



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة Hassiba بن بوعلي - الشلف

Université Hassiba BEN BOUALI CHLEF

Faculté des Sciences

Département de Biologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magister en biologie
Spécialité : Ecopédologie, Eau et Environnement

THEME

**Utilisation des SIG et télédétection dans
l'étude de la dynamique du couvert
végétal dans le sous bassin versant de
oued Bouguedfine (Wilaya de Chlef).**

Présenté par Mme: *ABDELBAKI Amina*

Jury

Président :	Mr Mhammedi Bouzinna M.	Professeur, UHBC (Chlef)
Directeur de thèse :	Mr Saidi D.	Professeur, UHBC (Chlef)
Examineurs :	Mr Oldache E.	Maître de conférences, ENSA (Alger)
	Mr Abbabou A.	Maître de conférences, UHBC (Chlef)
	Mr Setti B.	Maître de conférences, UHBC (Chlef)
Invité :	Mr Hartani M.	Chargé de recherche, INRF (Ténès)

Septembre 2012

Dédicace

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie :

A mon papa, à qui je dois mon éducation et mon instruction, que Dieu lui accorde sa grâce infinie ;
A ma très chère et douce mère, qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, qui s'est trop inquiétée pour cette recherche, et qui a tant veillé pour moi ;

Qu'ils trouvent ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera jamais à la hauteur de leur dévouement. Aucune dédicace ne saurait vous exprimer la profondeur de mes sentiments. Que dieu vous protège et vous garde pour nous.

A la mémoire de mes grands-parents ;

A celui qui m'a toujours encouragé ;

A mon mari Mohamed, pour son soutien aux moments difficiles de mon travail et surtout pour sa patience ;

A ma précieuse sœur Souâd, les mots ne peuvent résumer ma reconnaissance et mon amour à son égard, que Dieu lui prodigue guérison et santé ;

A ma chère sœur Chérifa qui m'a beaucoup soutenu durant toutes mes études ;

A mes aimables sœurs : Fethia, Hassina, Nassima, Radhia et Zahra ;

A mes deux chers frères : Mohamed et Ismail, en témoignage de mon amour fraternel et de mon attachement éternel ;

A ma belle mère, que dieu la protège, à ma belle famille ;

A mes beaux frères : Othmane, Fouad, Ismail. M, Abdelhak, Ismail. S et Mustapha ;

Avec toute ma tendresse, à mes neveux et nièces, meilleurs vœux de succès dans leurs études ;

A mes oncles, tantes, cousins et cousines, vous avez de près ou de loin contribué à ma formation. Affectueuse reconnaissance ;

A toute ma famille pour son affection et sa contribution à mon épanouissement.

Je ne saurai terminer sans citer mes adorables amies de l'ENSA (Ex INA) : Amel, Dihia et Nawel pour leur fidélité ;

A mon adorée Fatiha, à qui je souhaite plein de succès dans ces études ;

A toute ma promotion de magister « Ecopédologie, eau et environnement », UHB Chlef ;

Je dédie également ce travail à tous ceux qui m'ont apporté leur savoir et contribué à ma formation : mes instituteurs du primaire, mes professeurs du lycée, mes enseignants de l'ENSA et de UHB Chlef, qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect ;

Enfin je le dédie à tous mes ami(e)s que je n'ai pas cité(e)s et à tous ceux qui me connaissent. Qu'ils trouvent à travers ce travail ma sincère reconnaissance ;

A tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail. ;

A mon pays.

Amina

Remerciements

Mon parcours de magistère ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.

Je remercie avant tout mon *DIEU* tout puissant qui m'a comblé de ses bienfaits et m'a donné assez de force pour achever ce travail et de venir à bout de cette formation.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon directeur de thèse, Professeur Saïdi D, chargé de cours au département de biologie, pour avoir accepté de diriger mon travail, ainsi que pour ses précieuses orientations.

Je remercie aussi chaleureusement les membres du jury :

Pr Mhammedi Bouzinna M, Dr Oldache E, Dr Abbabou A et Dr Setti B pour l'honneur qu'ils m'ont attribué de bien vouloir juger mon travail.

Mes sincères remerciements à Mr AMOKRANE F, Chef de station de l'I.N.R.F de Ténès, et tout le personnel de la station, pour l'aide qu'ils m'ont fourni.

Je tiens à remercier Mr Hartani M, chargé de recherche à l'Institut National de recherche Forestière « INRF » de Ténès, qui m'a dispensé de judicieux conseils.

Je remercie tout particulièrement Mr ARROUSSE M et son équipe (district de Ouled Ben Abdelkader, Conservation des forêts de Chlef), pour les orientations et la documentation qu'ils ont mis à ma disposition. Qu'ils soient également remercier pour les efforts fournis qu'ils m'ont divulgué pour me permettre d'effectuer des différentes sorties nécessaires sur terrain.

Merci à tous ceux qui, à un moment ou à un autre, m'ont prodigués des conseils scientifiques, fourni une aide matérielle ou technique, ou tout simplement humaine.

Enfin, que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, trouve ici mes profonds et sincères remerciements.

SOMMAIRE :

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : Bilan de connaissance sur la dynamique du couvert végétal

Chapitre II : Télédétection du couvert végétal

Chapitre III : Etude du milieu physique

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Chapitre V : Résultats et discussion

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Table des matières :

Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre I : Bilan de connaissance sur la dynamique du couvert végétal	
Introduction.....	3
1. Pourquoi étudier le couvert végétal ?.....	3
2. Dynamique du couvert végétal	4
2.1. L'évolution	5
2.2. La dégradation	5
3. Facteurs de dégradation du couvert végétal en Algérie	5
3.1. La pression anthropique, aggravée par la croissance démographique.....	6
3.1.1. Les incendies	6
3.1.2. Le surpâturage	7
3.1.3. Les coupes de bois	8
3.1.4. Le tourisme	8
3.1.5. Les défrichements	8
3.2. L'application de techniques inappropriées.....	9
3.2.1. Sylviculture.....	9
3.2.2. Agriculture.....	9
3.3. Le braconnage et l'extermination de la faune sauvage.....	9
3.4. Les attaques parasitaires liées à la dégradation.....	9
4. Le besoin d'un outil d'observation synoptique.....	11
Chapitre II : Télédétection du couvert végétal	
Introduction	12
1. Qu'est-ce que la télédétection ?.....	12
2. Domaines de la télédétection	13
3. Traitements en télédétection.....	13
3.1. La source d'énergie.....	14
3.2. Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère.....	14
3.3. Les interactions du rayonnement avec la surface terrestre.....	14

3.4. L'enregistrement du signal par le capteur satellitaire.....	14
3.5. La transmission et la réception des données	14
4. Le rayonnement électromagnétique : nature et propagation.....	15
4.1. Définition.....	15
5. Interactions du rayonnement électromagnétique.....	16
6. Signatures spectrales des principales surfaces naturelles.....	17
6.1. Signature spectrale des sols.....	18
6.2. Signature spectrale de l'eau.....	18
6.3. Signatures spectrales de la végétation.....	18
6.3.1. Variations de la signature spectrale de la végétation.....	18
6.3.1.1. Caractérisation de la structure d'un couvert végétal.....	18
6.3.1.2. Les propriétés optiques des feuilles.....	19
6.3.1.2.1. Les pigments foliaires.....	20
6.3.1.2.2. La structure cellulaire des feuilles.....	20
6.3.1.2.3. L'influence de la teneur en eau.....	21
6.3.1.3. Autres types de variations de la signature spectrale.....	21
7. Analyse d'une image.....	23
7.1. Classification non supervisée.....	23
7.2. Classification supervisée.....	23
8. Indices de végétation.....	23
8.1. Principe.....	23
8.2. Principaux indices de végétation.....	24
9. Autres indices.....	24
Chapitre III : Etude du milieu physique	
Introduction.....	26
1. Le choix du sous bassin versant de Bouguedfine.....	26
2. Caractéristiques du S/BV de Bouguedfine.....	26
2.1. Situation du S/BV de Bouguedfine.....	26
2.1.2. Situation administrative.....	26
2.1.1. Situation géographique.....	27
2.2. Barrage de Sidi Yâakoub.....	27
3. Caractéristiques climatiques.....	28

