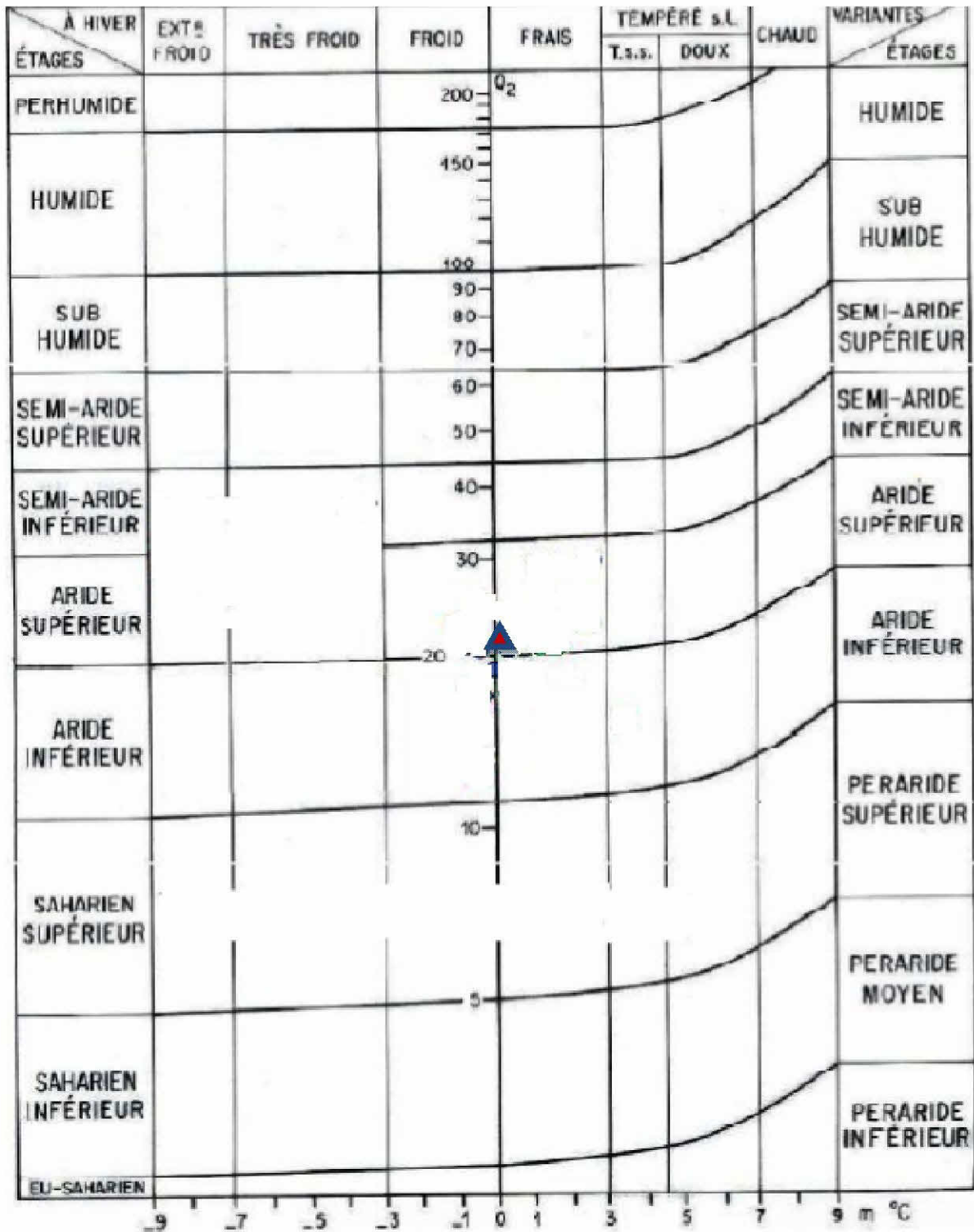


FIGURE n°28 : Position bioclimatique de la station d'El Aricha pour la période (1979-2012) sur le climagramme pluviothermique d'Emberger.

## PRESENTATION DE LA ZONE D ETUDE

### ➤ L'abaque de DEMARTONE

La station d'El Aricha a pour la période (1979-2012) un régime semi aride avec un écoulement temporaire et une formation herbacée.

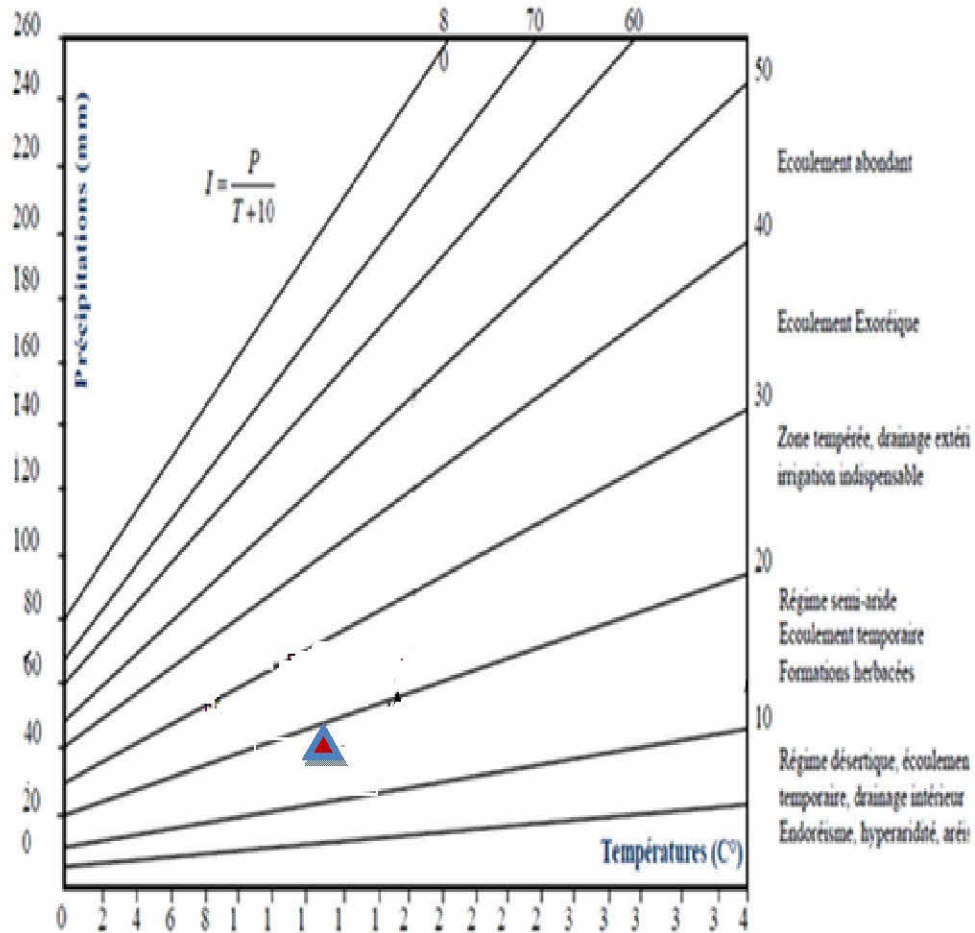


FIGURE n°29 : Abaque pour le calcul de l'indice d'aridité de DEMARTONNE pour la station d'El Aricha pour la période (1979-2012).

*Chapitre IV :*  
*L'espace écologique et socio-  
économique*

## CHAPITRE IV : L'ESPACE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

### Introduction

« Accroissement de la population steppique, hausse de la charge pastorale, sécheresse, politique de développement rural : le milieu steppique du Sud de Tlemcen change en fonction des changements du climat et de la société. Viser un développement durable c'est vouloir réconcilier l'activité économique, le développement social et la gestion de l'environnement » (HADDOUCHE, 2009).

Ce chapitre a pour objectif de poser quelques repères passés et actuels en termes de démographie et de développement rural pour établir des liens possibles entre les actions anthropiques et les impacts environnementaux décelés précédemment.

Pour ce, nous nous sommes basé sur :

- Les travaux déjà réalisés dans la région et qui portent sur l'analyse du processus de la disparition du nomadisme et de l'évolution de la sédentarisation des pasteurs dans le temps et dans l'espace, notamment les travaux de BOUKHOBZA (1982) et HADDOUCHE (2009).
- Les données des recensements généraux de la population et de l'habitat (RGPH), les données recueillies par la direction de la planification et de l'aménagement du territoire (DPAT., 2011).

### IV.1 Espace écologique

#### IV.1.1 Hétérogénéité et spécificité

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

- La pluviométrie ;
- La répartition de la végétation
- L'avancement de la dégradation des milieux naturels (de la végétation et du sol).

Mais la spécificité de la steppe reste liée aux facteurs : homme, climat et sol.

#### IV.1.2 La relation sol-végétation

Plusieurs relations sont établies entre les milieux édaphiques et la répartition des unités phytosociologiques. Le sol constitue une partie intégrante des milieux naturels. Ce ci dit, son étude doit obligatoirement faire appel à l'ensemble de la caractéristique physique et biologique de l'écosystème : le climat, le relief, la végétation et la faune.

BAISE et JABIOL (1995) considèrent que le sol est beaucoup mieux désigné par le terme de couverture pédologique.

Ces dernières sont des objets naturels dont l'existence à l'état actionnel résulte de l'évolution au cours du temps d'un corps minéral sous réaction combinée des facteurs climatiques (température, précipitation) et de l'activité biologique des végétaux et des micro-organismes.

La végétation actuelle steppique joue un rôle important pour la genèse des sols. POUGET, (1980) a montré le rôle important joué par le système racinaire de la végétation steppique dans l'altération et la destruction de la partie supérieure de la croûte calcaire.

### IV.1.3 La végétation

Il est possible qu'avant l'action de l'homme, la végétation de la steppe évoluant librement, ait réalisé en chaque lieu des ensembles harmonieux, stables et en équilibre avec les conditions du milieu.

Après les interventions successives de l'homme et du cheptel dans le temps et dans l'espace, la végétation originelle a donné naissance à la végétation actuelle. La végétation de la steppe est formée en grande partie par des espèces vivaces ligneuses (chamephytes). A ces espèces vivaces s'ajoute une végétation annuelle dite « printanière herbacée ». Elles s'abritent souvent à l'intérieur des touffes des espèces annuelles vivaces (chamaéphytes, alfa, sparte, armoise...etc.).

Les principaux types des formations végétales :

- **Les forêts :** Toujours plus ou moins dégradées, forêt claire à pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et à chêne vert (*Quercus ilex*). La taille des arbres dépasse les 7 mètres de hauteur pour un nombre d'individus. Le sous bois se compose d'arbustes, arbrisseaux et de chamaéphytes variés, l'alfa est présent, en particulier dans les clairières.
- **Les matorrals :** Distingués par des formations d'origine forestières, analogues à une garrigue ou à un maquis. Il y subsiste des reliques d'arbustes ou arbrisseaux forestiers tel que le chêne vert (*Quercus ilex*) et les genévriers (*Juniperus oxycedrus*).

### IV.1.4 Le sol

Les sols steppiques sont pauvres et fragiles à cause de la rareté de l'humus et de leurs très faibles profondeurs.

Les principaux types de sols :

- Les sols formés sur les substratums géologiques ;
- Les sols à accumulation calcaire des glacis et terrasse quaternaires ;
- Les sols des formations éoliennes.

## IV.2 L'étude socio-économique

### IV.2.1 La population

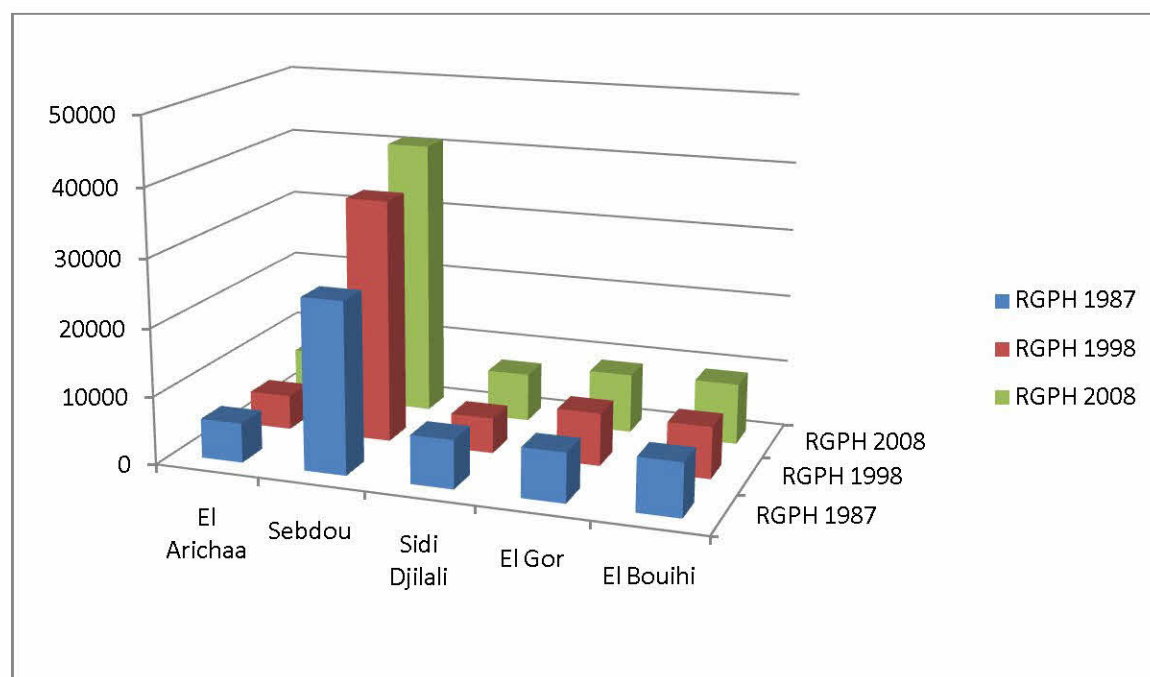
Dans la stratégie de l'aménagement de la wilaya de Tlemcen, la commune d'El Aricha est appelée à jouer un rôle fondamentale dans le rééquilibrage de l'armature urbaine de la wilaya qui se distingue aujourd'hui par une répartition non équilibrée de la population sur l'ensemble du territoire de la wilaya.

C'est pour cela et au même titre que Sidi Djilali et éventuellement El Gor, la commune d'El Aricha doit non seulement se préparer pour maintenir sa population sur place, mais également mettre en place toutes les commodités socioéconomiques pour assurer un redéploiement des populations.

**Tableau n°08 : Evolution de la population pour les trois derniers R.G.P.H.**

Commune	RGPH 1987	RGPH 1998	RGPH 2008
El Aricha	5820	5100	7171
Sebdou	25203	35836	40932
Sidi Djilali	7118	5229	7155
El Gor	7268	7754	8762
El Bouihi	7833	7618	9021

Source : D.P.A.T, (2011)



**FIGURE n° 30 : Evolution de la population pour les 3 derniers R.G.P.H.**

### Evolution de la population

Le recensement général de la population et de l'habitat de 2008 (tableau 08) a déterminé une population de :

- El Aricha 7171 personnes ;
- Sebdou : 40932 personnes ;
- Sidi Djilali : 7155 personnes ;
- El Gor : 8762 personnes ;
- El Bouihi : 9021 personnes.

On constate pour les 3 derniers R.G.P.H que l'évolution de la population pour les 5 communes est beaucoup plus marquée pour la commune de Sebdou par rapport aux autres communes, où il a été remarqué une faible évolution (Figure 30).

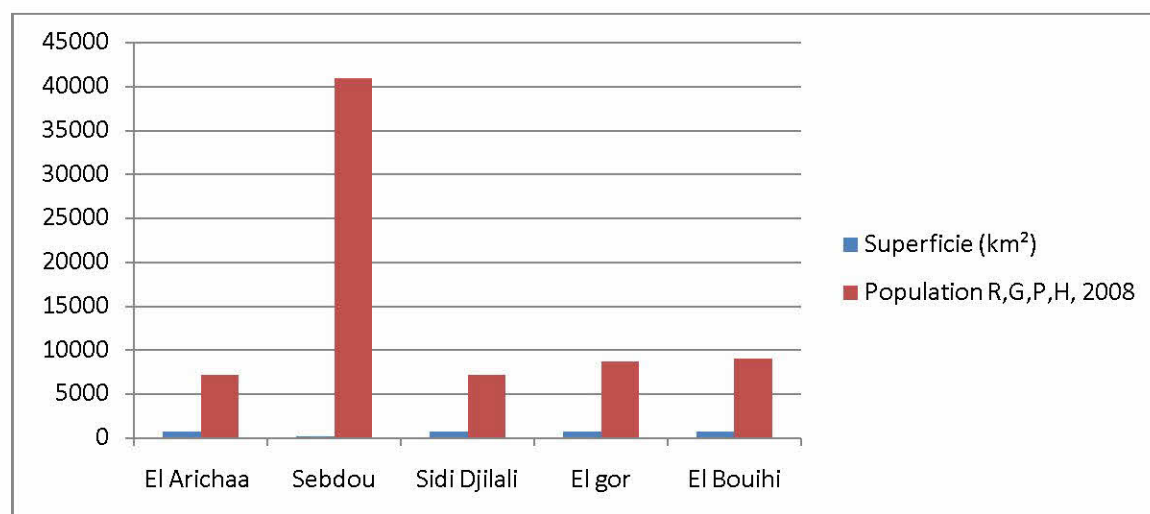
Ainsi, l'armature urbaine de la région steppique de la wilaya se distingue aujourd'hui par une répartition non équilibrée de la population sur l'ensemble de son territoire. (Figure 30).

## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

**Tableau n° 09 : Répartition de la superficie des communes de la wilaya**

Communes	Superficie (km <sup>2</sup> )	Population R.G.P.H 2008
El Aricha	747.3	7171
Sebdou	249.8	40932
Sidi Djilali	733.4	7155
El Gor	803.9	8762
El Bouihi	734	9021

Source : D.P.A.T, (2011)



**FIGURE n° 31 : Répartition de la population sur la superficie des communes steppiques de la wilaya**

### IV.2.1.1 Situation démographique

#### ➤ Structure de la population par communes

La population de la zone d'étude est mal répartie d'une commune à l'autre, elle est importante à la commune de Sebdou qui est respectivement de 40932 personnes en 2008 d'une part et faible à El Aricha, Sidi Djilali, El Bouihi et El Gor respectivement de 7171, 9021, 8762 et 7155 pour la même année. Cette hétérogénéité de la population des espaces rend les charges socio-économiques plus présentes sur la commune de Sebdou que sur les autres communes.

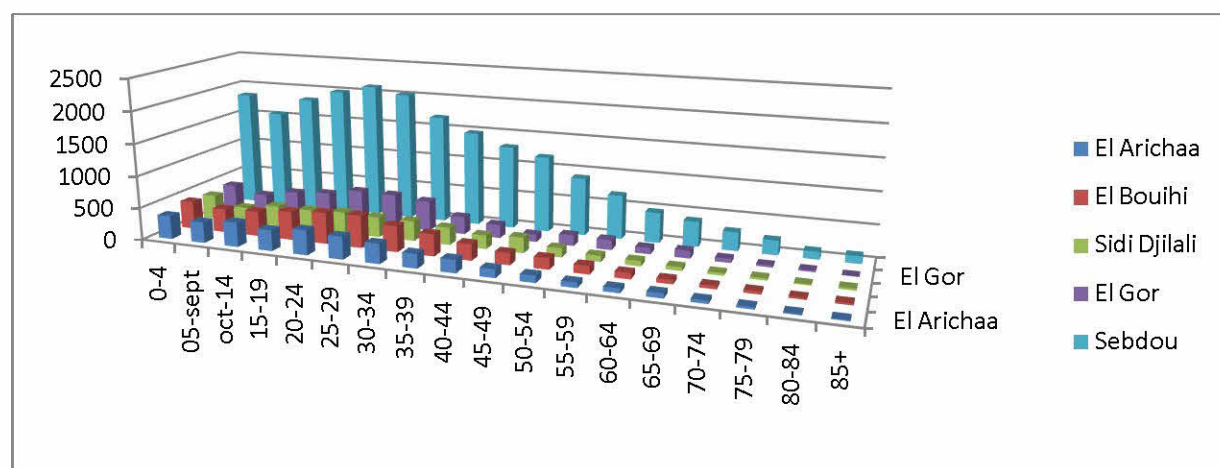


## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

**Tableau n° 10 : Répartition de la population masculine par commune (année 2008)**

communes	El Aricha	Sebdou	Sidi Djilali	El Gor	El Bouihi
0-4	363	1839	348	409	432
5-9	323	1554	239	302	371
10-14	379	1831	316	397	388
15-19	324	1999	311	436	445
20-24	385	2118	333	527	483
25-29	351	2023	310	520	503
30-34	306	1692	309	470	403
35-39	220	1481	269	273	339
40-44	202	1300	210	207	253
45-49	131	885	141	113	184
50-54	105	903	139	166	173
55-59	78	685	94	156	126
60-64	67	471	82	96	92
65-69	73	393	57	116	64
70-74	47	289	39	62	46
75-79	33	224	33	30	42
80-84	17	118	17	24	26
85+	14	115	29	07	26

Source : D.P.A.T (2011).

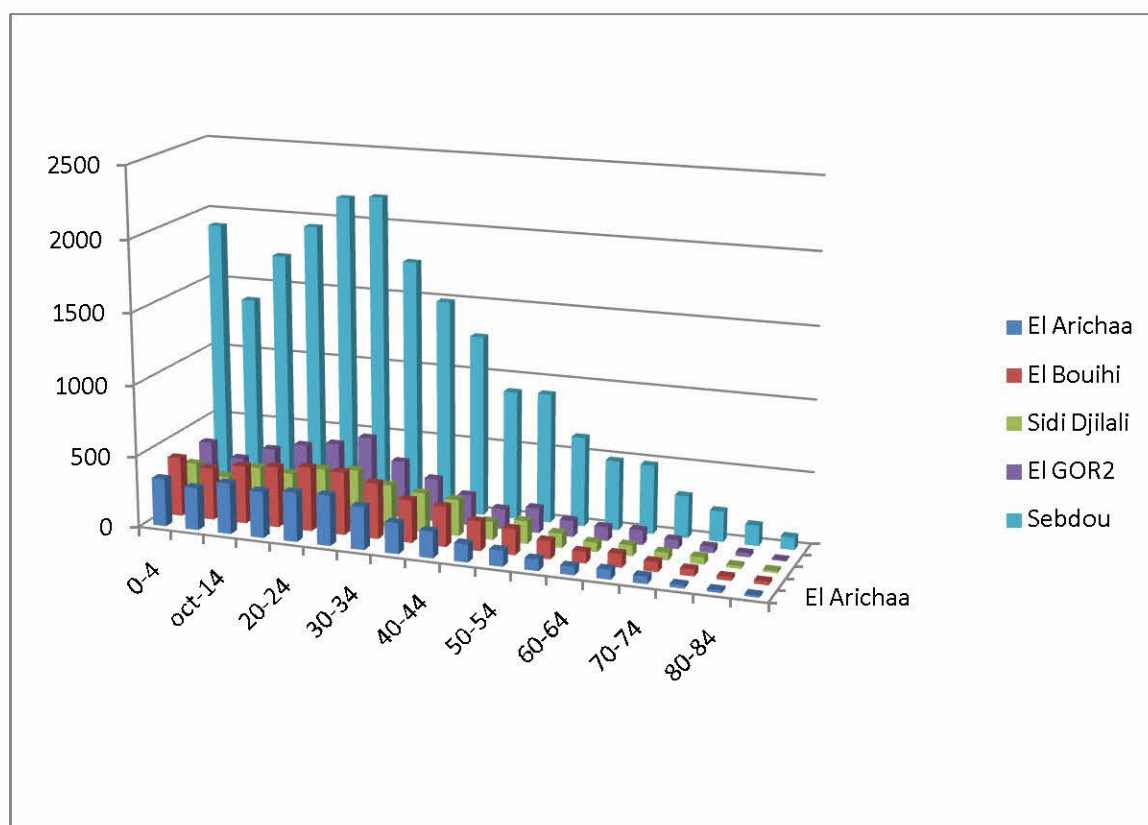


**FIGURE n° 32 : Répartition de la population masculine par commune (année 2008)**

## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

**Tableau n° 11 : Répartition de la population féminine par commune (année 2008)**

Communes	El Aricha	Sebdou	Sidi Djilali	El Gor	El Bouihi
0-4	335	1900	304	388	414
5-9	297	1385	235	297	364
10-14	355	1718	325	389	406
15-19	325	1943	308	443	426
20-24	345	2162	367	477	448
25-29	351	2184	383	545	440
30-34	289	1749	303	400	389
35-39	214	1491	273	301	298
40-44	184	1266	253	213	280
45-49	126	900	128	141	206
50-54	111	907	159	174	180
55-59	79	627	101	113	126
60-64	58	486	66	95	81
65-69	67	428	75	101	95
70-74	51	293	54	63	69
75-79	23	213	50	43	47
80-84	18	142	20	27	25
85+	14	87	16	09	24



**FIGURE n° 33 : Répartition de la population féminine par commune (H.G.P.H, 2008).**

## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

### Commentaire :

La population infantile moins de 4 ans représente 9.72% de la population totale des 5 communes (El Arichaa, Sebdou, Sidi Djilali, El Gor et El Bouihi). La tranche d'âge plus de 4 à 14ans (approximativement la population en âge de la scolarisation : primaire et moyenne), représente 17.39% de l'ensemble des habitants de la zone d'étude. Les personnes du groupe d'âge de 15à 64ans qui sont sensés représenter la population active 67.17% de la population totale. Les personnes âgées de 65ans et plus, représentant la population retraitée, sont d'environ 5.07% de l'ensemble de la population de la zone d'étude.

La population de moins de 14ans est plus de 65ans, appelée population dépendante, représente 32.34% de la population totale. Elle est à la charge de la population active qui reste la plus importante dans cette région steppique (67.66%).

### ➤ Le taux de natalité et de mortalité durant l'année 2008

Tableau n° 12 : le taux de natalité et mortalité pour l'année 2008

communes	Taux de natalité 1000%	Taux de mortalité 1000%	Population totale
El Arichaa	4.60	3.63	7171
Sebdou	55.07	5.59	40932
Sidi Djilali	0.84	5.89	7155
El Gor	0.68	2.74	8762
El Bouihi	1.88	2.44	9021

Source : D.P.A.T, (2011)

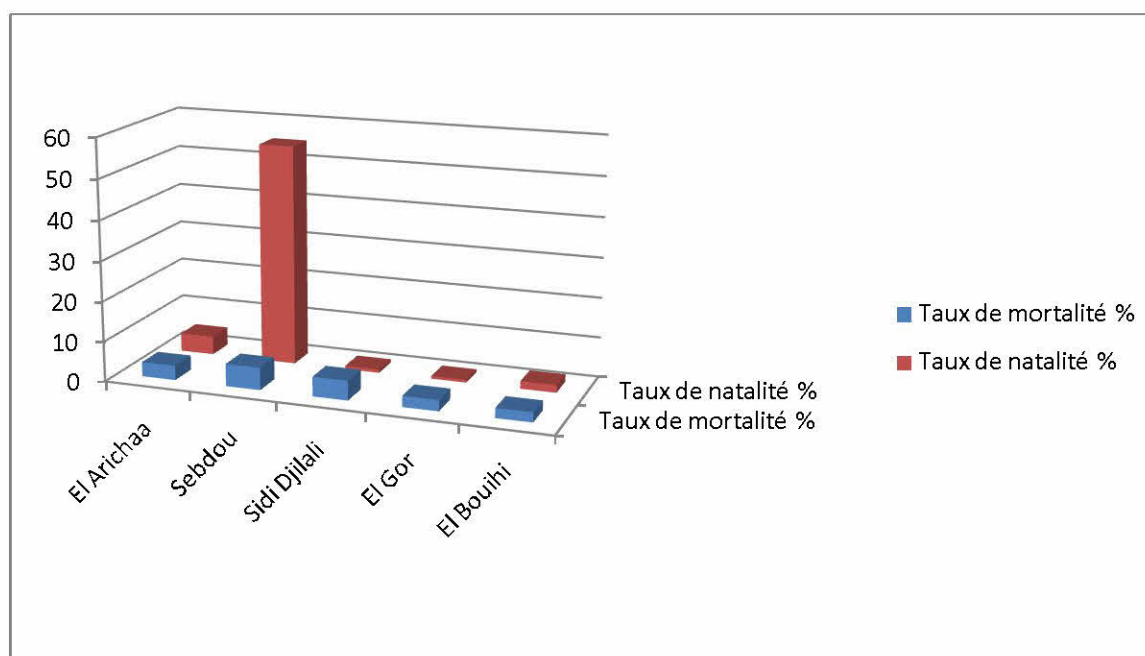


FIGURE n° 34 : Le taux de natalité et mortalité pour l'année 2008

Le taux de natalité de la commune de El Aricha (4.60%) est supérieur au taux de mortalité (3.63%), la commune de Sebdou présente un taux de natalité de (55.07%) plus important que celui de mortalité, pour la commune de Sidi Djilali le taux de natalité est de (0.84%) et inférieur à celui de mortalité (4.89%) et la même chose pour les communes d'El Gor et d'El Bouihi (tableau 12, Figure 34).

### **VI.2.2 L'agriculture et l'agro-pastoralisme**

Selon BOURBOUZE *et* GIBON (1999), *in* HADDOUCHE (2009), les années 1970-1980 ont été marquées, dans les pays du Maghreb, par les grandes politiques de sédentarisation des populations pastorales et de modernisation de l'agriculture dans les zones favorables.

Selon HADDOUCHE (2009), dans les zones arides et semi-arides, le passage du pastoralisme fondé sur la mobilité des troupeaux à l'agropastoralisme avec le développement progressif d'une agriculture intégrée s'est accéléré avec la mise en place des politiques de lutte contre les effets de la sécheresse qui ont permis le maintien d'un stock animal important durant les périodes de sécheresse grâce au transfert de forage des zones favorables vers les zones arides.

#### **VI.2.2.1 La surface agricole utile**

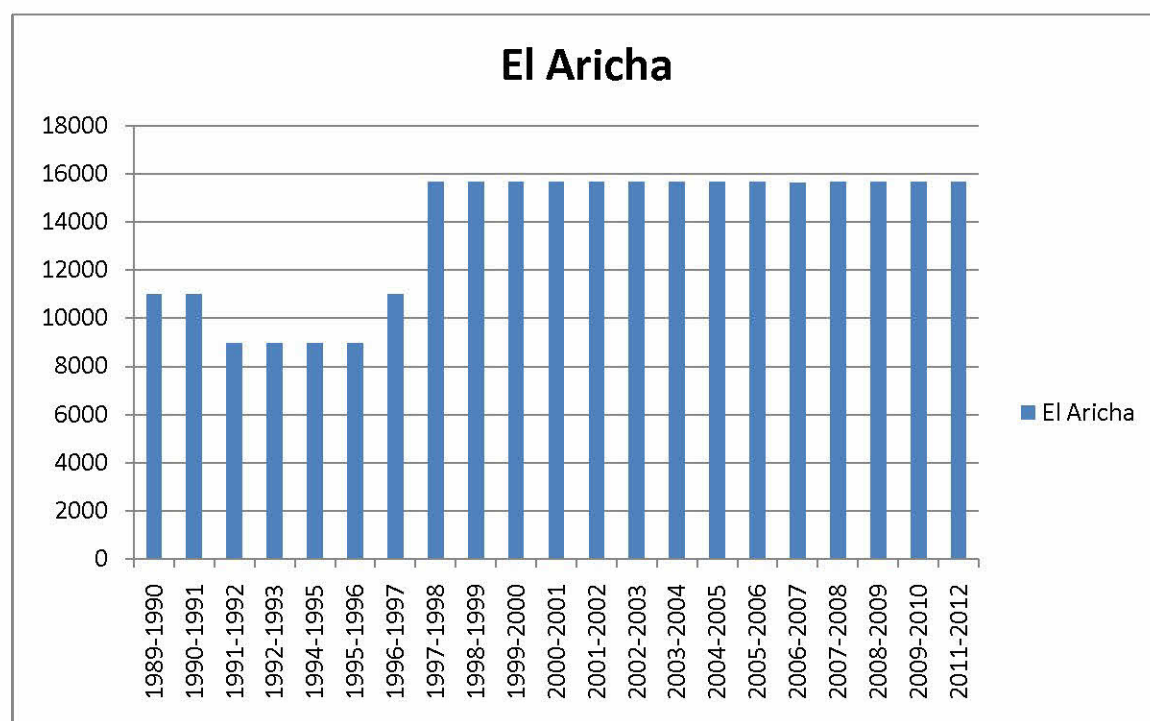
Pour l'agriculture, il est important de noter que le chiffre de la S.A.U déclaré par la direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Tlemcen est sous estimé. A l'échelle de la wilaya, la S.A.U a connu une progression plus ou moins régulière.

## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

**Tableau n° 13 : Superficie des terres utilisées par l'agriculture (S.A.U)**

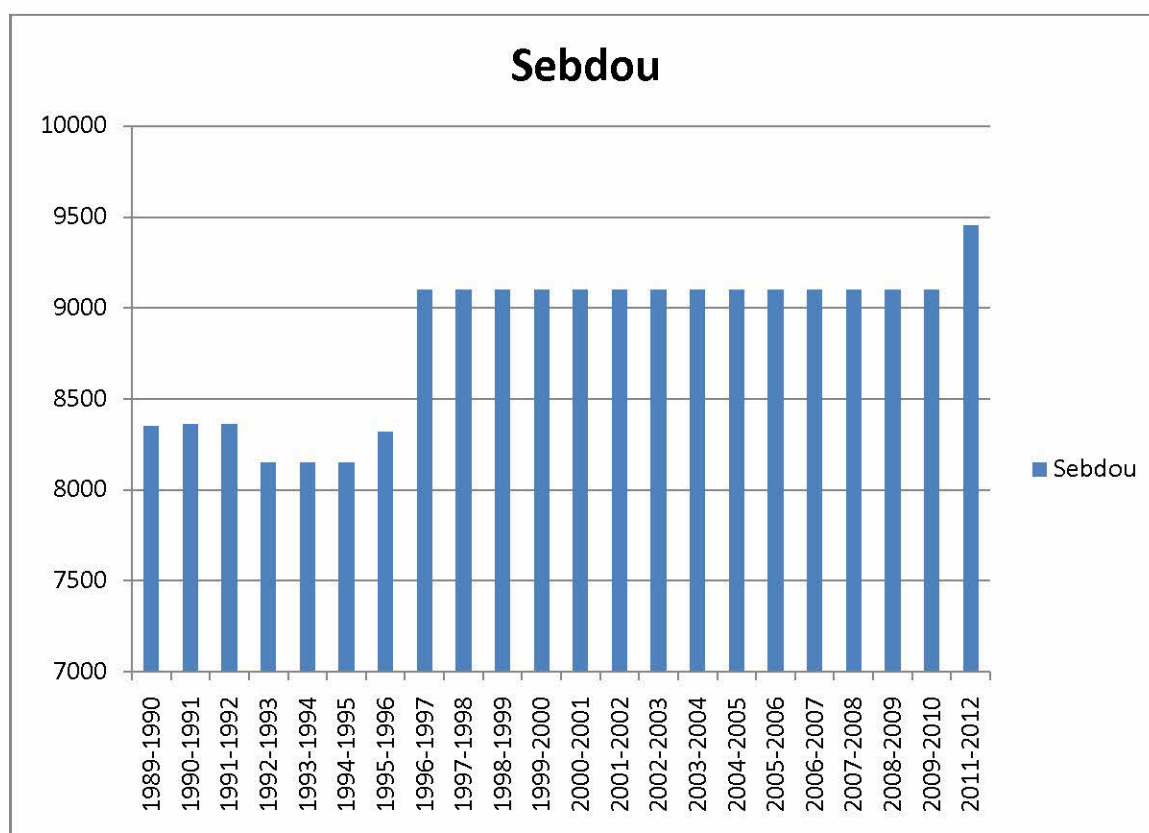
Les communes	El Aricha	Sebdou	Sidi Djilali	El Gor	El Bouihi
1989-1990	11000	8352	31500	29965	24400
1990-1991	11000	8362	31500	29965	24400
1991-1992	9000	8362	31000	28965	24400
1992-1993	9000	8152	31000	28965	24400
1993-1994	9000	8152	31000	18965	24400
1994-1995	9000	8152	31000	30100	24400
1995-1996	11000	8322	31200	30100	24400
1996-1997	15700	9102	10000	17000	19500
1997-1998	15700	9102	10000	17000	19500
1998-1999	15700	9102	10000	17000	19500
1999-2000	15700	9102	10000	17000	19500
2000-2001	15700	9102	10000	17000	19500
2001-2002	15700	9102	10000	17000	19500
2002-2003	15700	9102	10000	17000	19500
2003-2004	15700	9102	10000	17000	19500
2004-2005	15700	9102	10000	17000	19500
2005-2006	15651	8920	9885	19949	19500
2006-2007	15700	9102	10000	17000	19500
2007-2008	15700	9102	10000	17000	19500
2008-2009	15700	9102	10000	17000	19500
2009-2010	15700	9102	10000	17000	19500
2011-2012	15700	9414	10000	17000	19500