3.1. Précipitations.....	28
3.2. Température.....	29
3.3. Ensoleillement.....	30
3.4. Evaporation.....	30
3.5. Autres caractéristiques climatiques.....	31
3.5.1. Vents.....	31
3.5.2. Orages.....	31
3.5.3. Gelées.....	31
3.5.4. Grêle.....	31
3.5.5. Sirocco.....	31
3.6. Synthèse climatique.....	32
3.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1935).....	32
3.6.2. Climagramme pluviométrique d'Emberger (1955).....	33
3.6.3. Synthèse bioclimatique de la région d'étude.....	33
3.6.3.1. Correction pluviométrique.....	33
3.6.3.2. Correction des températures.....	36
3.7. Résultats de la synthèse climatique.....	37
3.8. Détermination des étages bioclimatiques de la zone d'étude.....	39
4. Topographie.....	40
5. Pédologie.....	41
5.1. Sols minéraux bruts.....	43
5.2. Sols peu évolués.....	43
5.2.1. Sols peu évolués d'érosion.....	43
5.2.2. Sols peu évolués d'apport alluvial.....	44
5.3. Sols calcimagnésiques.....	44
5.3.1. Les Rendzines.....	44
5.3.2. Les sols bruns carbonatés.....	44
5.4. Sols brunifiés.....	44
6. Hydrographie.....	45
7. Lithologie.....	45
8. Occupation du sol.....	47
9. Etude socio-économique.....	47

9.1. Nature juridique des terres.....	48
10. Réseau routier.....	48
Chapitre IV : Matériels et méthodes	
Introduction.....	50
1. Outils et matériels utilisés.....	50
1.1. Outils d'analyse.....	50
1.1.1. MapInfo.....	50
1.1.2. Envi.....	50
1.1.3. Vertical Mapper.....	51
1.2. Outils de prospection.....	51
1.2.1. G.P.S.....	51
1.2.2. Appareil photos numérique.....	51
2. Acquisition et traitement des données.....	51
2.1. Collecte de données.....	51
2.1.1. Cartes.....	52
2.1.2. Images satellitaires.....	52
2.1.3. Données terrain.....	53
2.2. Analyse des données.....	53
2.2.1. Prétraitement.....	54
2.2.1.1. Correction atmosphérique.....	54
2.2.1.2. Correction géométrique « Géoréférencement ».....	55
2.2.2. Numérisation des données.....	56
3. Saisie et manipulation des données.....	56
4. Compositions colorée et choix de la meilleure trichromie.....	57
5. Approche méthodologie.....	58
5.1. Approche analytique « analyse visuelle ».....	58
5.2. Approche statistique « Classification des images ».....	59
5.3. Validation et amélioration de la classification.....	59
5.4. Détection des changements par calcul des indices.....	61
5.4.1. NDVI.....	61
5.4.2. Indice de brillance.....	62

Chapitre V : Résultats et discussion

1. Analyse des images satellitaires.....	63
2. Classification supervisée : Maximum de vraisemblance.....	64
2.1. Détermination des classes.....	65
2.1.1. Feuillus dense.....	65
2.1.2. Feuillus claire.....	65
2.1.3. Résineux.....	65
2.1.4. Maquis denses.....	65
2.1.5. Maquis Ouverts.....	65
2.1.6. Cultures.....	65
2.1.7. Sols nus.....	65
2.1.8. Lac du barrage.....	65
2.2. Résultat de la classification.....	67
2.3. Validation de la classification par terrain.....	69
2.4. Pertinence de classification.....	69
2.4.1. Calcul de matrice de confusion.....	69
2.4.2. Coefficient de Kappa.....	71
3. Application des indices.....	71
3.1. Indice de brillance des sols (IBc ² , Brightness Index).....	71
3.2. Indice NDVI.....	73
4. Etats successifs du couvert végétal.....	75
4.1. Dynamique du couvert végétal entre 1987 et 1999.....	75
4.2. Dynamique du couvert végétal entre 1999 et 2011.....	76
5. Comparaison des superficies.....	76
6. Impacts déterminés par l'évolution des conditions climatiques.....	78
7. Dynamique du couvert végétal.....	79
Conclusion générale	81
Références bibliographiques	83
Annexes	90

Liste des figures

Figure 1 : Les transferts d'énergie à la surface terrestre	3
Figure 2 : Etapes de la dynamique des peuplements végétaux soumis à l'action de l'homme en région méditerranéenne.....	4
Figure 3 : Le modèle de dépérissement et attaques parasitaires des arbres forestiers.....	10
Figure 4 : Télédétection à l'aide des satellites.....	14
Figure 5 : Spectre électromagnétique.....	15
Figure 6 : Fenêtres atmosphériques.....	16
Figure 7 : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière « absorption, réflexion, transmission ».....	17
Figure 8 : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen.....	17
Figure 9 : Illustration des interactions entre le sol et la végétation, intégrées au niveau de la mesure satellitaire.....	19
Figure 10 : Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen.....	20
Figure 11 : Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale.....	21
Figure 12 : Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation.....	22
Figure 13 : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation.....	22
Figure 14 : Limites administratives de la zone d'étude	26
Figure 15 : Situation géographique du S/BV de Bouguedfine	27
Figure 16 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2010).....	29
Figure 17 : Températures moyennes mensuelles.....	30
Figure 18 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (station météorologique de chlef).....	32
Figure 19 : Modèle numérique de terrain du S/BV de l'oued Bouguedfine	34
Figure 20 : Carte altimétrique du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	34
Figure 21 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен du point haut.....	38
Figure 22 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен du point bas.....	38
Figure 23 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен du point de moyenne altitude	39
Figure 24 : Climagramme pluviométrique d'Emberger.....	40
Figure 25 : Répartition des classes d'altitude du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine.....	41

Figure 26 : Carte pédologique du S/BV de l'oued Bouguedfine	42
Figure 27 : Répartition des pourcentages de classes de sol dans le S/BV de l'oued Bouguedfine	43
Figure 28 : Carte de l'hydrographie du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	45
Figure 29 : Carte lithologique du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	46
Figure 30 : Répartition des surfaces de chaque classe lithologique du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	46
Figure 31 : Carte d'occupation des sols du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	47
Figure 32 : Carte des agglomérations du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	49
Figure 33 : Carte du réseau routier du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	49
Figure 34 : Extraction de la zone d'étude.....	55
Figure 35 : Etapes principales pour la construction de la base de données.....	56
Figure 36 : Structuration de la numération des données.....	57
Figure 37 : Composition colorée.....	58
Figure 38 : Approche méthodologique.....	60
Figure 39 : Calcul de l'NDVI.....	61
Figure 40 : Calcul de l'IBc ²	62
Figure 41 : Correction atmosphérique.....	63
Figure 42 : Choix des aires d'entraînement (region of interest).....	64
Figure 43 : Aperçu photographique des classes.....	66
Figure 44 : Image classée retenue pour l'année 1987.....	67
Figure 45 : Image classée retenue pour l'année 1999.....	68
Figure 46 : Image classée retenue pour l'année 2011.....	68
Figure 47 : Visualisation du néocanal "indice de brillance" pour l'année 1987.....	71
Figure 48 : Visualisation du néocanal "indice de brillance" pour l'année 1999.....	72
Figure 49 : Visualisation du néocanal "indice de brillance" pour l'année 2011.....	72
Figure 50 : Visualisation du néocanal "NDVI" pour l'année 1987.....	73
Figure 51 : Visualisation du néocanal "NDVI" pour l'année 1999.....	74
Figure 52 : Visualisation du néocanal "NDVI" pour l'année 2011.....	74
Figure 53 : Taux de dynamique du couvert végétal de la scène « 1987- 1999 »	75
Figure 54 : Taux de dynamique du couvert végétal de la scène «1999 - 2011»	76
Figure 55 : Histogrammes des superficies par classes.....	77
Figure 56 : Taux de dynamique des superficies du couvert végétal dans le S/BV de l'oued Bouguedfine (1987-2011).....	78
Figure 57 : Evolution de la pluviométrie dans le S/BV de l'Oued Bouguedfine.....	79

Liste des tableaux

Tableau I : Domaines de la télédétection.....	13
Tableau II : Résumé d'indices de végétation définis à partir de données de télédétection..	25
Tableau III : Caractéristiques de la station de référence.....	28
Tableau IV : Données climatiques de la station de ouled Ben AEK (1980-2010).....	28
Tableau V : Températures moyennes mensuelles (1980 – 2010).....	29
Tableau VI : Ensoleillement moyen mensuel (1999-2010).....	30
Tableau VII : Evaporations moyennes mensuelles (1996-2010).....	30
Tableau VIII : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents (1999-2010).....	31
Tableau IX : Correction des précipitations selon SELTZER (1946).....	34
Tableau X : Coefficients de répartition mensuelle de la station de référence (1980 - 2010)	34
Tableau XI : Pluviométries corrigées de point haut du périmètre.....	34
Tableau XII : Pluviométries corrigées du point bas du périmètre.....	35
Tableau XIII : Pluviométries corrigées du point de moyenne altitude.....	35
Tableau XIV : Températures corrigées du point haut du périmètre.....	36
Tableau XV : Températures corrigées du point bas du périmètre.....	36
Tableau XVI : Températures corrigées du point de moyenne altitude.....	36
Tableau XVII : Caractéristiques physiographiques du S/BV de l'oued Bouguedfine.....	40
Tableau XVIII : Les superficies des communes dans le S/BV de l'oued Bouguedfine.....	46
Tableau XIX : Nombre d'habitants dans le S/BV de l'oued Bouguedfine.....	47
Tableau XX : Taux de chômage par commune.....	47
Tableau XXI : Caractéristiques des scènes étudiées.....	52
Tableau XXII : Rayonnement équivalent exo-atmosphérique (Landsat).....	53
Tableau XXIII : Matrice de confusion établie pour les huit classes de l'image 1987.....	68
Tableau XXIV : Matrice de confusion établie pour les huit classes de l'image 1999.....	69
Tableau XXV : Matrice de confusion établie pour les huit classes de l'image 2011.....	69
Tableau XXVI : Taux de variation de l'occupation du sol dans le S/BV de l'oued Bouguedfine.....	78