Source : D.S.A, (2011)



**FIGURE n° 35 : Evolution de la S.A.U. en (ha) de la commune d'El Aricha 2012.**

Source : D.S.A, (2012)



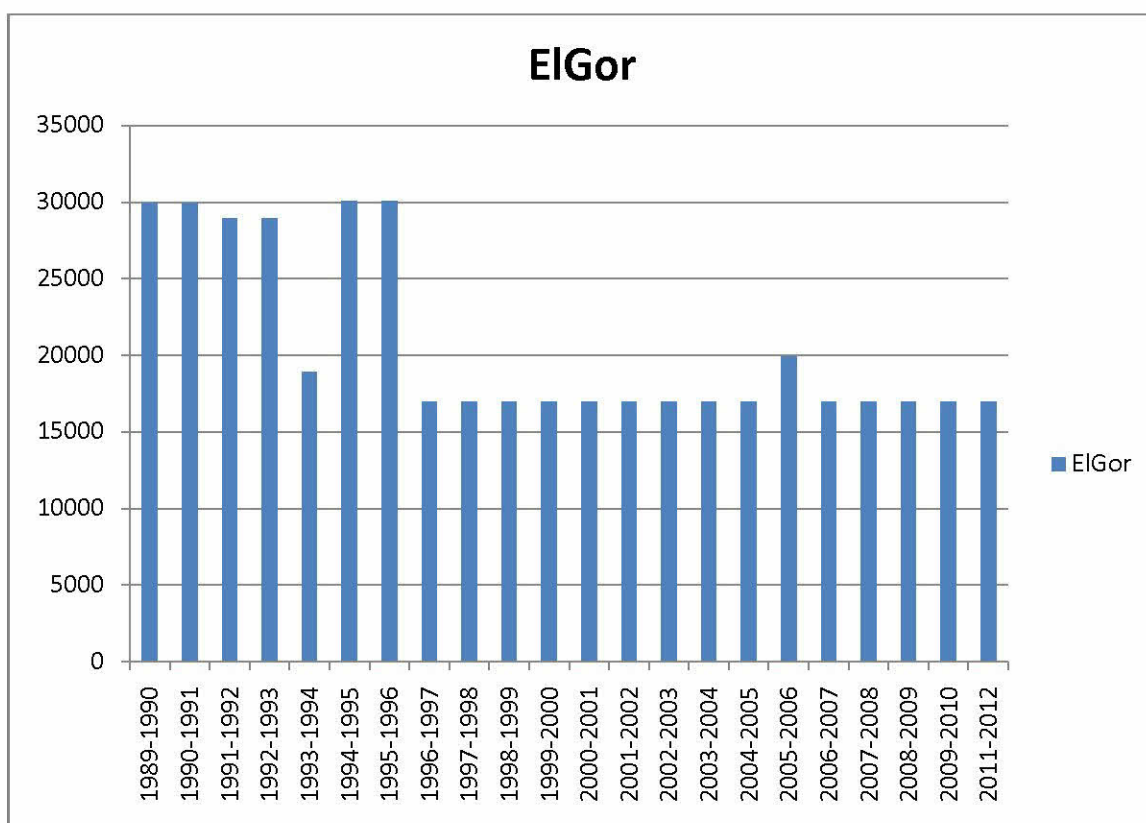
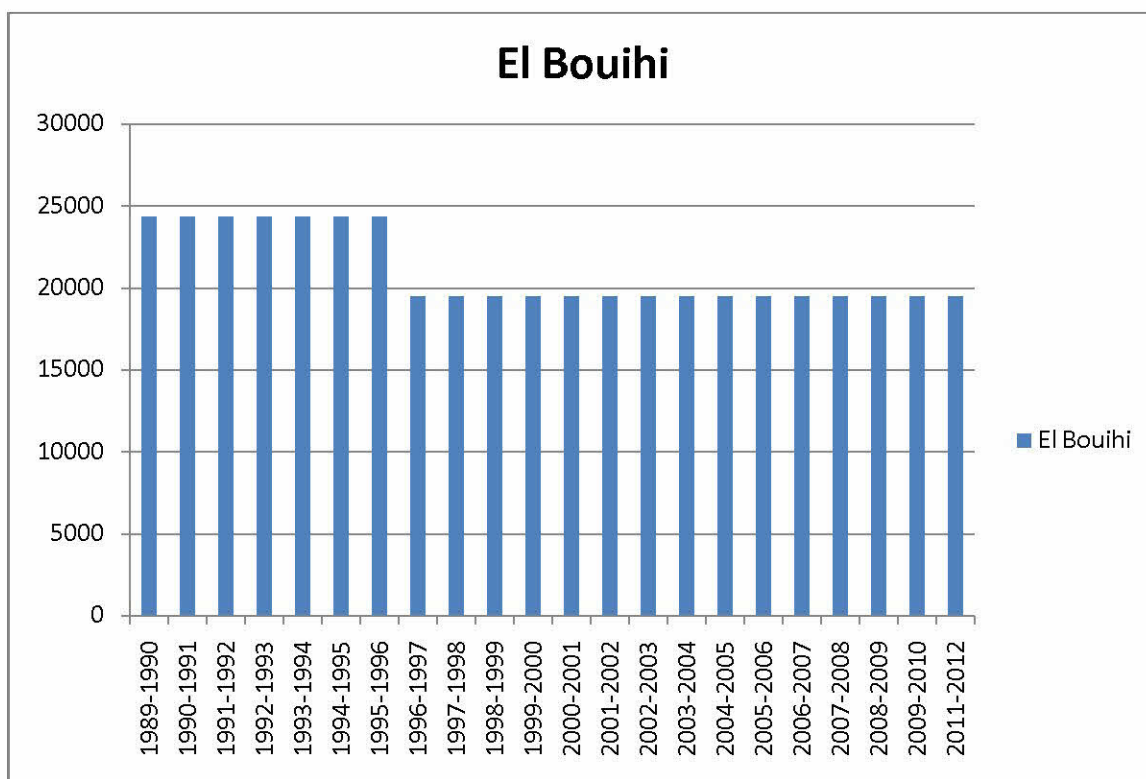
**Figure n° 36 : Evolution de la S.A.U. (en ha) de la commune de sebdou**

Source : D.S.A, (2012)

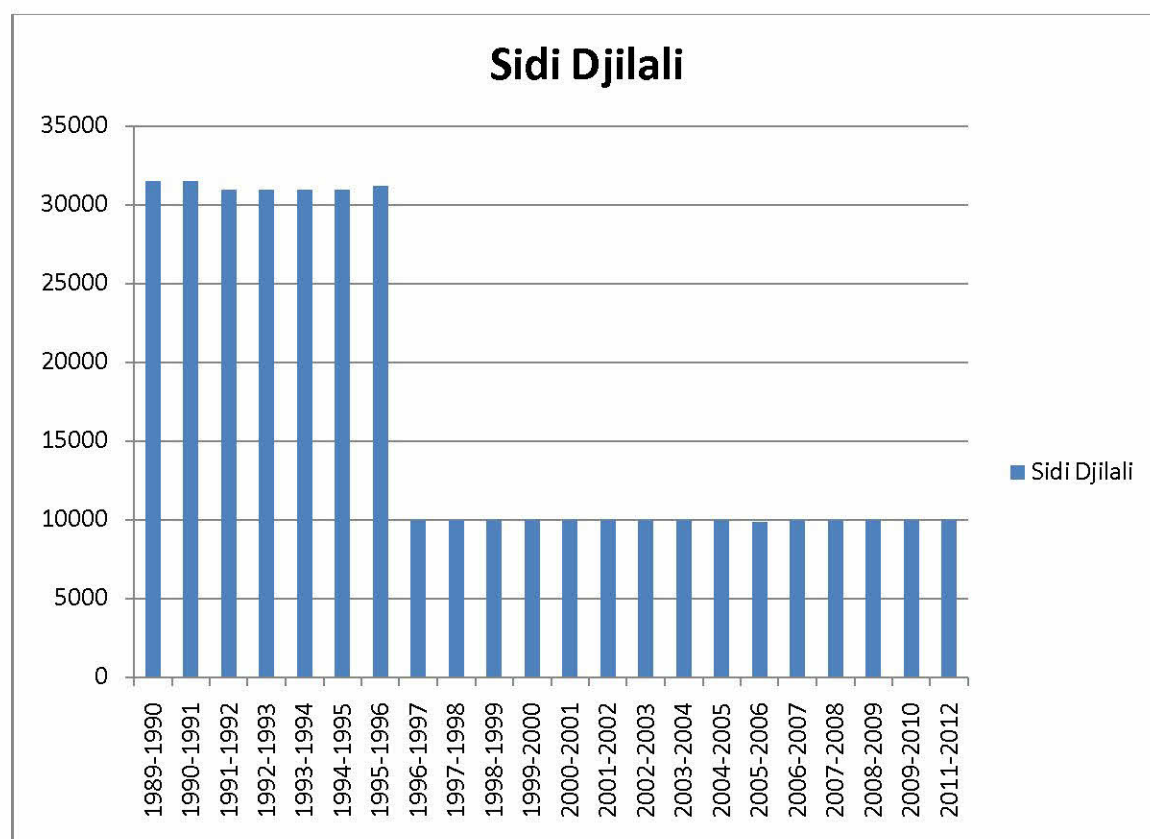
Durant la période (1989-1996) la surface agricole utile des deux communes d'El Aricha et de Sebdou est faible, mais après 1996 jusqu'à 2012, on remarque que la S.A.U a augmenté. (Tableau13, figures 35 et 36).

L'homme prélève tout dans le milieu qui l'entoure pour ses besoins et ceux de son troupeau sans pour autant apporter en retour les actions qui permettent la préservation de la ressource naturelle. Le développement des activités agricoles exige à la fois l'amélioration des productions fourragères. Il ne peut être en aucun cas limité aux contours administratifs d'une commune, d'une wilaya et/ou d'une région donnée.

Cependant, certaines mesures peuvent être très efficaces si elles sont basées sur une connaissance effective du milieu et concrétisées progressivement dans le temps.



**FIGURE n°37 : Evolution de la S.A.U. (en ha) de la commune d'El Bouihi et d'El Gor**  
Source DSA, (2013).



**FIGURE n° 38 : Evolution de la S.A.U (en ha) de la commune de Sidi Djilali**

Durant la période (1989-1996) la surface agricole utile des 3 communes (Sidi Djilali, El Gor et El Bouihi) est importante mais durant la période (1996-2012), on remarque que la S.A.U a diminué considérablement, notamment pour les deux premières (tableau 13, figures 37 et 38).

Les raisons de cette diminution se résument comme suit :

- Technologie non appropriée, recherche mal conçue ou insuffisante ;
- Gestion inexistante ou mal adaptée ;
- Le maintien trop long du troupeau sur une zone de parcours.

Les parcours en zones arides sont, par ailleurs, considérés comme des environnements non équilibrés. Le fonctionnement et la survie des systèmes pastoraux sous ses conditions sont dépendants de l'interaction complexe entre population, animaux, végétation et environnement physique.



## VI.2.2.2 Le bilan de l'année 2011-2012

Selon les données calculée d'après la (D.S.A, 2013), l'année agricole 2011-2012 a été marquée par les constats suivants :

- La superficie totale de la zone d'étude est de 3268.4 km<sup>2</sup> (326840 ha) ;
- La superficie des terres agricoles est égale à 1733854 ha, dont la S.A.U est de 71302ha.

La production végétale de l'année 2012 se répartie ainsi :

- ✓ Céréales d'hiver.....268800QX ;
- ✓ Légumes secs.....20QX ;
- ✓ Cultures maraichages .....20680Qx ;
- ✓ Pommes de terres.....13990Qx ;
- ✓ Forage artificiel.....4500Qx ;
- ✓ Cultures herbacées.....169696Qx ;
- ✓ Cultures fruitières.....26476Qx.

## VI.2.3 les systèmes d'élevage et répartition du cheptel

« Des mutations profondes ont touché les systèmes d'élevage dans le milieu steppique de la zone d'étude, comme toute la steppe algérienne d'une manière générale. Avant, les déplacements des éleveurs se faisaient du Sud au Nord en été, dit : « ACHABA », et du Nord vers le Sud en hiver, dit : « AZABA » (HADDOUCHE, 2009).

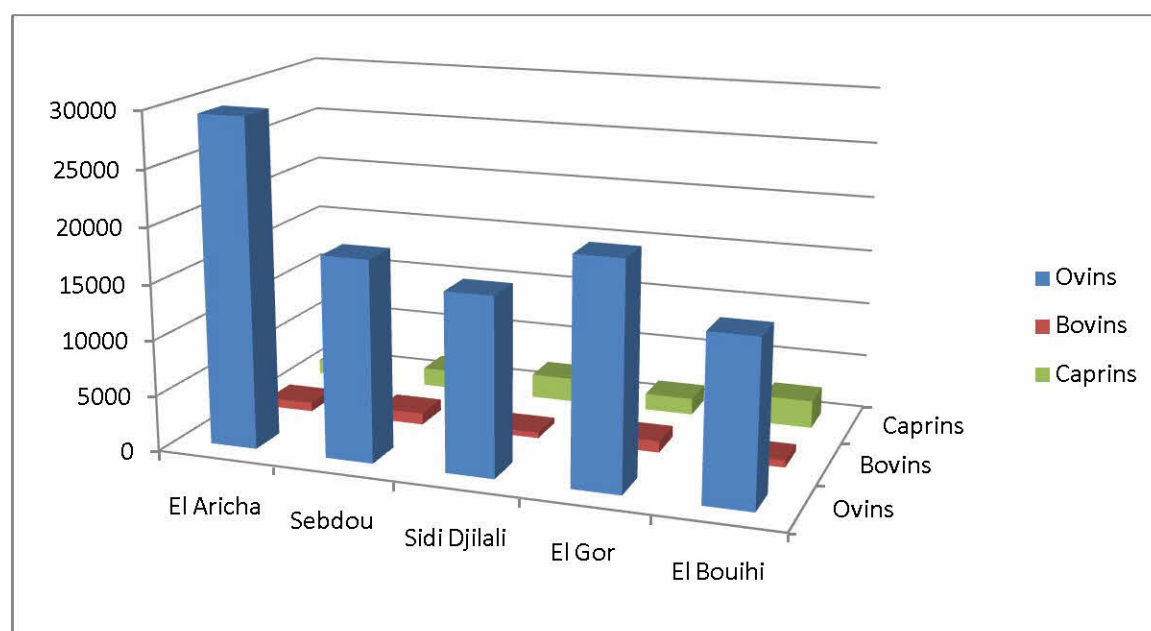
Comme l'ACHABA a été presque détruite au cours de la colonisation et inexistante après l'indépendance, il existe toujours des déplacements inégaux relativement limités. Les semi nomades pratiquant le pastoralisme non loin des agglomérations et à proximité des surfaces de culture et des points d'eau aménagés par les pouvoirs locaux. Les déplacements saisonniers des troupeaux vers les pâturages sont réduits et obéissent à des règles et des considérations économiques (HADDOUCHE, 2009).

L'évolution des effectifs des ovins, espèce animale dominante dans l'ensemble du cheptel domestique pâturant la steppe de la zone d'étude, a été la plus marquante (tableau 14, figure 39).

**Tableau n° 14 : Répartition du cheptel par communes 2012**

Les communes	ovins	bovins	Caprins
El Aricha	29400	800	1340
Sebdou	18000	1025	1650
Sidi Djilali	15894	515	2190
El Gor	20000	1020	1500
El Bouihi	14650	635	2510
Total	79944	2970	7540

Source : D.S.A (2013)



**FIGURE n° 39 : La répartition du cheptel par communes, 2012.**

Source : D.S.A, (2013)

Le cheptel s'estime à 90454 têtes réparties par espèces des manières suivantes :

- Ovins : 79944 têtes ;
- Bovins : 2970 têtes ;
- Caprins : 7540 têtes.

A la répartition spatiale déséquilibrée et inégale de la population des communes s'ajoute le facteur « cheptel » qui est lui même mal réparti sur les espaces géographiques, en particuliers sur les terres de parcours.

### **L'indice de charge :**

La croissance du cheptel steppique a eu des conséquences néfastes sur les parcours. L'un des spécialistes qui a beaucoup travaillé sur ces territoires a affirmé que « la capacité de charge de la steppe algérienne n'est plus que  $\frac{1}{4}$  » (HOUEROU, 1985 ; HADDOUCHE, 2009). « Dans une grande partie de la steppe, le surpâturage constitue l'action la plus dévastatrice sur la végétation pérenne et le principal facteur de désertification durant les deux dernières décennies » (AIDOU, 1994).

## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

---

Selon BEDRANI (1994) *in* HADDOUCHE (2009), les causes de la forte croissance du cheptel steppique sont liées à :

- Au maintien d'une forte croissance démographique dans les zones steppiques ;
- A la faiblesse de création d'emplois dans les zones steppiques ;
- A la demande soutenue et croissante de la viande ovine ;
- A la haute rentabilité de l'élevage en zones steppiques du fait de la gratuité des fourrages et du fait de la disponibilité pendant une longue période, d'aliments de bétail importés, vendus à bas prix ;
- A l'attrait des capitaux des zones steppiques par l'élevage ovin concomitant aux facultés de ces capitaux à s'investir dans des activités non agricoles, particulièrement industrielles.

Après avoir calculé le « Shepp équivalent Cheptel » en mouton de tout le cheptel existant dans les parcours de ce milieu steppique, il ressort que la charge animale actuelle dans cette région est très loin de celle acceptable et suggérée par LE HOUEROU (1985) : un mouton pour 4 hectares (HADDOUCHE, 2009).

Alors, selon COUDERC (1975) *in* HADDOUCHE (2009), une étude de YAARDES (1974) donnait pour 1970-1971 une charge moyenne annuelle d'un mouton pour 2.34ha dans la steppe algérienne (HADDOUCHE, 2009).

## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

**Tableau n° 15 : Shepp équivalent cheptel**

communes	Sebdou	El Gor	El Aricha	El Bouihi	Sidi Djilali
1989-1990	39698	42853	55543	46545	48954
1990-1991	38251	43226	55747	47575	50693
1991-1992	34504	65753	55534	58986	65669
1992-1993	30574	42011	52272	55039	42060
1993-1994	34978	61398	59963	52746	51142
1994-1995	38496	53854	54678	44696	56773
1995-1996	38008	53950	56997	49682	49168
1996-1997	19771	46236	42955	49841	49168
1997-1998	22997	39848	54529	58853	58912
1998-1999	23940	42786	53837	41687	34574
1999-2000	23440	31779	39752	32537	29580
2000-2001	18555	23372	29962	33172	23760
2001-2002	21838	24393	30616	32287	25347
2002-2003	19981	26223	31440	32882	25109
2003-2004	18747	26827	25767	25933	27866
2004-2005	17263	21054	17951	23864	25165
2005-2006	19817	20382	23239	26136	25264
2006-2007	20064	20357	18417	16236	24003
2007-2008	22275	26599	28489	22181	25984
2008-2009	24225	28842	29466	24019	26630
2009-2010	23504	29850	36234	22981	32177

**Une vache =3.62 moutons ; une chèvre= 0.74 mouton ;**

Source : LABUSSIÈRE *et al.* (2007) *in* HADDOUCHE (2009).

### Analyse et Commentaire

A son tour, le pastoralisme est considéré comme la principale activité économique de la région mais connaît aujourd'hui de graves problèmes en raison de la sécheresse des dernières années et de la dégradation des parcours causée par les effets du surpâturage. Les années de sécheresse qui ont sévi durant les deux dernières décennies ont entraîné un bouleversement dans la conduite du cheptel.

Le Shepp équivalent cheptel a été calculé pour les 5 communes :

- ✓ 0.8 m /ha pour la station de Sebdou ;
- ✓ 0.4 m/ha pour la station d'El Gor ;
- ✓ 0.5 m/ha pour la station d'El Aricha ;
- ✓ 0.3 m/ha pour la station d'El Bouihi ;
- ✓ 0.43 m/ha pour la station de Sidi Djilali.

Parmi les principales causes de la dégradation des formations végétales steppiques, le surpâturage. Toutes les valeurs du Shepp équivalent cheptel obtenues pour nos 5 communes

## ETUDE ECOLOGIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

---

montrent que la charge animale de la zone d'étude dépasse celle qu'a proposé LE HOUEROU (1985) : « un mouton par 4 ha ».

La forte croissance démographique entraîne logiquement une importante progression du nombre de troupeaux et aussi du nombre de têtes par troupeau. Les parcours steppiques sont ainsi surpâturés, supportant des charges animales plus importantes que les normes et ce, durant de longues périodes, la végétation s'y trouvant finit par être fortement dégradée, perd sa capacité de régénération, on assiste même à la disparition de certaines espèces appréciées par le cheptel dans certains endroits, à titre d'exemple l'alfa et l'armoise blanche.

*Chapitre VI :*  
*Résultats et synthèse*

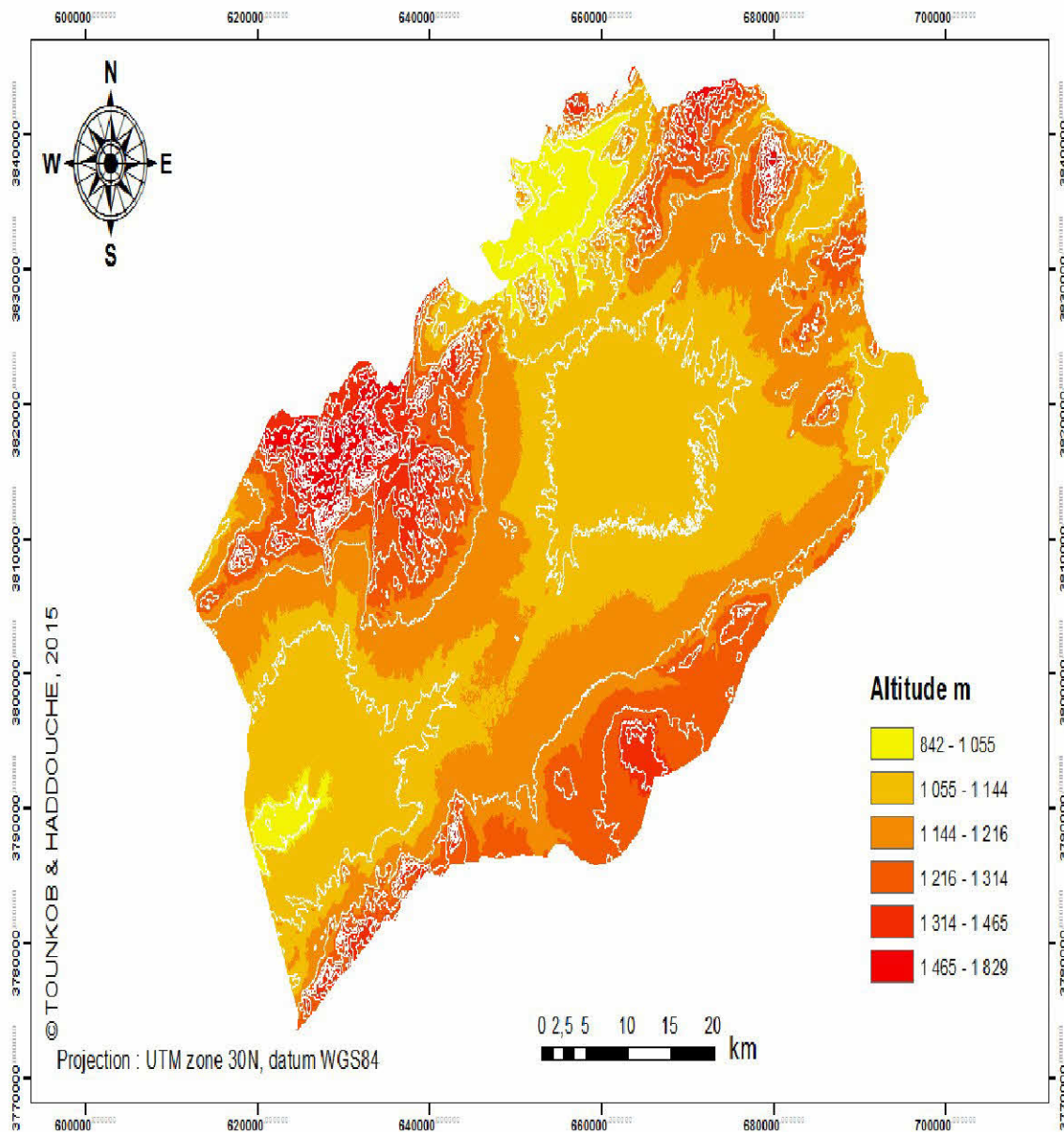
## CHAPITRE VI : RESULTATS ET SYNTHESE

### VI.1 Carte hypsométrique

En utilisant le modèle numérique de terrain qui est un fichier qui regroupe l'ensemble des plages altimétriques, la carte hypsométrique a été établie (Figure 41). Cette carte est constituée par des unités d'altitude formée par des zones à altitude importante voire même très importante.

L'examen et l'exploitation de ces données, permettent de mettre en évidence les points dont l'altitude varie entre 610m (le point le plus bas) jusqu'à 1524m (le point culminant) qui est de Djebel Raourai.

## la carte hypsometrique



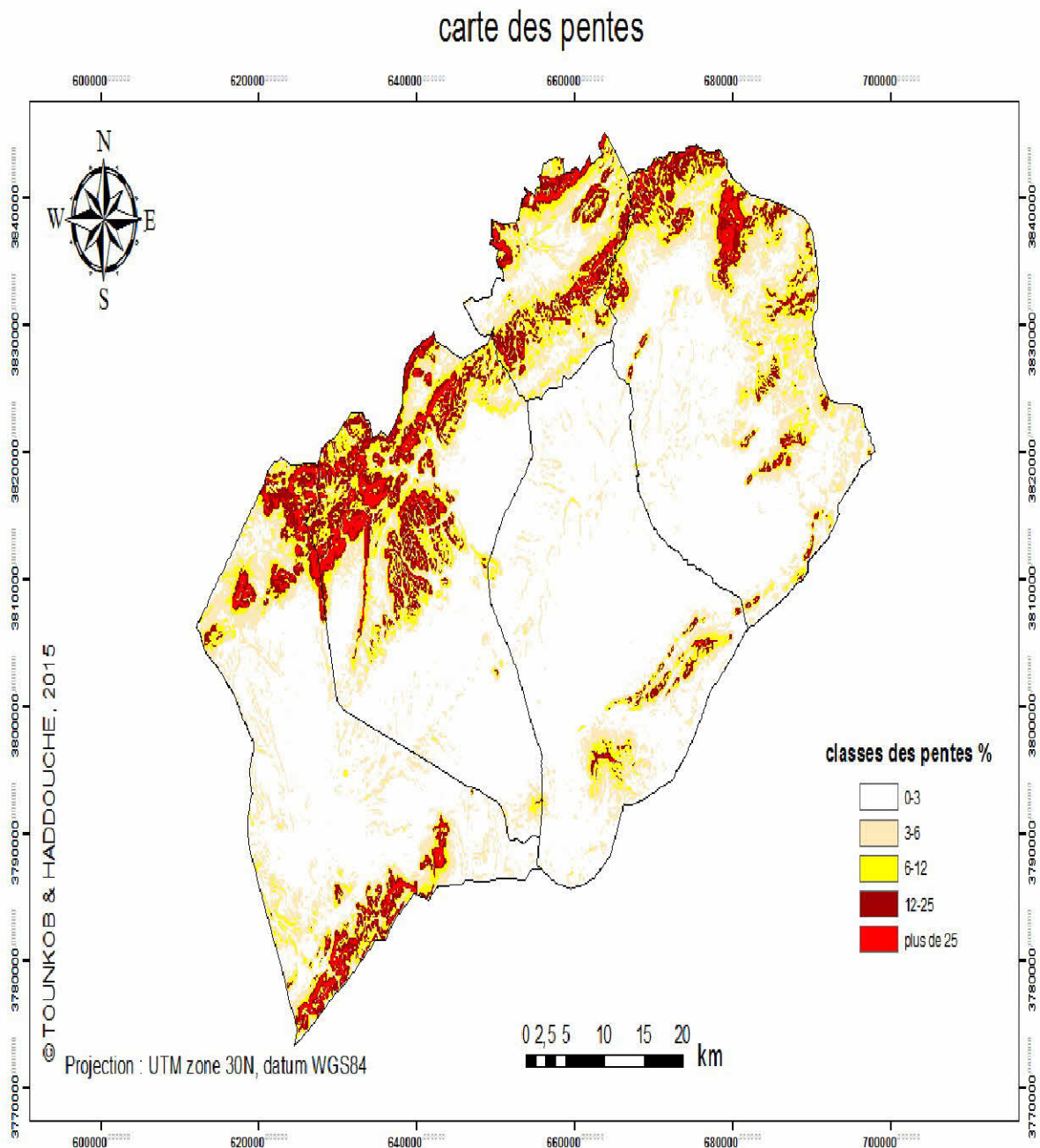
**FIGURE n° 41 : Carte hypsométrique de la zone d'étude.**  
Source : Tounkob (2015).



### VI.2 la carte des pentes

La carte des pentes a été réalisée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) d'une résolution de 30m. la carte ainsi réalisée permet de dégager 5 classes de pentes renseignant sur la déclivité de la zone (figure 42). On distingue la zone de montagne, la zone de piedmont et la zone de plaine.

- La classe 0-3% représente les pentes nulles à faibles (plaines et zones d'épandage). Cette classe de pente est la plus importante en surface dans la zone d'étude ;
- Classe 3-6% représente les pentes faibles à assez modérées ;
- La classe 6-12% est celle des pentes de glacis et petites collines, et l'agglomération rocheuse ;
- La classe 12-25 est celle des pentes assez fortes situées sur collines et piedmonts de montagnes ;
- La classe + 25% est celle des pentes très fortes, elle est assez bien représentée dans la zone d'étude.il s'agit de pente sur Djebel et zones accidentées.



**FIGURE n°42** : Carte des pentes de la zone d'étude.  
Source : Tounkob, 2015.

## EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS

---

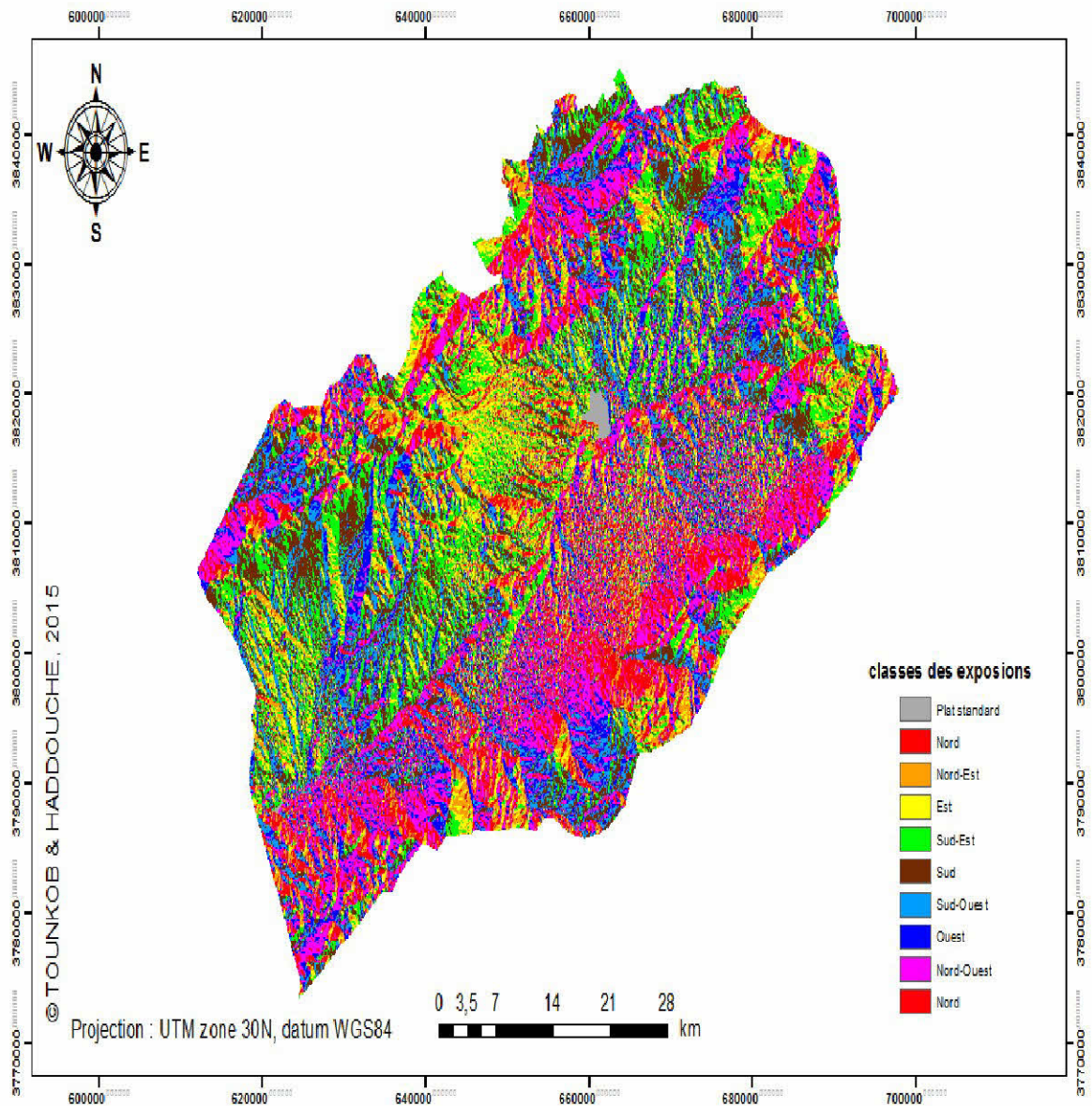
### VI.3 la carte d'exposition

L'influence de l'orientation des versants sur la végétation est déterminée par l'intermédiaire des paramètres suivants : l'ensoleillement et l'humidité (des facteurs favorables pour la régénération des groupements végétaux).

L'exposition Nord, exposée à l'humidité, peut être un facteur favorable à la végétation. L'élaboration d'une carte représentative de l'effet de l'exposition qui est connu sur le terrain se fait à partir de l'humidité, ainsi les versants exposés au Nord seront plus exposés à l'humidité que ceux ayant une exposition Sud. La carte d'aspect (figure 43) représente les différentes expositions de notre zone d'étude.

lfd

## La carte d'exposition



**FIGURE n°43** : Carte d'exposition de la zone d'étude.  
Source : Tounkob, 2015.






### VI.4 carte d'occupation du sol

Les cartes d'occupation du sol sont des outils indispensables pour la planification du développement et pour la gestion du territoire. Les cartes d'occupation et d'utilisation du sol doivent être actualisées plus fréquemment que les cartes topographiques. Il peut être utile de les actualiser afin d'étudier l'évolution diachronique des changements spatiaux parvenue dans la zone voulue. La télédétection par satellites représente un moyen économique et précis de mettre ces cartes à jour.

La carte d'occupation du sol est une couche d'information maitresse car elle donne un aperçu sur les aspects quantitatifs et qualitatifs des superficies. Elle renseigne également sur l'orientation globale des systèmes de production. Celles de notre zone d'étude ont été réalisées par classifications supervisées, sur les trichromies ETM+431, 1984 et 2011.

La composition floristique des groupements subit d'importantes modifications auxquelles, s'ajoute des modifications de détails à l'hétérogénéité écologique du milieu sur de petites surfaces. Les cartes d'occupation du sol de notre zone d'étude présentent une diversité considérable dans leurs formations végétales.

Les différentes formations présentes sont :

-  Forêt ;
-  Matorral ;
-  Matorral dégradé ;
-  Groupements à alfa et armoise blanche ;
-  Cultures.

Ainsi que d'autres classes qui s'agissent de :

- ❖ Ombre ;
- ❖ Affleurements rocheux ;
- ❖ Sol nu ;
- ❖ Eau ;
- ❖ Unités mixtes.





## EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS

### VI.5 Résultats et interprétation

✚ *La matrice de confusion pour les deux cartes d'occupation du sol*

**Tableau n°16 : Matrice de confusion de la classification de l'image satellitaire de 1984.**

%	O	F	M	M.D	G.A.A	C	A.R	S.N	E	U.M	Erreur de commission
O	<b>100</b>	24.08	00	00	00	00	00	00	00	00	0.02
F	00	<b>75.55</b>	00	00	00	00	00	00	00	00	00
M	00	00	<b>99.78</b>	00	00	00	00	00	00	00	00
M.D	00	00	0.22	<b>100</b>	00	00	10.78	00	00	00	9.26
G.A.A	00	00	00	00	<b>100</b>	00	00	00	00	00	00
C	00	00	00	00	00	<b>97.12</b>	00	00	00	00	00
A.r	00	00	00	00	00	00	<b>88.85</b>	00	00	1.12	1.24
S.n	00	00	00	00	00	00	00	<b>100</b>	00	0.75	1.12
E	00	00	00	000	00	00	00	00	<b>99.13</b>	00	00
U.m	00	0.37	00	00	00	2.88	0.37	00	0.87	<b>98.13</b>	2.60
Erreur d'omission	00	24.45	0.22	00	00	2.88	11.15	00	0.87	1.87	

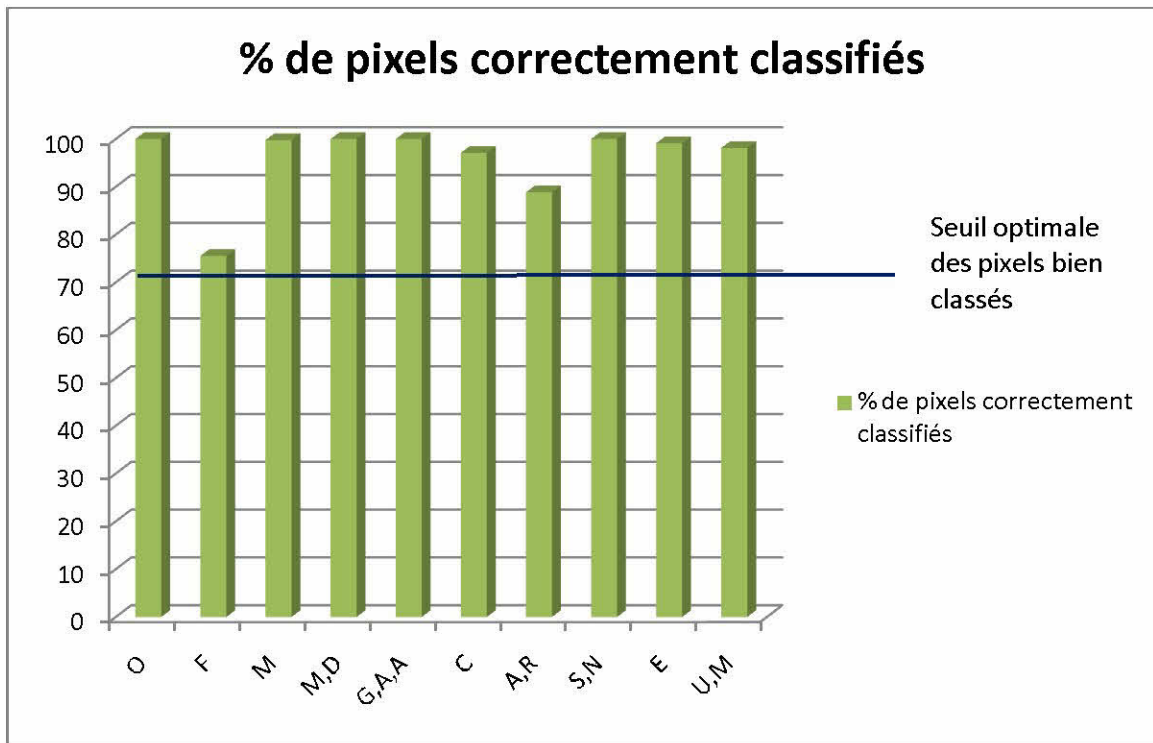
**Tableau n°17 : Matrice de confusion de la classification de l'image satellitaire de 2011.**

Terrain %	O	F	M	M.D	G.A.A	C	A.R	S.N	E	U.M	Erreur de commission
O	<b>100</b>	32.32	00	00	00	00	00	00	2.56	00	0.02
F	00	<b>67.68</b>	00	00	00	00	00	00	00	1.85	6.07
M	00	00	<b>98.55</b>	00	00	00	0.68	00	00	00	15.7
M.D	00	00	1.45	<b>100</b>	00	00	0.68	00	00	8.55	25.10
G.A.A	00	00	00	00	<b>98.29</b>	00	00	00	00	00	00
C	00	00	00	00	00	<b>96.77</b>	00	00	00	00	00
A.R	00	00	00	00	00	00	<b>99.32</b>	00	00	14.10	40.57
S.N	00	00	00	00	00	00	00	<b>100</b>	00	0.14	0.21
E	00	00	00	00	00	00	00	00	<b>97.44</b>	00	10
U.M	00	00	00	00	1.71	3.23	00	00	00	<b>75.36</b>	1.49
Erreur d'omission	00	32.32	1.45	00	1.71	3.23	0.68	00	00	24.64	

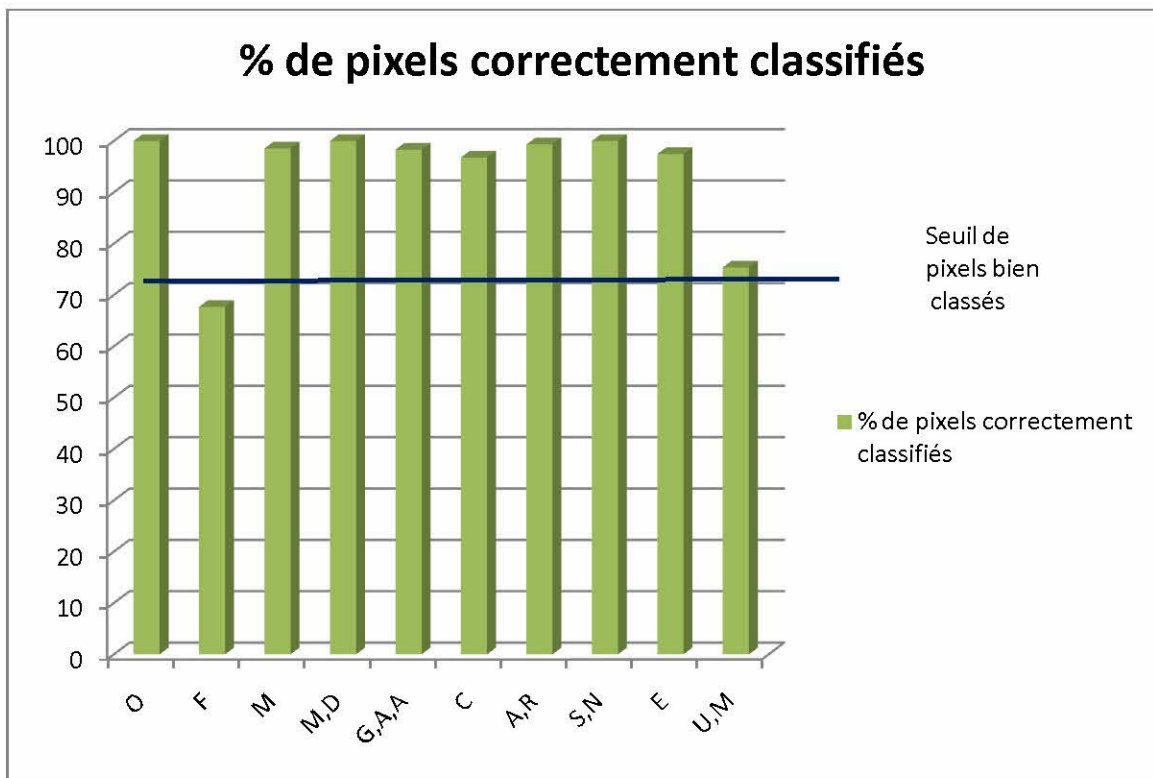
- ✓ O : Ombre ;
- ✓ F : Forêt ;
- ✓ M : Matorral ;
- ✓ M.D : Matorral dégradé ;
- ✓ G.A.A : Groupements à alfa et armoise blanche ;
- ✓ C : Cultures ;
- ✓ A.R : Affleurements rocheux ;
- ✓ S.N : Sol nu ;
- ✓ E : Eau ;
- ✓ U.M : Unités mixtes.



## EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS



**FIGURE n° 46 :** Distribution fréquentielle des différents thèmes classés pour l'image de 1984.



**FIGURE n°47 :** Distribution fréquentielle des différents thèmes classés pour l'image de 2011.

## EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS

---

### **Analyse de la matrice de confusion**

La précision de la classification peut être évaluée individuellement pour chaque classe, ou globalement sur l'ensemble des éléments de la matrice de confusion (FUNG et LE DREW, 1988, in HADDOUCHE, 2009).

L'analyse de la matrice de confusion donne pour chacune des zones d'apprentissages (disposées en lignes) le nombre de pixels affectés aux différentes classes (disposées en colonnes). La diagonale fournie le nombre de pixels qui sont probablement bien classés pour chaque classe.

L'examen de la matrice de confusion a permis de définir avec précision les différentes classes possibles, de les mettre en évidence, basées sur leurs valeurs radiométriques, d'autres mal classées présentant des confusions à des degrés plus ou moins important.

#### ✓ **Pour la classification de l'image de 1984**

- 100% des pixels échantillonnés pour l'ombre ont été correctement classifiés, ce qui fait une erreur d'omission de 0%. L'erreur d'omission est de 0.02%.
- 75.55% des pixels échantillonnés pour la forêt ont été correctement classifiés. 24.08% ont été pris avec la classe ombre, 0.37% avec la classe unités mixtes ce qui fait une erreur d'omission de 24.45%. L'erreur de commission est de 0%.
- 99.78% des pixels échantillonnés pour le matorral sont correctement classifiés. 0.22% ont été pris avec la classe matorral dégradé, ce qui fait une erreur d'omission de 0.22%. L'erreur de commission est de 0%.
- 100% des pixels échantillonnés pour le matorral dégradé ont été correctement classifiés, ce qui fait une erreur d'omission de 0%. L'erreur de commission est de 9.26%.
- 100% des pixels échantillonnés pour les groupements à alfa et armoise blanche ont été correctement classifiés, ce qui fait une erreur d'omission de 0%. L'erreur de commission est aussi de 0%.
- 97.12% des pixels échantillonnés pour les cultures ont été correctement classifiés. 2.88 % des pixels ont été pris avec la classe unités mixtes, ce qui fait une erreur d'omission de 2.88%. l'erreur de commission est de 0%.
- 88.85% des pixels échantillonnés pour l'affleurement rocheux ont été correctement classifiés. 0.37% de pixels ont été pris avec la classe unités mixtes et 10.78% sont pris avec la classe du matorral dégradé ce qui fait une erreur d'omission de 11.15%. L'erreur de commission est de 1.24%.
- 100% des pixels échantillonnés pour le sol nu sont correctement classifiés ce qui fait une erreur d'omission de 0%. L'erreur de commission est de 1.12%.
- 99.13% des pixels échantillonnés pour l'eau sont correctement classifiés. 0.87% des pixels ont été pris avec la classe unités mixtes, ce qui fait une erreur d'omission de 0.87%. L'erreur de commission est de 00%.
- 98.13% des pixels échantillonnés pour les unités mixtes sont correctement classifiés. 1.12% sont pris avec les affleurements rocheux, 0.75% avec les sols nus ce qui fait une erreur d'omission de 1.87%. L'erreur de commission est de 2.60%.

## EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS

---

### ✓ *Pour la classification de l'image de 2011*

- 100% des pixels échantillonnés pour l'ombre ont été correctement classifiés ce qui fait une erreur d'omission de 0%. L'erreur de commission est de 0.02%.
- 67.68% des pixels échantillonnés pour la forêt sont correctement classifiés. 32.32% des pixels sont pris avec la classe ombre ce qui fait une erreur d'omission de 32.32%. l'erreur de commission est de 6.07%.
- 98.55% des pixels échantillonnés pour le matorral sont correctement classifiés. 1.45% sont pris avec la classe matorral dégradé, ce qui fait une erreur d'omission de 1.45%. l'erreur de commission est de 15.7%.
- 100% des pixels échantillonnés pour le matorral dégradé sont correctement classifiés ce qui fait une erreur d'omission de 0%. L'erreur de commission est de 25.10%.
- 98.29% des pixels échantillonnés pour les groupements à alfa et armoise blanche sont correctement classifiés. 1.71% sont pris avec la classe unités mixtes ce qui fait une erreur d'omission de 1.71%. l'erreur de commission est de 0%.
- 96.77% des pixels échantillonnés pour les cultures sont correctement classifiés. 3.23% sont pris avec la classe unités mixtes ce qui fait une erreur d'omission de 3.23%. l'erreur de commission est de 0%.
- 99.32% des pixels échantillonnés pour les affleurements rocheux sont correctement classifiés. 0.68% sont pris avec la classe matorral dégradé ce qui fait une erreur d'omission de 0.68%. l'erreur de commission est de 40.57%.
- 100% des pixels échantillonnés pour les sols nus sont correctement classifiés, ce qui fait une erreur d'omission de 0%. L'erreur de commission est de 0.21%.
- 97.44% des pixels échantillonnés pour l'eau sont correctement classifiés. 2.56% sont pris avec la classe ombre ce qui fait une erreur d'omission de 2.56%. l'erreur de commission est de 10%.
- 75.36% des pixels échantillonnés pour les unités mixtes sont correctement classifiés. 0.14% sont pris avec la classe sol nu, 14.10% avec la classe affleurements rocheux et 8.55% avec la classe matorral dégradé. L'erreur d'omission est de 24.64%. l'erreur de commission est de 1.49%.

Pour les deux images, on constate que les % des pixels correctement classifiés dépassent les 70% sauf pour la classe forêt pour la carte de 2011.

L'indice de Kappa est de 0.96 pour la classification de l'image de 1984, il est de 0.93 pour la classification de l'image de 2011.

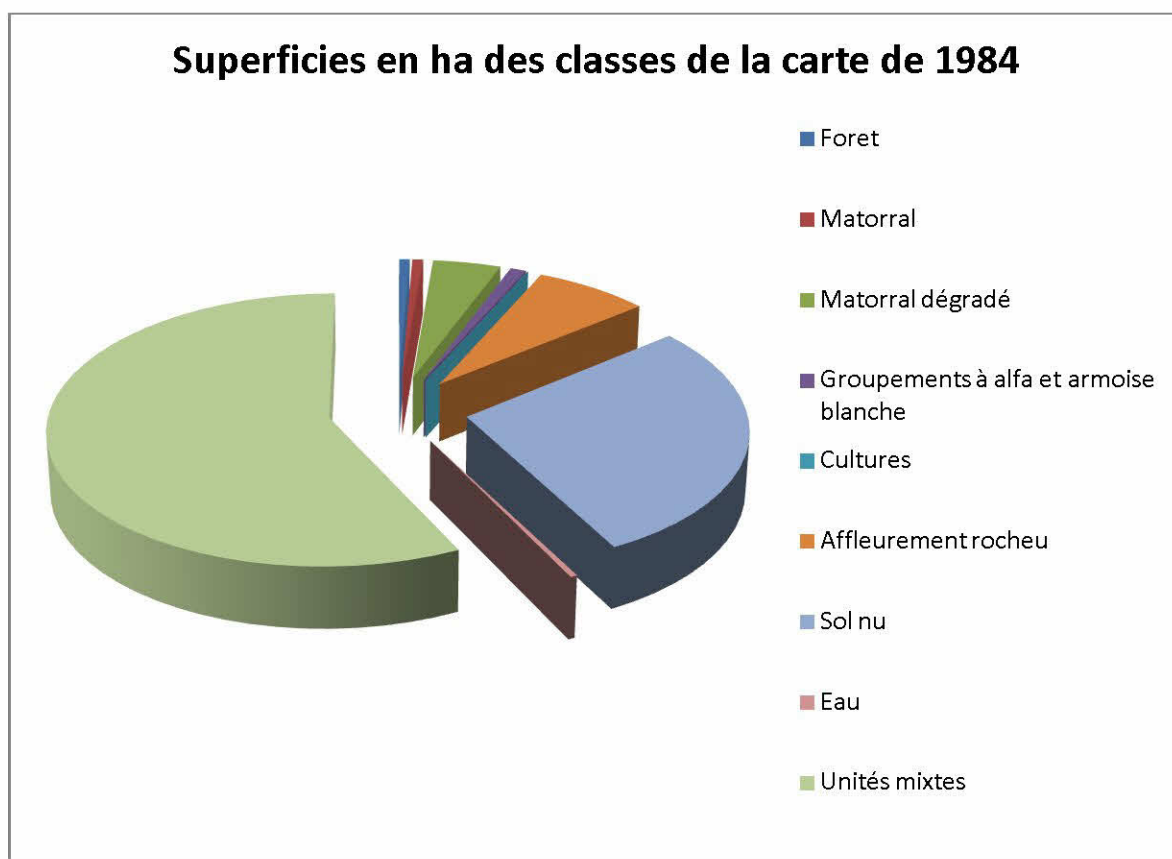
Les matrices de confusion et les indices de Kappa obtenus nous permettent de dire que les résultats des deux classifications sont acceptables.

## EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS

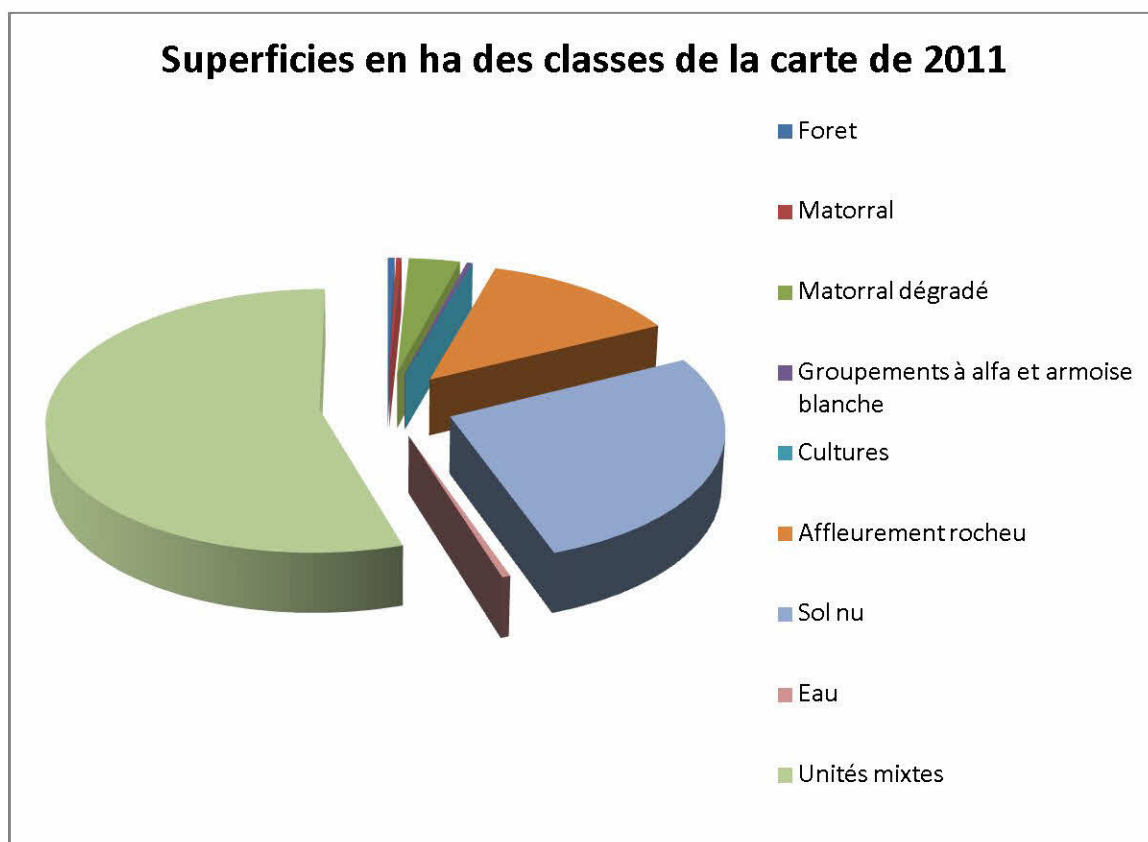
### ✚ Superficies des différentes classes de nos cartes :

**Tableau n° 18 : Superficies des différentes classes des cartes d'occupation du sol.**

Classes	Superficies des casses de la carte de 1984 en ha	Superficies des classes de la carte de 2011 en ha
Forêt	2186.55	1487.16
Matorral	2241.18	1157.76
Matorral dégradé	14176.80	11016.09
Groupements à alfa et armoise blanche	3321.36	1005.57
Cultures	65.43	117.45
Affleurements rocheux	24076.89	42920.82
Sol nu	92293.29	88274.34
Eau	1200	1500
Unités mixtes	187278.5	179360.81



**FIGURE n°48 : Superficies des différentes classes de la carte d'occupation du sol pour l'année 1984.**



**FIGURE n°49 : Superficies en ha des différentes classes de la carte d'occupation du sol pour l'année 2011.**

### **✚ Analyse et commentaire**

D'après les résultats obtenus, la majorité des superficies des classes représentant la végétation ont fortement régressé : (699.39 ha pour la classe forêt, de 1083.42ha pour la classe matorral, de 3160.71 ha pour la classe matorral dégradé et 2315.79ha pour la classe groupement à alfa et armoise blanche).

La végétation a donc subi une importante dégradation durant la période entre 1984-2011. Celle-ci est due à plusieurs facteurs dont le déboisement et les feux de forêt, le climat qui devient de plus en plus rigoureux et l'action anthropique.

La crise pastorale trouve ses origines dans la dégradation des parcours qui constituent le facteur principal de toute activité dans les zones steppiques. En effet, face à l'accroissement de la population humaine et animale sur un espace vital de plus en plus réduit, on assiste à une surexploitation de ce qui reste des parcours steppiques.

Cette situation n'est pas restée sans effets sur les pratiques des populations pastorales. On assiste en effet à la disparition progressive des anciens systèmes de gestion des espaces pastoraux fondés par exemple sur la « azaba » et « achaba » qui permettaient la protection des parcours en laissant aux espèces steppiques un temps pour se régénérer et se reconstituer. On assiste à l'apparition de nouveaux modes tels que l'appropriation des terres de parcours par une méthode ou une autre.

## EXPLOITATION ET ANALYSE DES RESULTATS

---

La dégradation des parcours est devenue par la force des choses, un facteur limitant au développement des zones steppiques, elle « s'exprime comme prélude à la désertification par la diminution de la biomasse des espèces pérennes. Elle est suivie à plus ou moins longues échéances, par la baisse de la richesse spécifique, par un appauvrissement du sol et par la dominance d'espèces à capacité colonisatrice élevée et bien adapté aux milieux pauvres » (AIDOUD,1994).

La dégradation des parcours est issue de l'interaction de deux types de facteurs. Des facteurs naturels liés aux conditions du milieu physique en général, et des facteurs socio-économiques, anthropiques qui favorisent souvent une intervention anarchique de l'homme sur l'écosystème.

On assiste aussi à une tendance générale des ruraux à s'installer sur des zones de pâturage pour y cultiver au profit des formations steppiques. D'ailleurs les superficies des zones cultivées ont augmenté durant notre période d'étude.

On constate l'augmentation des superficies des classes affleurements rocheux et sol nu de 1984 à 2011. La 1ere peut être expliquée par l'érosion des sols, et la deuxième a augmenté au profit des classes végétales ayant diminué.

L'augmentation de la superficie de la classe de l'eau de l'année 1984 à 2011 s'explique simplement par les dates de prise de vue des images satellitaires. La 1ere a été prise en Aout mois de sécheresse accompagné de l'évaporation des eaux, et l'autre de 2011 a été prise en fin Septembre, période ou le climat est un peu plus généreux en précipitations.

*Chapitre V :*  
*Méthodologie de travail*

## Chapitre V : METHODOLOGIE DE TRAVAIL ET MATERIEL UTILISE.

### V.I Matériel utilisé

#### ➤ *Les images satellitaires*

L'image satellitaire est un document contenant diverses informations relatives à des objets tel que le sol et la végétation, dans ce sens le traitement effectué est tel que l'information propre à l'occupation des sols et à la végétation puisse être mise en évidence.

Lors de cette étude nous avons travaillé avec des images satellitaires différentes (Landsat TM et Landsat ETM issues des satellites Landsat).

Les mois durant lesquels les images satellitaires ont été prises ne sont pas trop éloignés dans le temps (fin Aout et début Septembre). Le choix de l'acquisition des images en cette période est mieux adapté à la démarche envisagée. Cette démarche est fondée sur la comparaison des superficies des différentes formations végétales après l'obtention des classifications supervisées des images. La végétation annuelle ne risque pas d'augmenter les superficies des formations végétales pour les deux classifications.

La résolution spatiale des images utilisées est 30m. En effet, cette résolution a été jugée acceptable pour la méthodologie adoptée dans cette étude. Le tableau suivant résume l'ensemble des caractéristiques de chaque image Landsat utilisée dans ce travail.

**Tableau n° 16 : les caractéristiques des images satellitaires utilisées.**

ID image	Capteur	Date d'acquisition	Résolution	Nombre de bandes	Taille de l'image
LT519701191984293XXX03	Landsat 5 TM	11-09-1984	30m	07	185*185
LE719709820116EDC00	Landsat 7 ETM+	09-08-2011	30m	08	185*185

#### ➤ *Modèle numérique de terrain*

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une carte indiquant la forme brute du terrain, sans construction ni végétation. Il correspond donc à une schématisation de la région étudiée. Autrement dit, un MNT est une représentation imagée de l'aspect topographique d'une zone, en fonction des différentes classes d'altitudes.

Le MNT permet une description de la topographie du terrain et constitue une base de données altimétriques à partir de laquelle on peut dériver une multitude de produits : les courbes de niveau, la carte des pentes, d'exposition, les vues en perspective 3D...etc.

Le MNT est soit téléchargeable ou reconstitué à partir de la digitalisation des courbes de niveau. Dans ce travail, nous avons utilisé un MNT obtenu par stéréoscopie radar du satellite Terra Aster (Japon-Nasa) d'une résolution spatiale de 30m, ce produit numérique a été téléchargé à partir du site : <https://reverb.echo.nasa.gov>.



Le MNT a été utilisé pour l'extraction des paramètres géomorphologiques de la zone d'étude (altitudes, pentes et exposition).

### ➤ *Le logiciel de traitement d'images satellitaire ENVI 4.5*

L'ENVI est un logiciel de traitement d'images de télédétection comprenant en un seul package des outils particulièrement avancés, mais néanmoins interactifs et faciles d'utilisation : analyse spectrale, correction géométrique, analyse topographique, analyse radar, fonctionnalités SIG raster et vecteur, support d'une large gamme de formats images, et encore bien d'autre possibilités. ENVI constitue le choix naturel des professionnels de part ses performances, sa facilité d'utilisation et la qualité de ses algorithmes

### V.II Méthodologie de travail

La démarche adoptée pour répondre aux objectifs arrêtés en utilisant les techniques de la télédétection se résume en 3 principales phases :

- ✓ Préparation et prétraitement des données ;
- ✓ Traitement et analyses (cartographie) ;
- ✓ Interprétation et analyse.

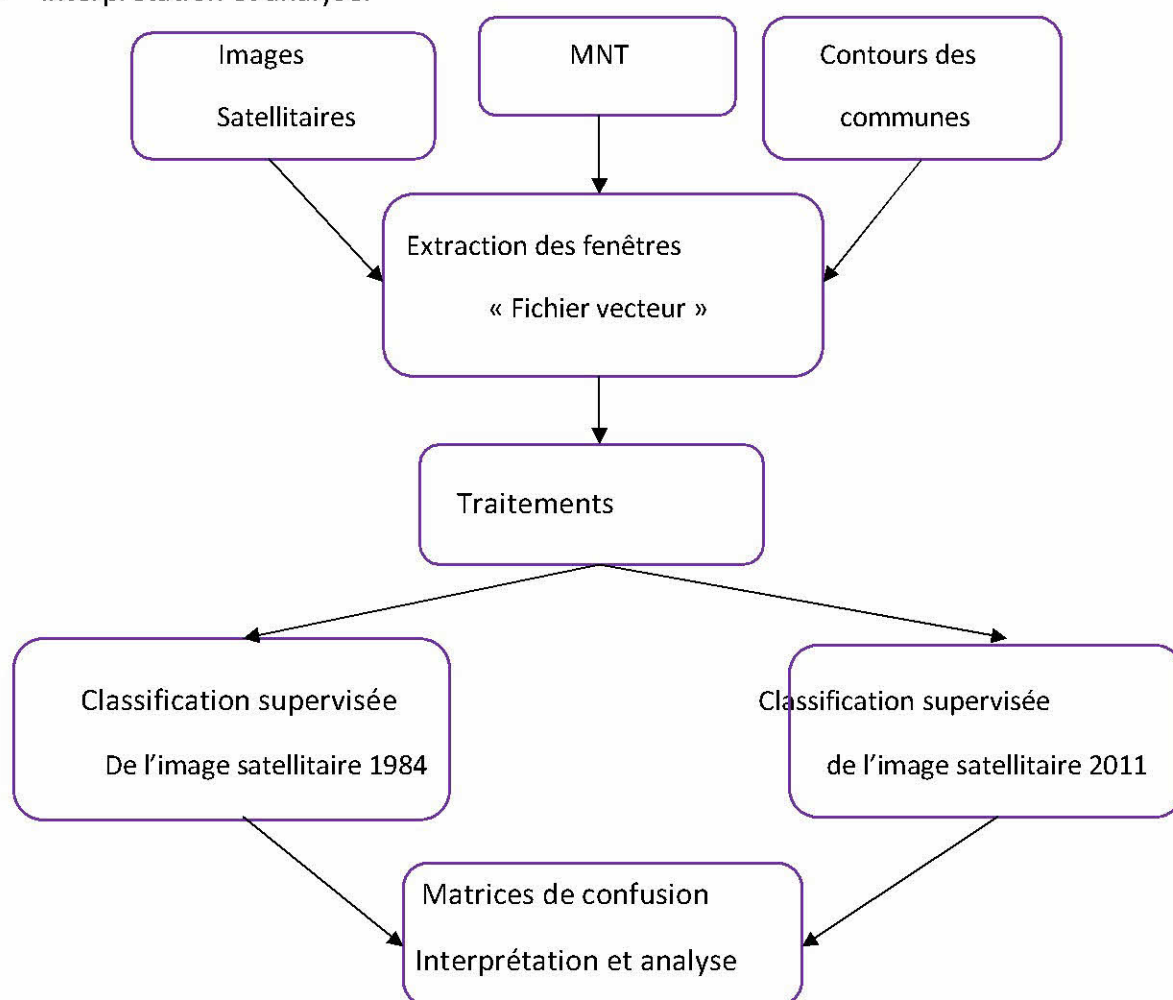


FIGURE n° 40 : Organigramme de la méthodologie adoptée.

### ➤ **Prétraitement**

Il permet de préparer les images pour l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement s'agissent d'une correction géométrique (Ortho rectification) qui permet la correction des distorsions géométriques de l'image dues aux variations de la géométrie Terre-Capteur, et d'une transformation des données en vraies coordonnées géographiques, et une correction radiométrique qui permet de réduire les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (Nuages, poussière atmosphérique, vent de sable...etc.).

### ➤ **Traitement et analyses**

- En utilisant le logiciel de traitement d'images satellitaires ENVI 4.5, des classifications supervisées ont été faites sur les deux images (1984,2011).
- Les fichiers rois des deux classifications sont constitués de 10 classes :
  - ✚ Forêt ;
  - ✚ Matorral ;
  - ✚ Matorral dégradé ;
  - ✚ Groupements à alfa et armoise blanche ;
  - ✚ Cultures ;
  - ✚ Affleurements rocheux ;
  - ✚ Sol nu ;
  - ✚ Eau ;
  - ✚ Unités mixtes ;
  - ✚ Ombre.
- Une matrice de confusion a été faite pour chacune des deux cartes obtenues.
- L'indice de Kappa ainsi que les erreurs de commission et d'omission ont été calculés pour chacune des cartes.
- Les superficies des différentes classes pour les deux cartes ont été calculées afin de mettre en évidence les changements spatiaux qui ont eu lieu dans notre zone d'étude entre 1984 et 2011.

### ✓ **La matrice de confusion**

C'est un tableau à double entrée. En ligne s'expriment les résultats par rapport aux différentes classes thématiques définies dans l'image classifiée. Les colonnes donnent les résultats par rapport aux zones de références délimitées (zones d'apprentissages). La matrice de confusion permet de vérifier la séparabilité effective des classes constituées et permet aussi de rendre compte de la qualité de leur description. Le niveau de confusion existant entre les classes dépend:

- ✚ de l'écart entre les valeurs radiométriques moyennes dans chacun des canaux;
- ✚ de la variance « radiométrique » pour chaque canal.

Si les radiométries sont fortement dispersées autour des valeurs moyennes, les risques de confusion entre les classes seront accrus.

### ✓ *L'indice de Kappa*

C'est un indice qui permet de « retirer » la portion de hasard ou de subjectivité de l'accord entre les techniques. Cet indice permet de conclure si les résultats des classifications sont statistiquement acceptables car selon Landis et Koch, il est :

- ✓ Excellent quand il est égal à 0.81 ou plus ;
- ✓ Bon quand il est compris entre 0.80 et 0.61 ;
- ✓ Modéré quand il est compris entre 0.60 et 0.21 ;
- ✓ Mauvais quand il est compris entre 0.20 et 0.00 ;
- ✓ Très mauvais quand il est inférieur à 0.00.

$$K = M \cdot \sum X_{ii} - \frac{\sum X_{i+} \cdot X_{+i}}{M^2} - \sum X_{i+} \cdot X_{+i}$$

### ➤ *Erreur d'omission ou indice « Poi »*

C'est le rapport entre le nombre de pixels classés correctement et le nombre de pixels dans la zone de référence de la classe « i ».

$$Poi = \frac{X_{ii}}{X_{+oi}}$$

### ➤ *Erreur de commission ou indice « Ui »*

Il est défini pour chaque classe « i » par le rapport entre le nombre de pixels classés correctement et la fréquence marginale de la ligne « i ».

$$Ui = \frac{X_{ii}}{X_{i+}}$$

# *Conclusion*

### Conclusion

Les formations végétales ouvertes de la région de Tlemcen sont actuellement fragilisées Par des contraintes climato-anthropiques.

Malgré l'influence de ces divers facteurs écologiques, climatiques et anthropiques sur la steppe de Tlemcen, cette dernière reste une zone très importante ; en ce qui concerne la biodiversité et l'hétérogénéité floristique, spatial et climatique. Pour cette raison elle a été choisie comme zone d'étude.

L'état actuel de l'évolution du tapis végétal a été établi grâce aux multiples données bibliographiques récentes et surtout aux observations sur le terrain.

Du point de vue climatique mené à partir de données climatiques s'étalant approximativement sur la période et (1979-2012), nous a permis de constater une certaine tendance du climat à l'aridité.

Après une recherche bibliographique exhaustive sur les steppes algériennes en général, une étude technique a été achevée sur l'écosystème steppique de Tlemcen en particulier. La récolte et les différents types de traitements des données télédétectées multitudes (1984,2011), ont permis l'étude de l'évolution diachronique des changements spatiaux parvenues dans cette partie du territoire de la wilaya. Pour cela, plusieurs traitements d'amélioration (compositions colorées et filtres) et spécifiques (classifications supervisées) des données images ont été réalisées.

Les résultats obtenus montrent des mutations régressives alarmantes au cours des trois dernières décennies, ce qui augmente la portion des sols nus et favorise l'installation de la désertisation.

En effet, les résultats obtenus nous ont permis le constat de la regression des superficies des classes représentant la végétation :

- 699.39ha pour la classe forêt ;
- 1083.42ha pour la classe matorral ;
- 3160.71ha pour la classe matorral dégradé ;
- 2315.79ha pour la classe des groupements à alfa et armoise blanche.

Pour les deux cartes obtenues, on constate que les % des pixels correctement classifiés dépassent les 70%. L'indice de Kappa est de 0.96 pour la classification de l'image de 1984, il est de 0.93 pour la classification de l'image de 2011. Les matrices de confusion et les indices de Kappa obtenus nous permettent de dire que les résultats des deux classifications sont acceptables.

## CONCLUSION

---

### Perspectives

- L'utilisation des nouvelles approches, pour mesurer les états de la dégradation à travers des analyses spatiales afin d'entreprendre de réelles options de gestion pour ces milieux devenus très fragiles et exposés aux phénomènes de la désertisation.
- Réglementation et contrôle du parcours.
- Ce travail doit d'être poursuivi ; il serait souhaitable dans le futur de réaliser d'autres études diachroniques à différentes échelles et disciplines dans le paysage steppique et en multipliant le nombre de stations.