LISTE DES ABREVIATIONS

BNEDER : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural

CAO : Conception Assisté par Ordinateur ;

Coef : Coefficient ;

CW : Chemin wilaya ;

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur ;

DGF : Direction Générale des Forêts ;

DOS : Dark Object Substraction ;

ENVI : Environment for visualising image ;

ERTS : Earth resources Technology Satellite ;

ETM +: Enhanced Thematic Mapper Plus ;

ETP : Evapotranspiration potentielle. ;

FAO: Food and Agriculture Organisation ;

Fig : Figure ;

GCES : Gestion Conservatoire de l'Eau ;

GPS : Global Positioning System ;

h : heure

ha : hectare

IBc² : Indice de brillance ;

INCT : Institut National de Cartographie et de Télédétection ;

Km : Kilomètre ;

mm : Millimètre ;

MSS : Multi Spectral Scanner ;

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NDVI : Indice de Végétation par Différence Normalisée ;

nm : Nanomètre ;

ONM : Office National de météorologie ;

O / B / A.E.K : Ouled Ben Abdelkader ;

P : Précipitation ;

PAR : Photosynthetically Active Radiation ;

PIR : Canal Proche infra-rouge ;

R : Canal Rouge ;

RBV : Return Beam Vidicon

REM : Rayonnement ;

SIG : Système d'Information Géographique ;

SWIR : Short Wave Infra Red ;

S/BV : Sous Bassin Versant ;

t : temp

T : Température ;

UTM : Universal Transverse Mercator ;

UV: Ultra violet

V : Canal Vert ;

VM : Vertical Mapper ;

WGS 84 : World Geodetic System (révision de 1984)

µm : Micromètre ;

3D : Trois Dimensions ;

°C : Degrés Celsius ;

%: pourcent

Utilisation des SIG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant de l'Oued Bouguedfine (Wilaya de Chlef).

Résumé :

Dans le sous bassin versant de l'Oued Bouguedfine (Zahrez Chlef, Algérie), des actions de restauration du couvert végétal et des aménagements de lutte contre l'érosion sont exécutés depuis environ 35 ans. Cependant, le paysage actuel associe encore des espaces variés, inégalement affectés par la pression humaine et les traces de l'érosion.

Dans un but de préservation, une meilleure connaissance de la répartition et de la dynamique de végétation permet, grâce à l'interprétation des données de la télédétection et l'utilisation des SIG, de détecter les changements de l'état du couvert.

Les méthodes mises en œuvre se basent sur 03 images satellitaires de type Landsat (MSS et ETM+), formant 03 scènes d'étude «1987, 1999 et 2011», ces dernières relèvent essentiellement de l'analyse visuelle d'images en compositions colorées, après traitements par corrections atmosphériques et géométriques. L'interprétation des images s'appuie également sur les résultats de traitements numériques (classification supervisée par Maximum de vraisemblance et calcul d'indices), sur des observations de terrain et sur des données auxiliaires (cartes d'occupation des sols) qui permis d'analyser les changements et d'identifier les zones de dégradation. Les résultats de notre étude montrent que l'état du couvert végétal et son évolution semblent alarmants, notre zone d'étude a perdu 20% de sa végétation naturelle durant le dernier quart de siècle, ce changement renseigne sur les différentes mutations qu'a connues cette région.

Mots-clés:

Télédétection, SIG, dynamique du couvert végétal, sous bassin versant de l'Oued Bouguedfine, Zahrez - Chlef, Algérie.

استعمال أنظمة الإعلام الجغرافي وتقنيات الاستشعار عن بعد من أجل دراسة حركة الغطاء النباتي في حوض

واد بوقدفين (ولاية الشلف).

ملخص:

لقد تم منذ 35 سنة القيام بعدة إصلاحات بغية تجديد الغطاء النباتي والمكافحة ضد انجراف التربة في حوض واد بوقدفين (زهرز الشلف، الجزائر)، إلا أن المنظر الحالي لا زال يجمع مساحات متفاوتة الضرر جراء النشاط البشري وآثار التعرية.

انطلاقاً من تفسير معطيات الاستشعار عن بعد واستعمال أنظمة الإعلام الجغرافي، فإن الدراية الكافية بتوزع ونشاط الغطاء النباتي تسمح بالكشف عن تغيرات أوضاعه وذلك من أجل المحافظة عليه.

ترتكز المناهج المتبعة في دراستنا على ثلاثة صور للقمر الاصطناعي Landsat (MSS و ETM+)، مكونة ثلاث فترات زمنية متعاقبة " 1987, 1999 و 2011". تتعلق هذه الأخيرة بتحليل صور مرئية، ملونة عقب معالجتها بالتصحيح الجوي والجيوميترى. يعتمد تفسير الصور أيضاً على نتائج المعالجة الرقمية (التصنيف الموجه بأقصى تشابه وبحساب المؤشرات) على الملاحظات الميدانية ومعطيات إضافية أخرى (خرائط استغلال الأراضي) والتي تسمح بتحليل التغيرات وتحديد مناطق تضرر الغطاء النباتي. تظهر النتائج المحصل عليها أن حالة تطور الغطاء النباتي تنذر بالخطر، فقد فقدت منطقة الدراسة 20% من الغطاء النباتي الطبيعي خلال ربع القرن الماضي، هذا التغير يظهر تعدد عوامل التدهور التي تمس هذه المنطقة.

الكلمات المفتاحية :

الاستشعار عن بعد، أنظمة الإعلام الجغرافي، تغيرات الغطاء النباتي، حوض واد بوقدفين، زهرز - الشلف، الجزائر.

**Study of vegetal cover dynamics in the sub basin of Bouguedfine Wadi
(basin of Sly Wadi) by using SIG and Remote-sensing**

Abstract

Actions of restoration of the vegetal cover and installations of protection against erosion have been maintained for approximately 35 years, in the sub basin of Bouguedfine Wadi (Zahrez Chlef, Algeria). However, the current landscape still associates various spaces, unequally affected by the human pressure and the erosion traces.

With an aim of safeguarding, a better knowledge of the distribution and dynamics of vegetation, allow thanks to the interpretation of the remote sensed data and the use of SIG, the detection of any changes in the state of vegetal cover.

The implemented methods are based on 03 Landsat satellite images (MSS and ETM+), forming 03 scenes study "1987, 1999 and 2011", these methods are essentially visual analysis of the LANDSAT images, after that, atmospheric and geometric corrections were done for all the used scences. Also, the interpretation of the images is based on the results of digital processing (supervised classification by Maximum likelihood and calculation of indices), by ground observations and auxiliary data (Land cover & land use maps), in order to analyze the changes and to identify the degradation zones. The results of our study show that the state of the vegetation and its evolution seem alarming, the study area has lost 20% of its natural vegetation during the last quarter century. This change provides information on the various changes experienced by this region

Key words:

Remote-sensing, SIG, vegetal cover dynamics, Sub Basin of Bouguedfine Wadi, Zahrez - Chlef, Algeria.

Les questions environnementales préoccupent aujourd'hui la communauté internationale. De graves menaces pèsent sur les ressources naturelles soumises d'une part à l'effet des changements climatiques et d'autre part aux impacts des actions de l'homme (Sanda Gonda, 2010).

En Algérie, comme dans les pays en développement, la conjugaison de la pauvreté et de la croissance démographique dans les milieux fragiles aboutit à une dégradation des ressources non renouvelables, ou difficilement renouvelables, notamment le couvert végétal, les sols et les eaux.

Les interactions entre un milieu déjà fragile, l'irrégularité des précipitations, la recrudescence des périodes de sécheresse et les pressions socio-économiques accrues ont augmenté la dégradation de ces milieux. Le fonctionnement de ces derniers à l'échelle journalière ou interannuelle présente un intérêt scientifique très fort. L'enjeu étant une meilleure compréhension des processus et des facteurs qui favorisent ces échanges ou les affectent de manière rétroactive.

Dans le sous bassin versant de l'Oued Bouguedfine (Zahrez Chlef, Algérie), des actions de restauration du couvert végétal et des aménagements de lutte contre l'érosion sont exécutés depuis environ 35 ans. Cependant, le paysage actuel associe encore des espaces variés, inégalement affectés par la pression humaine et les traces de l'érosion.

Il s'avère toutefois essentiel dans une étude pareille de pouvoir analyser le couvert végétal afin d'identifier les zones problématiques (dégradation). Cette analyse implique la manipulation d'une somme considérable d'informations pour décrire la végétation du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine. Le recours aux systèmes d'information géographique (S.I.G) et à la télédétection est alors de mise.

Grâce aux images satellitaires, il est possible de cartographier les couverts végétaux à des échelles de temps et d'espace très variées. Outils d'une meilleure compréhension des processus physiques et biologiques qui gouvernent la dynamique des écosystèmes végétaux, les données de télédétection peuvent aussi être utilisés pour s'informer sur les conséquences

d'éventuels changements de la répartition des couverts végétaux, de façon à mettre en place des solutions de gestion plus durables.

L'étude de la dynamique de végétation à l'aide des SIG et des images satellitaires, objet du présent travail, a été envisagée afin de doter les différents acteurs (décideurs, gestionnaires etc..) des outils de base pouvant contribuer à une gestion durable du patrimoine en question, en apportant des éléments de réponse aux questions que l'on se pose et qui constituent la problématique de l'étude. Dans ce but, on a procédé à une étude diachronique des images acquises en 1987 (Landsat MSS), en 1999 et celle de 2011 (Landsat ETM+), pour analyser les changements du couvert végétal et identifier les zones de dégradation.

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre expose un aperçu bibliographique sur la dynamique du couvert végétal et les facteurs de dégradation ;
- Le deuxième chapitre, synthétise des généralités sur la télédétection en relation avec l'étude du couvert végétal ;
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation du milieu physique de la zone d'étude ;
- Le quatrième chapitre présente le matériel utilisé, précise la problématique de notre étude, explique les méthodes de traitement et d'analyse et définit notre démarche méthodologique ;
- En fin, le dernier chapitre répond à la problématique posée par une analyse et une interprétation des résultats de cette étude.

I. Bilan de connaissance sur la dynamique du couvert végétal

Introduction

L'homme a, depuis environ 7000 ans, marqué par son empreinte tous les écosystèmes méditerranéens. Devenant agriculteur, il s'est sédentarisé, ses activités et l'usage qu'il a fait de la nature ont abouti à la destruction presque totale de la végétation originelle. Tout ce qu'il y a actuellement de « nature sauvage », ne correspond en fait qu'à des mosaïques successionales de dégradation.

1. Pourquoi étudier le couvert végétal ?

Recouvrant une très grande partie des continents et premier maillon de la chaîne alimentaire en tant que producteur de matière organique, la végétation est un élément fondamental des écosystèmes terrestres. Les couverts végétaux régulent les échanges d'énergie et de matière à l'interface sol-végétation-atmosphère. Ils puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur développement et leur croissance dans le sol et produisent l'oxygène, via le processus de photosynthèse, indispensable à la vie sur terre (fig. 1).

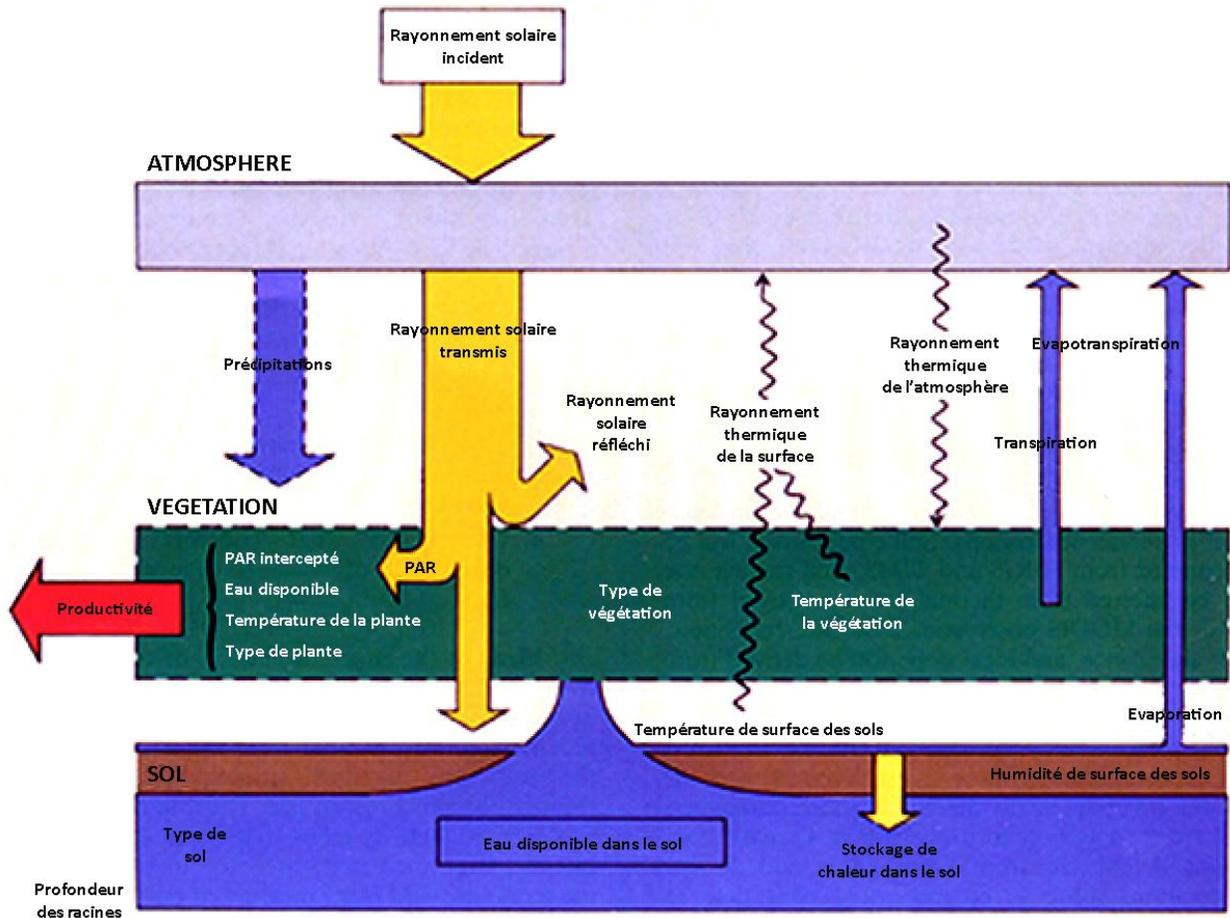


Figure 1 : Les transferts d'énergie à la surface terrestre (NASA, 2011).

Le rayonnement solaire global, somme du rayonnement direct et diffus, est la quantité d'énergie solaire incidente à la surface de la terre pendant une période de temps donnée. Elle est intégrée sur tout le spectre solaire.

Seul le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR, de l'anglais Photosynthetically Active Radiation) dont les longueurs d'onde s'étendent de 400 nm à 700 nm est utilisé par les plantes pour leur croissance. Un paramètre habituel pour estimer l'état d'une plante est sa productivité, fonction à la fois du type de plante, de la fraction du rayonnement solaire incident, de la disponibilité en eau et de l'influence du climat régional.

2. Dynamique du couvert végétal

On entend par « dynamisme de la végétation » les modifications et transformations survenues ou pouvant encore se manifester au sens de la végétation (fig. 2), transformations soit naturelles, soit dues à l'homme, tant dans le sens progressif (évolution) que dans les sens régressif (dégradations) (Guinochet, 1955 in Saidi, 1984).