*Références*  
*Bibliographiques*

## Références Bibliographiques

---

- Achour H., 1983.-** Etude phytoécologique des formations à Alfa (*Stipa tenacissima*) du Nord Oranais, wilaya de Saida. Thèse Doct. Etat, U.S.T.H. Alger, 216 p.
- Aidoud A., 1994.-** Paturage et desertification des steppes arides d'algérie, cas des steppes d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Paralelo 37°, 16,pp 33-42.
- Aimé S., 1991.-** Étude écologique de la transition entre les bioclimats sub - humides, semi-arides et arides dans l'étage thermo-méditerranéen du Tell oranais (Algérie Nord occidentale). Thèse Doct. Es - Sci., Univ. Aix-Marseille III, 185 p. + annexe.
- Alcaras C., 1982.-** la végétation de l'ouest algérien, 3vol. : vol.1 : 415p. vol.2 :24 grap.et tabl. + 13 cartes dont la carte au 1/500.000 en couleur, vol.3 : 116p. tabl. Phyto. Thèse Doct. Etat. Univ. Perpignan, 415p+ annexe.
- Arrouays D., 1987.-** Un exemple de l'utilisation de la télédétection pour la réalisation d'une carte des sols à moyenne échelle. Actes de la semaine de Monétier-les-Bains. Projet télédétection II recherches en cours à l'INRA, 1987 ;pp 275-280.
- Bacour C., Breon F.M., Maignan F.,2006.-** Normalisation of the directional effects in NOAA-AVHRR reflectance measure for an improved monitoring of vegetation cycles. Remote sensing of environment, 102, n° 3-4,pp 402-, 413.
- Bedrani S. 1994.-** Une recherche d'action en zone steppique (objectifs, méthodes et premiers résultats), les cahiers du CREAD (centre de recherches en économie appliquée pour le développement, n° 31/32, 3eme et 4eme trimestre
- Bagnouls F. et Gaussen H., 1953. –** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 88,pp 3-4 et 193-239.
- Baise D.et Jabiol B., 1995.-** Guide pour la description des sols. Ed. INRA. Paris. 375P.
- Bannari A., Morin D., Huete A.R et Bonn F., 1995.-** A review of vegetation indices. Remote sensing reviews, n°13,pp 95-120.



## Références Bibliographiques

---

- Baret F., Guyot G. et Major D.J., 1989.-** TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In proceedings of the 12<sup>th</sup> Canadian symposium on remote sensing, Vancouver, pp 1355-1358.
- Bariou (R.), 1978.-** Manuel d'utilisation de télédétection .2<sup>o</sup> partie : les applications de la photo-interprétation dans le domaine des sciences de la terre . III Les sols; pp. 129-153.
- Bekkouche A. 2011.-** Evolution spatiale au paysage steppique dans le sud de Tlemcen. Thèse Mag. Es - Sci., Univ USTHB. 193p.
- Benabadji N., Aboura R. et Benchouk F.Z., 2009. –** La régression des steppes méditerranéennes : le cas d'un faciès à *Lygeumspartum*L. d'Oranie (Algérie). Rev. Ecol. Med. Vol. 35 ,pp 75-89.
- Benabadji N., Bouazza M., Merzouk M., et Ghezlaoui S.M.B.E., 2004.-** Aspects phytoécologiques des Atriplexaies au Nord de Tlemcen (Oranie, Algérie). Revue Sci et Tech. N° 22, Constantine, pp 62-79.
- Benabadji N. et Bouazza M., 2002.-** Contribution à l'étude du cortège floristique de la steppe au sud d'El-Aricha (Oranie – Algérie). Sci. Techn. N° spécial D ,pp 11-19.
- Benabadji N. et Bouazza M., 2000.-** Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie occidentale). Rev. En. Ren. Vol 3 ,pp 117-125.
- Benabadji N., 1995.-** Étude phyto écologique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso. et à *Salsola vermiculata*L. au sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse Doct. Ès - Sci. Univ. Tlemcen, 153 p. Texte + 150 p. annexes.
- Benabadji N., 1991.-** Étude phyto-écologique de la steppe à *Artemisia herba-alba*Asso. Au sud de Sebdou (Oranie, Algérie). Thèse Doct. Sci. Univ. Aix-Marseille III, S<sup>t</sup> Jérôme, 119 p. + annexes.
- Benchetrit M., 1972.-** L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Pub. Univ. De Poitiers. XI. PUF, 216p.

## Références Bibliographiques

---

- Bensalah M., 1989.-** L'éocène continental d'Algérie ; importance de la tectogénèse dans la mise en place des sédiments et de processus d'épigénie dans leur transformation. Thèse Doct. Univ.Layon,140p.
- Bialousz S., 1977.-** Deux remarques sur l'utilisation de la télédétection pour la cartographie pédologique. Introduction à la discussion. 1<sup>er</sup> colloque « Pédologie-télédétection » ; Rome ; pp 213-220.
- Bonn F. et Rochon G., 1993.-** Précis de la télédétection: Principes méthodes. Vol. I, U.R.E.F., 485 p.
- Bouazza M. Benabadji N., 1998.-** Composition floristique et pression anthropozoïque au Sud-Ouest de Tlemcen. Sci. Techn. Univ. Constantine ,pp 93-97.
- Bouazza M., 1995.-** Étude phyto écologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et *Lygeum spartum*L. au sud de Sebdou (Oranie – Algérie). Thèse Doct. Es - Sci. Univ. Tlemcen, 153 p. + annexes..
- Bouazza M., 1991.-** Étude phyto écologique de la steppe à *Stipa tenacissima* L. au sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse Doct. Etat, Univ. Aix-Marseille III, 119 p. + annexes.
- Boukhobza M., 1982.-** L'agropastoralisme traditionnel en Algérie, (de l'ordre tribal au désordre colonial). Pub. Univ., Alger, 458 P.
- Caloz R. et Puech C., 1996.-** Hydrologie et imagerie satellitaire. In Précis de télédétection, vol 2 : Applications thématiques. Presses de l'Univ du Québec UREF /AUPELF, pp 159-196.
- Caloz R., J-Blasser T. et Willemin G., 1993.-** Création d'une orthoimage à l'aide d'un modèle numérique d'altitude : influence des modes de rééchantillonnage radiométrique. Télédétection et cartographie EDAUPELF-UREF. Les presses de l'Univ. Du Québec, pp 17-30.
- Celles J. C., 1975.-** Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie). Thèse. Doct. Nice, 364p.
- Chaumont M. et Paquin C., 1971.-** Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000. Alger, Soc. Hist. Afri. Nord, 4 feuilles.

## Références Bibliographiques

---

- Colwell J.E. 1974.-** Grass canopy bidirectional spectral reflectance. 1061-1085- proceedings of the 9th Int. Symposium of remote sensing environment.
- Dahmani Megrenouche M., 1997.-** Le chêne vert en Algérie. Syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse Doct. Es - Sci. Univ. Sci. Techn. H. Boumediene, U.S.T.H.B. Alger, 383 p.
- Dahmani M., 1984.-** Contribution à l'étude des groupements à chêne vert (*Quercus rotundifolia*) des Monts de Tlemcen. Approches phytoécologiques et phytosociologiques. Thèse Doct. Etat, U.S.T.B.H. Alger, 226 p.
- Daget PH., 1977.-** Le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, modes de caractérisation. *Végétation*, 34, pp1-20.
- De Martonne E., 1926. –** Une fonction climatologique : l'indice d'aridité, *la météo*, pp 449-459.
- Deshayes M. et Maurel P., 1990.-** La télédétection en agriculture. 1ere partie : Principes généraux de la télédétection (l'image spatiale et son contenu). Actes du colloque de Montpellier 13-15 mars 1990, pp. 11-27
- Didon E., 1990.** SIG : Concepts, Fonctions, Applications.  
Octobre, 1990.
- Djebaili S., 1984.-** Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. O.P.U. Alger.
- Djebaili S., 1978.-** Recherches phytoécologiques et phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct. Etat, Univ. Sci. et Tech. Languedoc, Montpellier, 229 p. + annexe.
- Djellouli Y., 1999.-** Flore et climat en Algérie Septentrionale : Déterminismes climatiques des espèces. Thèse Doct. Etat, Univ. Sci. Tech. H. Boumediene, Alger, 262p.
- Duthoit S. 2006.-** Prise en compte de l'agrégation des cultures dans la simulation du transfert radiatif : importance pour l'estimation de l'indice foliaire LAI. Thèse Doct. De l'Univ de Toulouse III.

## Références Bibliographiques

---

- Emberger L., 1955.** – Une classification biogéographique des climats. Trav. Lab. Zool. Fac. Sci. Serv. Montpellier, 7: 3-43.
- Emberger L., 1930.**- Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. C.R. Acad. Sc., 191 ,pp 389-390.
- Escadafal R., Mulders M.A et Thiombiano L. 1995.**- Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et SIG. Actes du symposium international AISS Ouagadougou (Burkina Faso) du 6 au 10 février 1995, 619p.
- Escadafal R. 1989.**- Caractérisation de la surface des sols arides par observation de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). Thèse ORSTOM, Paris, pp.317+ annexes.
- Escadafal R. et Pouget M. 1985.**- Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (Sud tunisien). 4eme symposium of iss working group. Remote sensing for soil survey lac, wegingen and ITC, Enshede 4-8 march 1985, pp 12.
- Estienne P. et Godron A., 1970.**- « Climatologie » collection 3eme édition. 80p.
- Fensholt R., Sandholt I., Stisen S. et Tucker C. 2006.** - vegetation monitoring with the geostationary meteosat second generation SEVIRI sensor. Remote sensing of environment. N° 101, pp. 212-229.
- Fensholt R. 2003.**- Assessment of primary production in a semi arid environment from satellite data: exploiting capabilities of new sensors. Institute of geography, Univ of Copenhagen, Denmark, pp.27.
- Floret C., Le Floc'h E. et Pontannier R., 1992.**- Perturbation anthropique et aridification en zone présaharienne in : L'aridité, une contrainte de développement, caractérisation, réponse biologique et stratégie de sociétés. Ed. ORSTOM, Paris.
- Gao B. C. 1996.**- A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote sensing of environment, n° 58, pp. 257-266.

## Références Bibliographiques

---

- Gilabert M.A., Gonzalez-Piqueras J., Garcia-Haro F.J. et Melia J., 2002.-** A generalised soil adjusted vegetation index. Remote sensing of environment. N°82, pp. 303-310.
- Girard, M.C. Et Girard, C.M., 1999.-** Traitement des données de . . . .  
télédétection Dunod, 1999. 530p.
- Girard, M.C. Et Girard, C.M., 1989.-** Télédétection appliquée, zones . . .  
tempérées et intertropicales. Masson, 1989. 260p. coll. Sciences . . .  
agronomiques.
- Girard M.C. et Girard C.M., 1977.-** Les fonctions et les traitements des  
images satellites- Méthodes d'emploi en pédologie- 1er colloque  
« Pédologie-télédétection » ; Rome, pp. 325-339.
- Gounot M., 1969. –** Méthodes d'étude quantitatives de la végétation. Vol.1,  
Ed. Masson et Cie, Paris, 314 p.
- Goward S.N., Xue Y. et Czajkowski K.P., 2002.-** Evaluating land surface  
moisture conditions from the remotely sensed temperature/ vegetation  
index measurements : an exploration with the simplified simple  
biosphere model. Remote sensing of environment, n° 79, pp 225-242.
- Haddouche D., 2011.-** Analyse spatiale de la régénération forestière post-  
incendie de la forêt de Fergoug à Mascara, Algérie. Revue Bois et  
forêts des tropiques, n°307.
- Haddouche D., 2009.-** La télédétection et la dynamique des paysages en  
milieu aride et semi-aride en Algérie : cas de la région de Naama. Thèse  
Doct Univ de Tlemcen pp. 118-131+ annexes.
- Haddouche D., Toutain B., SAIDI S. et MEDERBAL K., 2008.-**  
Comment concilier développement des populations steppiques et lutte  
contre la désertification ? cas de la wilaya de Naama, Algérie. Revue  
New mediterranean journal of economics,  
Agriculture and environment, vol VII- n° 3/ 2008. ISSN : 1594-5685,  
pp.25-31.
- Haddouche D., MEDERBAL K. et SAIDI S., 2007.-** Space analysis and  
the detection of the changes for the follow up of the component sand-  
vegetation in the area of Mecherea, Algeria. Revue S.F.P.T. n° 185.  
France ISSN 1768-9791.

## Références Bibliographiques

---

- Haddouche D., 1998.-** Cartographie pédopaysagique de synthèse par télédétection « image LANDSAT TM » cas de la région de Ghassoul (El Bayad). Thèse Mag. INA, Alger, 149p.
- Hadjadj Aouel S., 1995. –** Les peuplements du thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata* Vahl. Master) en Algérie. Phyto-écologie, syntaxonomie, potentialités sylvicoles. Thèse Doct. Es - Sci. Univ. Aix-Marseille III, 155 p. + annexe.
- Harche M., 1985.-** Différenciation et structure pariétale des fibres de l'alfa. Thèse. Doct. Univ. P. et M. Curie. Paris, 88p.
- Hinse (M.), 1989.** Réflectance spectrale des sols de Settat (Chaouia, Maroc). Travaux sur le terrain . 132p.
- Hirche A., Bougnani A. et Salamani M., 2007. –** Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. Séch. Sci. Chang. Plan. Vol. 18, (4) ,pp 314-320.
- Huete A. R., Justice, C.O., Van Leeuwen, W.J.D 1999.-** MODIS vegetation index (MOD13). Version 3. Algorithm theoretical basis document, pp 129.
- Huete A. R., 1989.-** Soil influences in remotely sensed vegetation canopy spectra. Theory and application of optical remote sensing, n° 107-141-G. Asrar Ed., New York
- Huete A.R.,1988.-** A soil adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment, n° 25, 295-309.
- Hunt E.R. et Rock B.N. 1989.-** Detection of changes in leaf water content using near and middle infrared reflectances. Remote sensing of environment, n° 30, pp. 43-54.
- Hunt E.R. et Rock B.N. 1989.-** Detection of changes in leaf water content using near and middle infrared reflectances. Remote sensing of environment, n° 30, pp. 56-59.
- Jackson R.D., Reginato, R.J. And Idso, S.B., 1977.-** Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. Water resources research, n° 13, pp.651-656.

## Références Bibliographiques

---

- Jacovides C.P., 1997.-** Model comparison for the calculation of linke turbidity factor. International journal of climatology; n° 17, pp 551-563.
- Jensen J.R., 2000.-** Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective. Upper saddle river: NJ: prentice hall.544p.
- Jordan C.F., 1969.-** Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. Ecology, n°50, pp 663-666.
- Kadi-Hanifi H., 2003. –** Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* de l'Algérie. Sécheresse (3), Vol. 14,pp 169-179.
- Kadik L., 1984.-** Contribution à l'étude phytoécologique des formations à *Pinus halepensis* Mill. Dans le senlba chergui de gherbi ( Atlas Saharien). Thèse. Doct. 3eme cycle. Univ. H. boumédienne. Alger, 281p.
- Kaufman Y.J. et Tanré D., 1992.-** Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE transaction on geosciences and remote sensing, n° 30, pp 261-270.
- Krieger F., Malila W., Nalepka R. et Richerdson W., 1969.-** Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition in proc of the 6<sup>th</sup> int. symp. On. Remote sensing of environment, n° 97, pp 131, Univ. of Michigan, Ann Arbor.
- Lambin E.F. et Ehrlich D. 1996.-** The surface temperature-vegetation index space for land cover and land cover change analysis. International journal of remote sensing, n° 17, pp 463-487.
- Le houerou HN., 1985.**la régénération des steppes Algériennes.
- Le Houerou H. N., 1969.-** La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Nat. Rech. Asr. Tun. 42, 5, pp 1-624.
- Merzouk A., 1992.-** Utilisation de la télédétection spatial dans l'étude et l'inventaire des sols en zone semi-aride. Geo-observateur ; MARISY, Rabat-Maroc, pp 43-50.
- Midoun. S., 2006.-** La reconnaissance par télédétection du milieu d'une région steppique : cas du bassin versant d'El Aoudj (Wilaya de Tlemcen). Thèse Ing., Dép. For., Fac. Scien., Univ. De Tlemcen.216p

## Références Bibliographiques

---

- Oulhaci S., 2011.-** Contribution à l'étude phytoécologique de l'écosystème steppique de la wilaya de Tlemcen. Thèse Ing. Dép. Forest., Fac. Scien., Univ. De Tlemcen, 160p.
- Ozenda P., 1991.-** Flore et végétation du Sahara, 3<sup>ème</sup> éd., CNRS, Paris. 512 p.
- Ozenda P., 1986.-** La cartographie écologique et ses applications. Ed. Masson. Paris, 375 p.
- Ozenda P., 1982.-** Les végétaux dans la biosphère. Ed. Doin, Paris, 511, 512, 180 et 186 p.
- Pouget (M.) , 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud Algéroises . Travaux et documentations de l'ORSTOM n°116 ; 555 p.
- Quézel P., 2000.-** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ed. Ibis press , Paris, 100 p. + annexe.
- Quézel P., 1999.-** Les grandes structures de végétation en régions méditerranéennes : facteurs déterminants dans leur mise en place post-glaciaire. Geobios 32, I, pp 19-32.
- Quézel P. et Barbero M., 1993.-** Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le Pliocène : enseignements de la flore et de la végétation actuelle. Bull. Écol. 24, pp191-202.
- Quézel P. et Santa S., 1962 – 1963.-** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S., Paris, 2 vol. 1170 p.
- Robbez-Masson J.M. Doledéc A. f. et Billy F., 1992.-** Relations entre facteurs du milieu naturel et pédopaysages : variables pertinentes pour une délimitation assistée. Comparaison de trois petites régions.
- Rebert J.P., 1983.-** Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Document scientifique du CRODT, pp 99.
- Richardson A.J., Wiegand C.L., 1977.-** Distinguishing vegetation from soil background information photogrammetric engineering and remote sensing, n° 43, pp 1541-1552.
- Robinson A.R., Golnaraghi M. Golnaraghi, M., Leslie, W.G., Artegiani, A., Hecht, A., Lazzoni, E., Michelato, A., Sansone, E.,**



## Références Bibliographiques

---

- Theocharis, A. et Unlüata, U., 1991.-** The eastern Mediterranean general circulation: features structure and variability. Dynamics of atmospheres and ocean, n° 15, pp 215-240.
- Rouse J.W. et Haas R.H., 1973.-** Monitoring vegetation system in the great plain with ERTS. Third ERTS symposium, n° 10, pp 309-317. Washington DC: NASA.
- Sauvage Ch., 1961.-** Recherches géobotaniques sur le chêne liège au Maroc. Thèse Doct. Etat, Univ. Montpellier, Trav. Inst. Sci. Chérifien, Série botanique, pp 21-462.
- Sandholt I., Rasmussen K. et Andersen J., 2002.-** A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of soil moisture status. Remote sensing of environment, n° 79, pp 213-224.
- Sandholt I., Rasmussen K. et Andersen J., 2002.-** A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of soil moisture status. Remote sensing of environment, n° 79, pp 247-251.
- Scanvic J.Y., 1983.** Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. Manuels et méthodes. BRGM. 1983. FRANCE. 158 p.
- Seltzer P., 1946.-** Le climat de l'Algérie. Ed. Carbonel, Alger, 219 p.
- Stewart P., 1969. –** Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Bull. Soc. Hist. Nat. Afri. Nord (59), pp 23-36.
- Stonner E.R. et Baugardner M.F., 1981.-** Characteristic variations in reflectance of surface soils. Journal paper n° 8460, Purdue Univ., Agric. 16 march, pp 1161-1165. INRA, 1992, pp 05-15.
- Slater, P.N.. Reading : Addison - Wesley, 1980.-** Remote sensing, optics and optical systems 575p.
- Thinthoin R., 1948.-** Les aspects physiques du Tell oranais, essai de morphologie de pays semi-arides. Ouvrage publié avec le concours du C.N.R.S. Ed. L. Fouque, 639p.
- Tricart J. et Cailleux A., 1965.-** Introduction à la géomorphologie climatique. L'influence non directe du climat : pédogénèse et morphogénèse. Tome 1, pp 100-144.