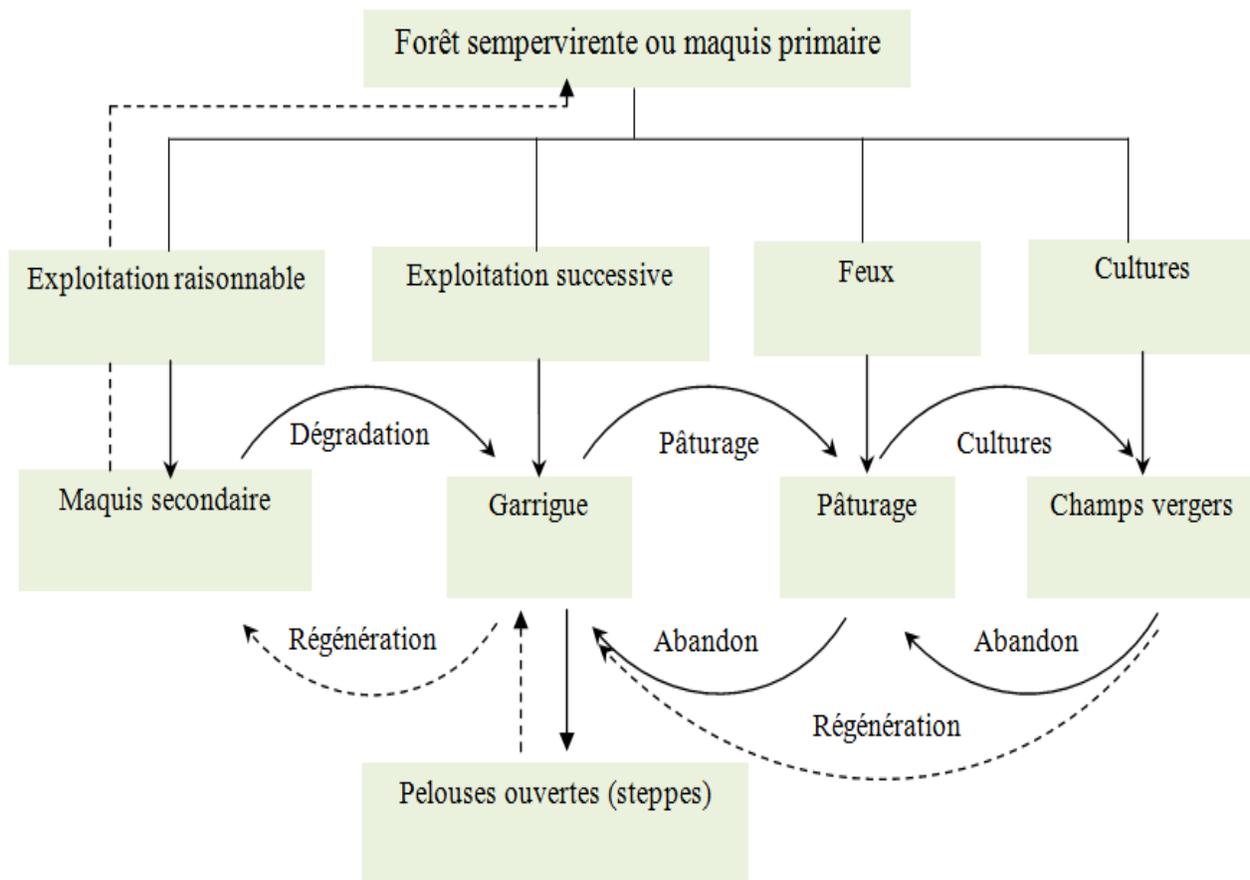


Figure 2 : Etapes de la dynamique des peuplements végétaux soumis à l'action de l'homme en région méditerranéenne (d'après Polunin et Huxley, 1965 in Ammar Khoudja, 1986).

2.1. L'évolution :

L'évolution progressive de la végétation a lieu chaque fois que la cause dégradante disparaît. Lorsque l'action humaine est absente ou moindre, la tendance évolutive des communautés végétales s'explique par une meilleure exploitation des ressources trophiques de l'environnement (Ammar Khoudja, 1986).

Il ya deux types d'évolution du tapis végétal : l'évolution cyclique et l'évolution progressive ou régressive ou évolution linéaire. (Gounot, 1969 in Ammar Khoudja, 1986). L'évolution linéaire, pendant son dynamisme peut ou non passer par les mêmes stades dans les deux sens. (Lemee, 1978 in Ammar Khoudja, 1986).

2.2. La dégradation :

La dégradation (...) de quelque façon qu'elle se soit produite, passe par différentes stades, qui peuvent varier selon l'intensité de la dégradation, la localité géographique où elle se produit (donc avec des aspects floristiques différents et le substrat) (Dajoz, 1971 in Saidi, 1984).

En effet, il a été démontré que chaque écosystème est caractérisé par un seuil de dégradation à partir duquel, même en cas de disparition de la perturbation, le retour à un état antérieur ne peut être que très lent (Ferchichi, 1999). Dans le cas de la steppe algérienne, selon Ferchichi (1994) et Tarhouni et al (2007), quand ce seuil est atteint, le retour vers un écosystème productif nécessite une très forte intervention humaine qui s'appuie sur la réactivation du fonctionnement hydrique du sol, la reconstitution du stock de graines du sol, la réintroduction d'espèces pastorales et aussi la collaboration des agropasteurs.

Selon Gaussen (1952), du point de vue théorique, à n'importe quel stade de dégradation, si la cause qui a provoqué celle-ci vient de disparaître, il peut se produire une reprise évolutive de la végétation vers le stade précédent. D'après le même auteur, la différence entre dégradation et l'évolution progressive consiste surtout dans le fait que, tandis que la première a lieu à brève échéance, la seconde est lente (Gaussen, 1952). Par conséquent, sur le plan pratique, cette évolution peut être presque imperceptible (Saidi, 1984).

La fragilité des écosystèmes méditerranéens et la surexploitation de leurs ressources, rendent ces milieux plus vulnérables. En Algérie, ces écosystèmes connaissent depuis longtemps une dégradation excessive du couvert végétal. Cette dégradation est le résultat conjugué des facteurs naturels et d'actions anthropiques.

3. Facteurs de dégradation du couvert végétal en Algérie

Malheureusement et suite à une longue histoire d'occupation humaine, l'Algérie ne renferme plus à l'heure actuelle, d'écosystème terrestre vierge d'action anthropique. L'action conjuguée de la hache, du feu et du pâturage en forêt a provoqué la transformation des forêts en formations végétales dégradées. Les steppes ont également été considérablement dégradées, par suite du surpâturage et même de mise en culture inadaptée. En conséquence, les communautés végétales propres à ces écosystèmes ou ce qu'il en reste, ne sont plus qu'un pâle reflet de ce qu'elles étaient dans leurs conditions primitives (MICLE, 1997).

Cette destruction progressive est liée à des facteurs anthropiques, quelquefois naturels. La forêt algérienne a perdu 1 815 000 ha entre 1850 à 1955 et 1 215 000 ha entre 1955 à 1997 (DGF, 2004), à cause de plusieurs défis dont les principaux sont :

3.1. La pression anthropique, aggravée par la croissance démographique

Dès que l'homme sut maîtriser le feu, puis pratiquer l'élevage et l'agriculture, il devient alors sédentaire et commença de modifier la végétation (Saidi, 1984).

3.1.1. Les incendies :

Si le feu n'est qu'un phénomène physico-chimique, l'incendie est une combustion qui échappe au contrôle de l'homme, aussi bien dans l'espace que dans le temps. D'après Merlet (2007), à titre de préalable, on notera ici qu'en termes d'espace la convention veut que l'on parle d'incendie de forêt lorsque le feu concerne une surface minimale d'un hectare d'un seul tenant, et qu'une partie au moins des étages arbustif (ligneux bas) et/ou arboré (ligneux hauts) est détruite.

Le passage du feu bouleverse les conditions écologiques du milieu et élimine de nombreuses espèces végétales et animales. Les paysages végétaux des régions méditerranéennes sont profondément marqués par son empreinte (Ramade, 1976 in Ammar Khoudja, 1986). C'est le facteur de dégradation le plus ravageur de la forêt. De fait, et compte tenu des enjeux environnementaux, humains et économiques que cela implique, l'aléa « feu de forêt » est considéré en Algérie comme un risque naturel majeur.

Galtie (1997) confirme que « Chaque été méditerranéen les feux de forêt (...) n'en finissent pas de jouer une partition familière, attendue et redoutée ». Abdelguerfi et Ramdane (2003), ajoutent qu'en Algérie, les forêts, les reboisements, les maquis et les garrigues occupent une superficie d'environ 4000 000 d'ha, Ces surfaces sont connues pour leurs sensibilités aux incendies qui restent très fréquents en période estivale, selon Khader et al (2009), les incendies détruisent annuellement plus de 30 000 ha. Il en résulte selon Missoumi et Tadjerouni (2003) de très lourdes charges pour la société toute entière, pour l'Etat et les collectivités locales en particulier.

Arfa Azzedine (2008) note que malgré les capacités de régénération de la forêt, les incendies représentent un véritable fléau auquel très peu d'espèces peuvent résister. Pour sa part, Meddour-Sahar (2008) précise que la période coloniale a été fatale, comme on le sait, pour notre patrimoine forestier. En effet, une surface cumulée de 3 506 942 ha a été parcourue par le feu, sur une période de 87 ans (1876-1962), soit une moyenne de 41 258 ha/an. Selon Khader et al (2009), depuis 1963 à nos jours la forêt algérienne enregistre un chiffre de 1.321.995ha de superficie incendiée.

La moyenne des différents programmes de reboisement depuis 1963 qui est de 26 000 ha/an ne peut équilibrer ces pertes, même si le taux de réussite de ces actions est de 100%, ce qui n'est malheureusement pas le cas (MATE, 2003).

Abdelguerfi et Ramdane (2003) notent que "l'homme est le facteur le plus imprévisible, la majeure partie des incendies lui sont imputée" et ajoutent que "le meilleur moyen de le contrecarrer c'est de l'associer en le faisant bénéficier des produits de la forêt. C'est le moyen le plus efficace pour réduire les feux de forêts. Là où la forêt n'assure plus de fonction économique, elle n'est plus entretenue et brûlée fréquemment".

3.1.2. Le surpâturage :

Il correspond, selon Abdelguerfi et Ramdane (2003), à une surcharge et à un trop long séjour du cheptel sur les parcours se traduisant par un prélèvement annuel d'une quantité d'unités fourragères supérieure à la production de ces parcours.

Le surpâturage est généralement considéré comme une cause essentielle de la dégradation des écosystèmes naturels (Le Houerou, 1968 in Cherifi et Bouzidi, 2008). Le piétinement répété des troupeaux, le broutement, le dépôt d'excréments qu'ils provoquent peuvent inhiber, d'après Ammar Khoudja (1986), la croissance des végétaux. Selon le même auteur, ces facteurs en exerçant une action mécanique sur le sol favorisent l'érosion qui crée des plages dénudées plus ou moins étendues. De ce fait, il ya déclenchement d'une série régressive de la végétation. Et ainsi, une expansion de certaines associations végétales s'installe aux dépends d'autres.

En Algérie, les éleveurs préconisent le pâturage libre du bétail, sans limitation de la densité de charge et sans clôtures (Montero et Canellas, 1998). En effet, et comme le signale Benabdeli (1996), nos forêts sont souvent sollicitées par les pasteurs comme source d'appoint pour l'alimentation du bétail. Cela se traduit selon Le Houerou (1980) par une réduction du couvert végétal imposé par piétinement de l'animal. Il s'agit aussi d'un aspect important qui est l'appétence des espèces broutées. A ce sujet, Bouazza (1990) souligne que les animaux choisissent les espèces et par conséquent, imposent à la biomasse consommable offerte une action sélective importante.

Selon Arfa Azzedine (2008), le surpâturage contribue pour une bonne part à la dégradation du couvert végétal, principalement dans les écosystèmes fragiles les conduisant à la désertification. On estime en Algérie que les parcours et les sols dégradés s'étendent actuellement sur au moins 7 millions d'hectares. En 70 ans la nappe d'alfa a régressé de moitié.

Selon le même auteur, on dénombre en forêts algériennes 960 000 bovins, 600 000 caprins et 4,2 millions d'ovins. Des études montrent que la charge pastorale est au moins quatre fois supérieure aux capacités d'équilibre.

Le surpâturage pose le problème numéro un de la sylviculture algérienne et l'on doit affirmer tout de suite de la façon la plus absolue, que sur le double plan biologique et de la production forestière, il est une cause de déséquilibre ou sous production et de dommages (Ammar Khoudja, 1986). D'après la même source, la chèvre est pratiquement le seul ruminant domestique à pouvoir se développer à partir des fourrages ligneux exclusivement : d'où son adaptation et sa prolifération dans le maquis.

Cherifi et Bouzidi (2008) notent que l'impact du surpâturage sur la végétation est important aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif :

- Sur le plan qualitatif, les bonnes espèces appétibles sont consommées avant d'avoir eu le temps de former des repousses pour les saisons à venir et elles disparaissent totalement en laissant la place à des espèces non palatables telles que *Asphodelus microcarpus* ;

- Sur le plan quantitatif, le surpâturage provoque une diminution du couvert végétal pérenne qui voit sa densité diminuée avec le temps.

Dans la région d'étude, le surpâturage au niveau des pentes des collines a causé beaucoup de ravinement. En ces endroits, il ne subsiste qu'une maigre végétation.

3.1.3. Les coupes de bois :

En Afrique, l'extraction du bois de feu a bondi du fait de l'augmentation de la population régionale (FAO, 2011). Abdelguerfi et Ramdane (2003) confirment que l'état actuel de la dégradation des peuplements forestiers en Algérie montre que la végétation ligneuse a été surexploitée, suite à la hausse des prix du bois, les coupes illicites de bois de chauffage, de bois d'œuvre pour la construction et de bois d'ébénisterie sont en augmentation. Arfa Azzedine (2008) ajoute que ces coupes touchent les arbres ayant les meilleures caractéristiques phénotypiques et génétiques et éliminent les meilleurs porteurs de graines.

Malgré des efforts et des campagnes de reboisement réalisées annuellement depuis l'indépendance, le taux de boisement en Algérie se situe entre 10 et 12%. Le couvert végétal est agressé par les actions négatives de l'homme causées des coupes.

3.1.4. Le tourisme :

le tourisme et les usages récréatifs qui nécessitent l'aménagement de voies de circulations, de stations... augmentent les risques d'incendies et affectent les zones boisées.

3.1.5. Les défrichements :

Selon la FAO (2002), si le défrichement a existé depuis l'époque romaine, il s'est accéléré durant la colonisation et continu de se pratiquer à nos jours. Il a pour origine l'extension de la céréaliculture qui constitue l'activité la plus importante après l'élevage. Abdelguerfi et Ramdane (2003) ajoutent que ce dernier est accentué par développement de la mécanisation.

D'après Arfa Azzedine (2008), les populations montagnardes, privées de surfaces agricoles et marginalisées procèdent à des labours à la lisière des forêts. Ces pratiques, outre qu'elles ont un effet désastreux sur les sols, provoquent des antagonismes permanents entre les riverains et l'administration forestière guidée par un souci de protection des forêts. Abdelguerfi et Ramdane (2003), signalent que la culture des céréales se fait de façon anarchique, ne tenant compte ni du couvert végétal existant, ni des conditions de sols et de climats. Il s'agit d'une agriculture épisodique et itinérante dont les rendements sont insignifiants. D'après Saidi (1984), l'incendie est le moyen le plus simple et le plus rapide pour détruire le maquis et faire place à de nouveaux pâturages ou de nouvelles cultures.

La végétation et le sol évoluent parallèlement au cours de temps. Il existe, selon Ammar Khoudja (1986), une relation étroite entre les associations végétales et les conditions édaphiques. Si la nature du sol influe bien sur la composition floristique, réciproquement, il ne peut y avoir de pédogénèse sans le concours de la végétation. Il est important de retenir qu'il y'a une réciprocité d'action entre le sol et la végétation et on a trop tendance à l'oublier.

« La méconnaissance du rôle de la végétation sur le sol est assez répandue et se trouve à l'origine de regrettables erreurs ». (Guinochet, 1973 in Saidi, 1984).

3.2. L'application de techniques inappropriées :

3.2.1. Sylviculture :

L'application des coupes rases, des techniques des fortes éclaircies et du traitement du taillis simple et de la futaie régulière engendre une perturbation profonde des écosystèmes forestiers, dans la mesure où ces pratiques entraînent une modification radicale dans les structures et architectures, ainsi que dans les conditions microclimatiques et édaphiques (Arfa Azzedine, 2008).

En Algérie, les travaux forestiers, tels que le démasclage, l'élagage, les coupes et les opérations de reboisement, sont confiés à des entreprises qui recrutent des ouvriers non spécialisés. Les travaux mal entrepris ont des impacts nocifs sur le plan de la conservation des forêts et de la reforestation. Selon la même source (Arfa Azzedine, 2008), les coupes rases des peuplements forestiers, par exemple, engendrent un changement radical du microclimat, une minéralisation rapide de l'humus, une destruction de la structure du sol, un lessivage des éléments nutritifs, une aridification et une érosion du sol,... d'où une forte diminution de la productivité ligneuse, un vieillissement précoce et un dépérissement sur pied du peuplement forestier sans être renouvelé par régénération naturelle. C'est bien le phénomène de la « désertification ».

Lorsqu'elles ne sont pas bien dosées, les coupes d'éclaircies et les opérations de nettoyage des forêts conduisent, elles aussi, aux mêmes résultats que les coupes rases. Elles détruisent les structures d'équilibre et les appauvrissent considérablement.