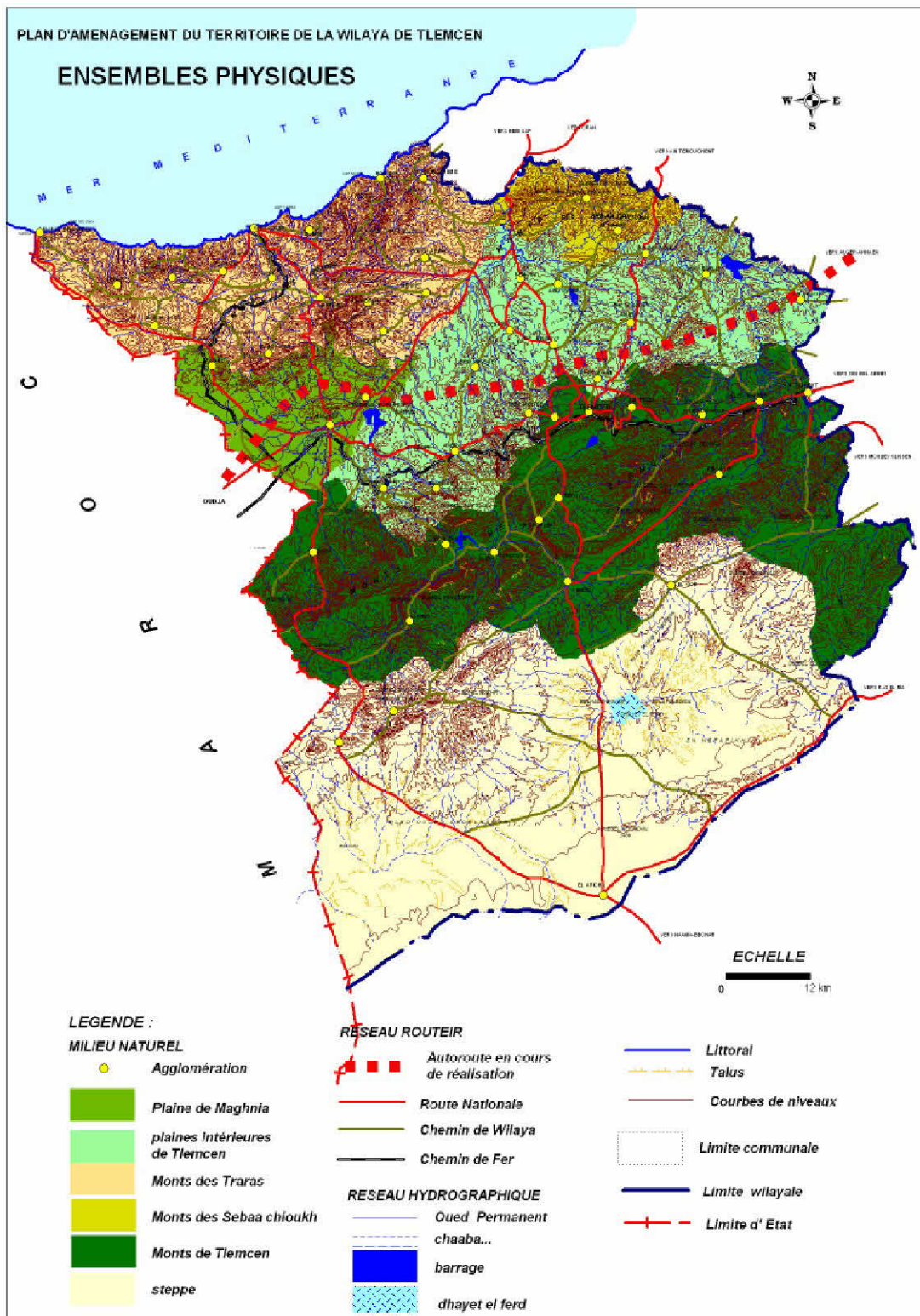
## Références Bibliographiques

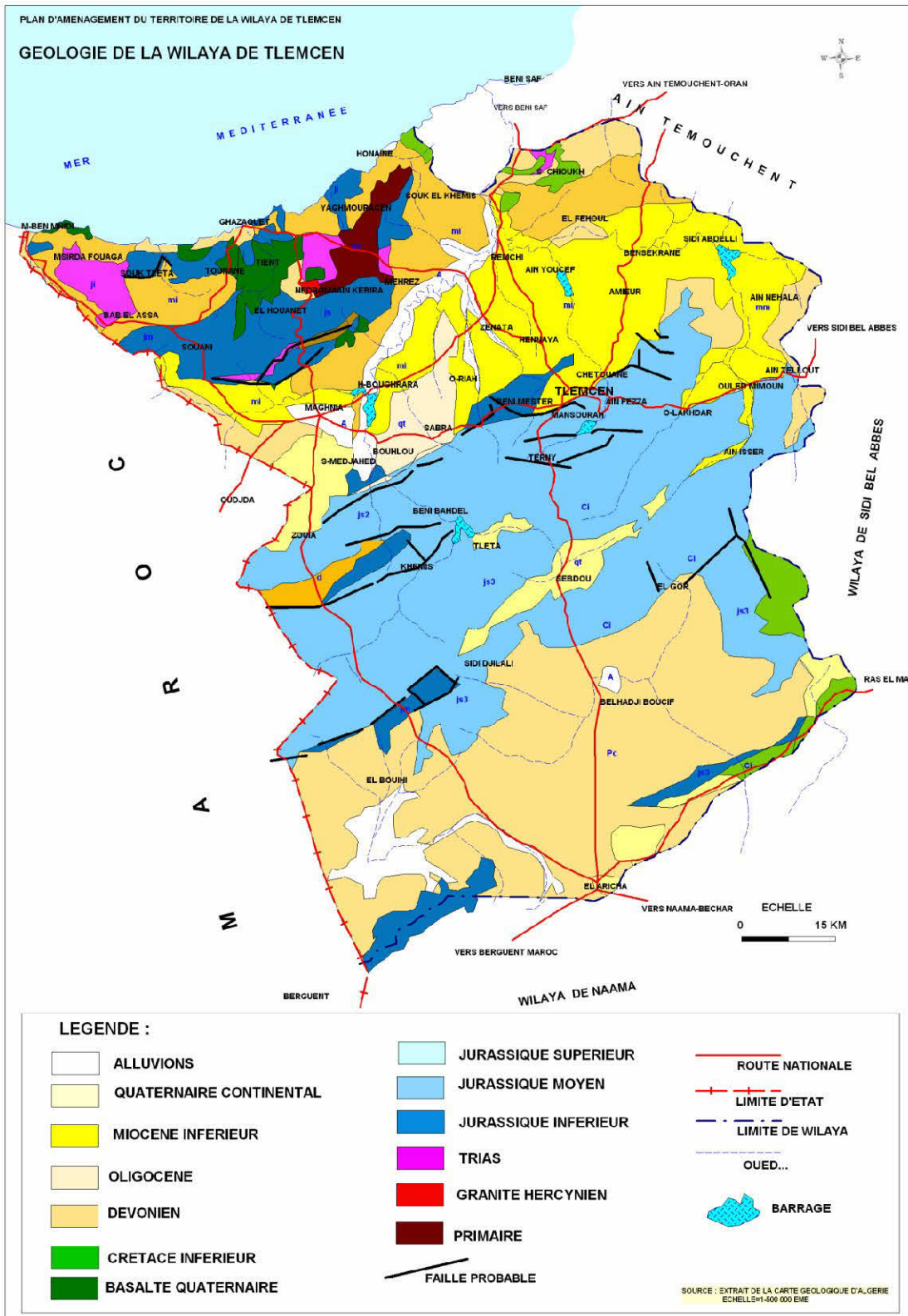
---

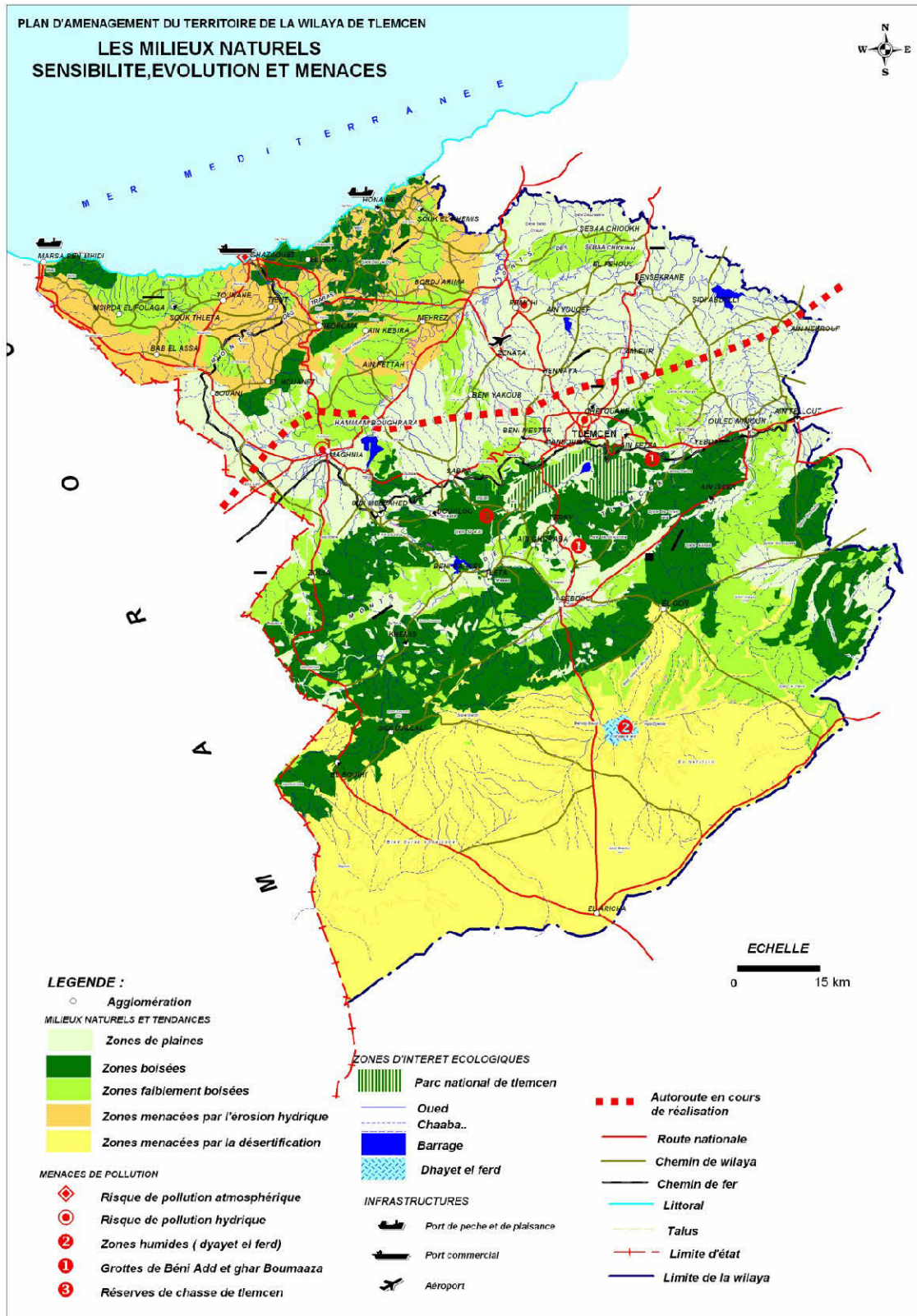
**Tucker C.J., 1979.-** Red ans photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote sensing of the environment, n° 08, pp 127-150.

**Weiss M., 1998.-** Développement d'un algorithme de suivi de la végétation à large échelle, pp 188. Thèse Doct, Univ. De Nice Sophia Antipolis.

# *Annexes*









**Station météorologique de Zenata (Mars, 2014).**

إن الغطاء النباتي للسهوب الجزائرية والذي كان يغطي جزءا كبيرا من هذه المناطق انخفض بشدة، وهذا بسبب تعرضه للأثار السلبية لنشاط الإنسان، وأيضا للظروف الإيكولوجية والمناخ القاسي (حداد، 2009) ، وهذا ما تؤكد مجموعة من الأبحاث التي أجريت في هذه البيئة. إن استخدام المقاربات الجديدة لقياس التدهور الحاصل ما زال ضروريا من خلال الاستعانة بالتحليلات المكانية التي تعطي خيارات تسييرية عملية لهذه المناطق التي أصبحت هشة للغاية وعرضه لظاهرة التصحر.

بعد بحوث بيليوغرافية مضمينة شاملة على السهوب الجزائرية، أنجزت دراسة تقنية على النظام الإيكولوجي لسهوب تلمسان بشكل خاص. بينت هذه الدراسة أن الطرق المختلفة لمعالجة البيانات المستكشفة عبر أزمنة متعددة (1984،2011)، أتاحت لنا دراسة التطور العمراني للتغيرات المكانية الواردة في هذا الجزء من الولاية، من أجل ذلك، أجريت عمليات تحسين نوعية (التراكيب الملونة والمرشحات) للمعطيات المصورة (التصنيفات المراقبة). النتائج المتحصل عليها تظهر تغيرات مفزعة ومقلقة على مدى العقود الثلاثة الماضية، وهذا ما يزيد من مساحة الأراضي العارية ويعزز من انتشار ظاهرة التصحر.

وفي الواقع، النتائج التي تم الحصول عليها سمحت لنا معاينة وتحديد فئات الغطاء النباتي التي تقلصت مساحتها:

• فئة للغابات؛699.39ها

• فئة ماتورال 1083.42ها

• فئة ماتورال المتناقصة 3160.71ها .

• فئة المجموعات ألفا وساجيروش 2315.79ها.

**الكلمات الدالة:** الاستشعار عن بعد - التغيرات المكانية - التطور العمراني التصحر - السهوب - تلمسان - الجزائر.

### Résumé :

En Algérie, la végétation steppique a fortement régressé, couvrant autrefois une partie importante de ces zones, elle est exposée actuellement aux effets néfastes de l'homme et ses troupeaux, aussi à des conditions écologiques et climatiques agressives. Cette tendance à la dégradation de la végétation steppique est attestée par un ensemble de travaux de recherche sur ces milieux. L'utilisation des nouvelles approches, pour mesurer les états de la dégradation à travers des analyses spatiales afin d'entreprendre de réelles options de gestion pour ces milieux devenus très fragiles et exposés aux phénomènes de la désertification, reste incontournable.

Après une recherche bibliographique exhaustive sur les steppes algériennes en général, une étude technique a été achevée sur l'écosystème steppique de Tlemcen en particulier. La récolte et les différents types de traitements des données télé détectées multi dates (1984,2011), ont permis l'étude de l'évolution diachronique des changements spatiaux parvenues dans cette partie du territoire de la wilaya. Pour cela, plusieurs traitements d'amélioration (compositions colorées et filtres) et spécifiques (classifications supervisées) des données images ont été réalisées.

Les résultats obtenus montrent des mutations régressives alarmantes au cours des trois dernières décennies, ce qui augmente la portion des sols nus et favorise l'installation de la désertification.

En effet, les résultats obtenus nous ont permis le constat de la régression des superficies des classes représentant la végétation :

- 699.39ha pour la classe forêt ;
- 1083.42ha pour la classe matorral ;
- 3160.71ha pour la classe matorral dégradé ;
- 2315.79ha pour la classe des groupements à alfa et armoise blanche.

**Mots clés :** Télédétection - Evolution diachronique- Changements spatiaux- Désertification - Steppe- Tlemcen - Algérie.

### Summary :

In Algeria, the steppe vegetation has strongly decreased, formerly covering a significant portion of these areas, is exposed to the adverse effects of the man and his flocks, also to ecological conditions and aggressive climate (Haddad, 2009). This trend towards degradation of the vegetation is attested by a set of research on these environments. The use of new approaches, to measure States of degradation through spatial analyses to undertake of actual management options for these environments have become very fragile and vulnerable to the phenomena of desertification, remains essential.

After exhaustive bibliographic research on the Algerian steppe in general, a technical study was completed on the steppe ecosystem of Tlemcen in particular. The harvest and the different types of detected TV multi-temporal data processing (1984,2011), have allowed the study of the diachronic evolution of the spatial changes received in this part of the territory of the wilaya. To do this, several improvement (coloured compositions and filters) and specific treatments (supervised classifications) data images were performed.

The results obtained show alarming regressive change over the past three decades, which increases the portion of bare floors and promotes the installation of desertification. Indeed, the results obtained allowed us the finding of the regression of the areas of the classes representing vegetation:

- 699.39 ha for the forest class;
- 1083.42 ha for the matorral class.
- 3160.71 gradient for the matorral class ha.
- 2315.79 ha for the class of groups alfa and sagebrush.

**Key words:** Remote sensing - Diachronic Evolution - Spatial changes - Desertification - Steppe - Tlemcen - Algeria.