3.2.2. Agriculture :

En Algérie, la moitié environ de la S.A.U. est mise en jachère mettant momentanément les sols à nu. La S.A.U. par tête d'habitant estimé à 0,25 ha (1998), atteindra le chiffre inquiétant de 0,15 ha en 2020. En zone aride, les mises en culture représentaient 1,1 million ha en 1968 et ont atteint plus de 3,5 millions ha en 2002. A l'est du pays, la mise en culture est pratiquée sur de grandes étendues, il ne reste que quelques lambeaux de steppe. Au centre, la situation est alarmante. Dans les steppes occidentales, les terres emblavées sont relativement moindres (MATE, 2003).

Les utilisations non raisonnées de certains outils, équipements et technique agricoles sur des sols en pente ou fragiles et le recours au défrichage en vue d'élargir les superficies agricoles, ont souvent provoqué les résultats inverses à ceux escomptés. De même que la réalisation de certaines cultures ou plantations arboricoles mal adaptées au sol (MATE, 2003). Abdelguerfi et Ramdane (2003) notent que comme tout moyen de production, la terre s'use et demande à être récapitalisée.

3.3. Le braconnage et l'extermination de la faune sauvage :

3.3.1. Le non respect de la réglementation et de la législation forestière : écimage des arbres, le ramassage des menus-produits ...etc.

3.4. Les attaques parasitaires liées à la dégradation :

D'après Arfa Azzedine (2008), le dépérissement des forêts par l'attaque de parasites (fig.3) touche essentiellement la pineraie à pin d'Alep mais aussi d'autres essences telles que le cèdre, le chêne et le thuya. Un réseau de postes d'observation dans les zones infestées permet le suivi du cycle du parasite et des conséquences de ses attaques sur l'hôte.

En Algérie, selon le même auteur, des dépérissements d'arbres par d'autres parasites que la chenille processionnaire « *Thaumetopoea pityocampa* » (chêne-liège, eucalyptus, pin d'Alep), *Phoracanta semi punctata* et *Lymantria dispar* sont constatés.

A travers les dernières statistiques de la FAO (2010), les chiffres concernant les maladies ont été estimés sur la base des rapports établis par la Direction Générale des Forêts et le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Le principal insecte ravageur des forêts est sans doute la chenille processionnaire du pin. La superficie infestée entre 2003 et 2007 est estimée à 1.077.350 ha, soit une moyenne annuelle de 215 470 ha. Selon la même source, la diminution des superficies touchées par les maladies s'explique par le fait qu'un dispositif important a été mis en place pour lutter contre les différentes maladies et attaques parasitaires notamment contre la chenille processionnaire du Pin. Il est à noter que durant les années 2004 et 2005, le dispositif de la DGF a vu ses capacités orientées plutôt vers la lutte anti acridienne.



Figure 3 : Le modèle de dépérissement et attaques parasitaires des arbres forestiers (Thabet, 2008).

L'ensemble de ces facteurs défavorables à l'épanouissement des écosystèmes végétaux concourent à:

- La surexploitation des matières premières d'origine végétale ;
- La dégradation des peuplements forestiers ;
- L'absence de la régénération naturelle ;
- Peu de réussite des surfaces reboisées ;
- La mise en péril de la diversité biologique ;
- Les pollutions des eaux suite à l'usage des pesticides, ce qui entraîne la mortalité de certaines plantes ;
- La réduction en superficie des espaces générateurs d'emplois et de ressources de vie pour les populations rurales riveraines de la forêt ;
- L'érosion et la désertification ;
- L'envasement des plans d'eau.

En Algérie, l'action anthropique reste le principal facteur de dégradation du couvert végétal. La conservation de ce dernier est essentielle pour assurer la pérennité d'un patrimoine génétique en espèces et sous espèces essentielles pour l'avenir.

4. Le besoin d'un outil d'observation synoptique

L'étude de la végétation est l'une des préoccupations essentielles à l'heure actuelle en raison de son intérêt en tant que ressource biologique. La surveillance de la dégradation des milieux naturels s'appuie inévitablement sur des études diachroniques afin de déceler les changements physiques et biologiques qui affectent les composantes de ces paysages. La dégradation, et inversement la restauration de ces derniers, se traduisent, sur le terrain, par des modifications des composantes de la surface du sol, y compris la végétation.

Dans la quête d'indicateurs de cette dégradation et/ou restauration, nous nous sommes penchés sur l'apport des données satellitaires dans la détection et dans la compréhension des changements. En partant des spécificités que présentent les images satellites et les méthodes de traitement associées, nous allons essayer d'identifier et de caractériser la dynamique de la végétation observée sur le terrain.

II. Télédétection du couvert végétal

Introduction

La télédétection se révèle être un outil tout à fait approprié pour étudier le fonctionnement et suivre l'évolution de la végétation. Grâce aux satellites il est possible en effet de cartographier les couverts végétaux à des échelles de temps et d'espace très variées. Selon UVED (2008), ils permettent en outre d'estimer le rayonnement solaire global, ainsi que certains paramètres caractéristiques des couverts végétaux, comme la quantité de biomasse, ou la fraction du rayonnement photosynthétique actif. Outils d'une meilleure compréhension des processus physiques et biologiques qui gouvernent la dynamique des écosystèmes végétaux, les données de télédétection peuvent aussi être utilisées pour s'informer sur les conséquences d'éventuels changements de la répartition des couverts végétaux, de façon à mettre en place des solutions de gestion plus durables.

1. Qu'est-ce que la télédétection ?

« C'est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans aucun contact matériel avec ceux-ci ». (*Journal Officiel du 11 décembre 1980* in Boulerie, 2008).

Autres définitions :

« C'est l'ensemble des connaissances et techniques nécessaires pour interpréter divers "objets" par leurs comportements spectraux (lumière et couleur) et leurs distributions dans l'espace terrestre à l'aide de mesures spécifiques effectuées à distance » (Boulerie, 2008).

Elle permet, selon Soudani (2005), à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phytomasse, matière organique du sol,...), etc.

En outre, la télédétection constitue le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un capteur, et consiste à mesurer un signal électromagnétique émis ou réfléchi par une cible.

A travers CPS (2011) "La télédétection est un moyen de recueillir des informations concernant la surface de la terre sans être en contact direct avec elle. La télédétection consiste à recevoir et enregistrer l'énergie émise ou réfléchie par la surface de la terre. Elle suppose donc l'existence d'une source d'énergie électromagnétique, d'une cible et d'un capteur. La source peut être le soleil ou un satellite, selon le type d'énergie à capter" :

-La télédétection passive repose sur l'énergie naturelle – la lumière du soleil, par exemple – qui est réfléchie par la surface de la terre, ou la chaleur émise à partir de la surface de la terre.

- La télédétection active utilise l'énergie émise par des satellites et renvoyée aux satellites par la surface de la terre.

Elle a pour rôle de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (Marc Robin ,2002).

2. Domaines de la télédétection

Si à la base les applications étaient plutôt militaires, de nombreuses disciplines utilisent les images satellites (Tableau I).

Tableau I : Domaines de la télédétection.

Domaines	Exemples d'applications
Géosciences	Géologie, pédologie, géomorphologie...
Météorologie	Vitesses des vents, précipitations, températures, détection des cyclones, orages...
Océanographie	Couleur de l'eau, turbidité, hauteur des vagues, courant marin, phytoplancton, pollution marine...
Foresterie	Couverture forestière, santé des forêts, impacts après ouragans...
Cadastre / Urbanisme	Couverture du sol, urbanisation, contrôle des autorisations (piscines, zones bâties...)
Agriculture	Identification des plantations, évaluation de la production...
Environnement	Etudes d'impact, détection des changements...
Biologie / Ecologie	Classification des types de végétaux, étude du corail, cartographie des habitats...
Télécommunication	Carte de répartition des antennes de téléphonie mobile...
Hydrologie	Comportements de l'eau à la surface du sol et dans le sol, cycle de l'eau...
Archéologie	Cartographie des sites archéologiques
Santé	Prévision des épidémies, relations avec les changements globaux...
Humanitaire	Pré-alerte de famines : réfugiés (camps)...
Catastrophes environnementales	Feux de forêts, éruptions volcaniques, sécheresses, marées noires...
Changements globaux	Désertification, variation climatiques, compositions de l'atmosphère...

Source : UNIGE (2004), Peduzzi (2009).

3. Traitements en télédétection :

D'après UVED (2008), l'observation de la Terre par les satellites peut être décomposée en cinq étapes ou processus, depuis la source d'énergie qui éclaire la surface terrestre jusqu'à la réception des données par la station satellite au sol (fig.4).

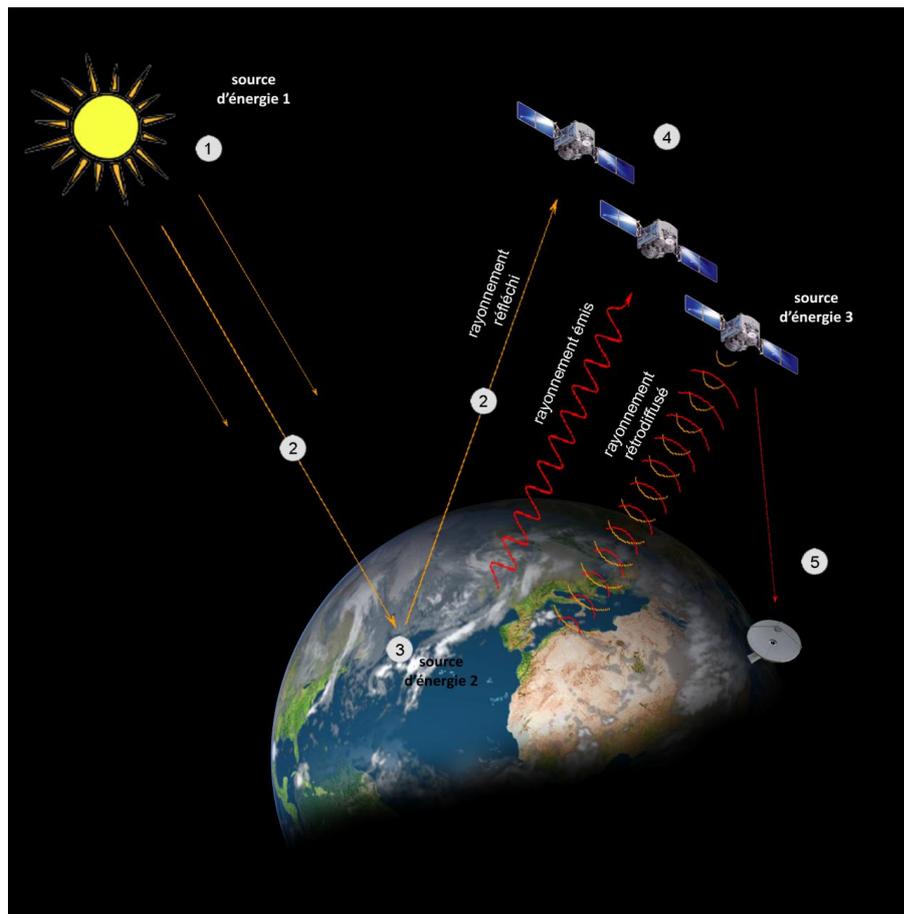


Figure 4 : Télédétection à l'aide des satellites (UVED, 2008).

3.1. La source d'énergie

Trois sources d'énergie sont utilisées en télédétection à savoir le soleil, la surface terrestre (domaine thermique ou celui des micro-ondes passives) et le capteur satellite (domaine des hyperfréquences).

3.2. Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère

Lors de son trajet de la source d'énergie vers la surface terrestre, puis de la surface vers le capteur satellitaire, le rayonnement interagit avec l'atmosphère.

3.3. Les interactions du rayonnement avec la surface terrestre

Lorsque le rayonnement parvient à la surface de la Terre, il va interagir avec celle-ci. La nature des interactions est fonction à la fois du rayonnement et des propriétés spectrales des surfaces.

3.4. L'enregistrement du signal par le capteur satellitaire

L'énergie réfléchi, émise ou rétrodiffusée par la surface de la Terre est captée puis enregistrée et discrétisée au niveau du capteur satellitaire.

3.5. La transmission et la réception des données

Une fois l'énergie reçue par le capteur, elle est transmise vers une station de réception et de traitement où elle est convertie en données numériques (CPS, 2011).

4. Le rayonnement électromagnétique : nature et propagation

La télédétection spatiale permet d'observer le système « terre /océans /atmosphère » en s'appuyant sur des méthodes d'acquisition de l'information à distance basées sur les propriétés du rayonnement électromagnétique. Les capteurs satellitaires permettent de mesurer l'énergie réfléchie et/ou émise par la surface de la terre, les océans ou par l'atmosphère et donc d'analyser et de suivre l'évolution de ces milieux au cours du temps (UVED, 2008).

4.1. Définition :

Le rayonnement électromagnétique correspond à l'ensemble des radiations émises par une source, sous forme d'ondes électromagnétiques, la répartition de ces dernières en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie, représente « le spectre électromagnétique » (fig.5).

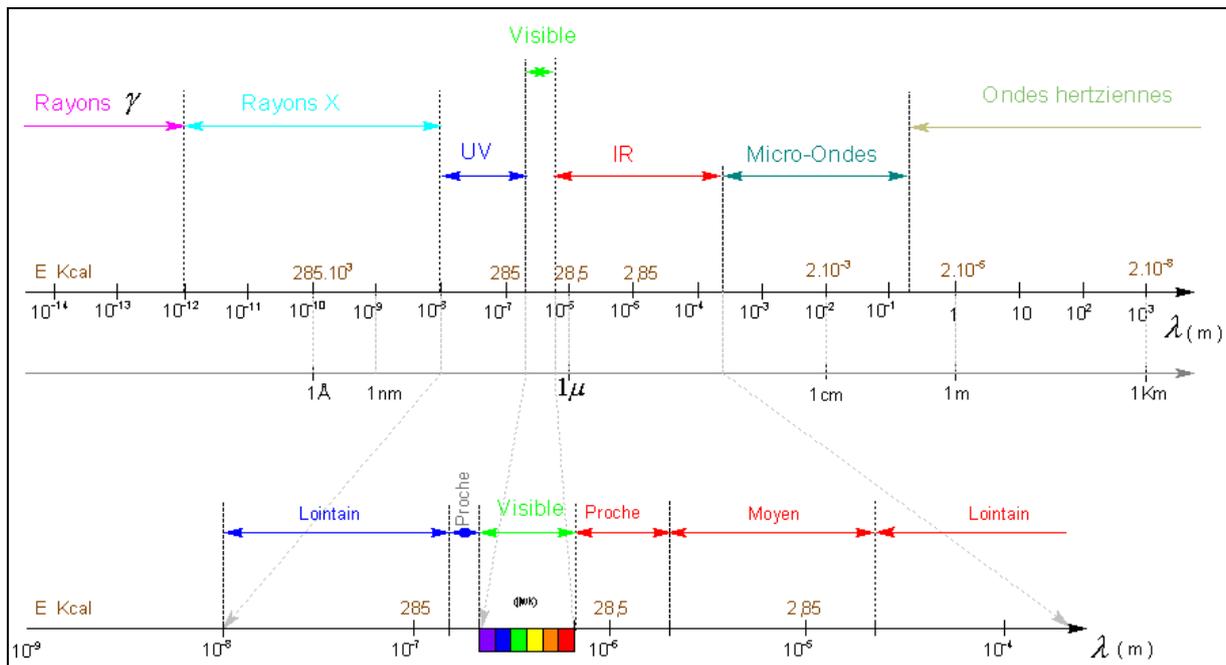


Figure 5 : Spectre électromagnétique (Moquet, 2003).

Le spectre électromagnétique est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Ainsi, lorsque la lumière passe à travers un prisme, elle se décompose en plusieurs couleurs constituantes (principe de l'arc-en-ciel). Si on applique cette division en fréquences constituantes à l'ensemble du rayonnement électromagnétique, on obtient le spectre électromagnétique complet. Les longueurs d'ondes vont alors de quelques nanomètres à plusieurs milliers de kilomètres (UVED, 2008).

En partant des ondes les plus énergétiques, on distingue successivement :

- **Les rayons gamma (γ)** : dus aux radiations émises par les éléments radioactifs. Longueur d'onde : 10^{-14} m à 10^{-12} m.
- **Les rayons X** : Longueur d'onde : 10^{-12} m à 10^{-8} m.
- **Les ultraviolets** : Longueur d'onde : 10^{-8} m à $4 \cdot 10^{-7}$ m.

- **Le domaine visible** : C'est dans ce domaine que le rayonnement solaire atteint son maximum ($0,5 \mu\text{m}$). Longueur d'onde : $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ (*lumière bleue*) à $8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ (*lumière rouge*).
- **L'infrarouge** : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C). Longueur d'onde : $8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ à 10^{-3} m .
- **Les ondes radar ou hyperfréquences** : Le domaine des hyperfréquences s'étend sur des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre jusqu'au mètre.
- **Les ondes radio** : Concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km.

Contrairement à l'œil humain qui n'est capable de capter le rayonnement que dans une fenêtre très étroite du spectre électromagnétique ($0,4\mu\text{m}$ et $0,7\mu\text{m}$), les capteurs satellitaires utilisent une fraction beaucoup plus étendue (fenêtres spectrales) (fig. 6):

- Le domaine du visible ;
- Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen et IR thermique) ;
- Le domaine des micro-ondes ou hyperfréquences (télédétection RADAR).

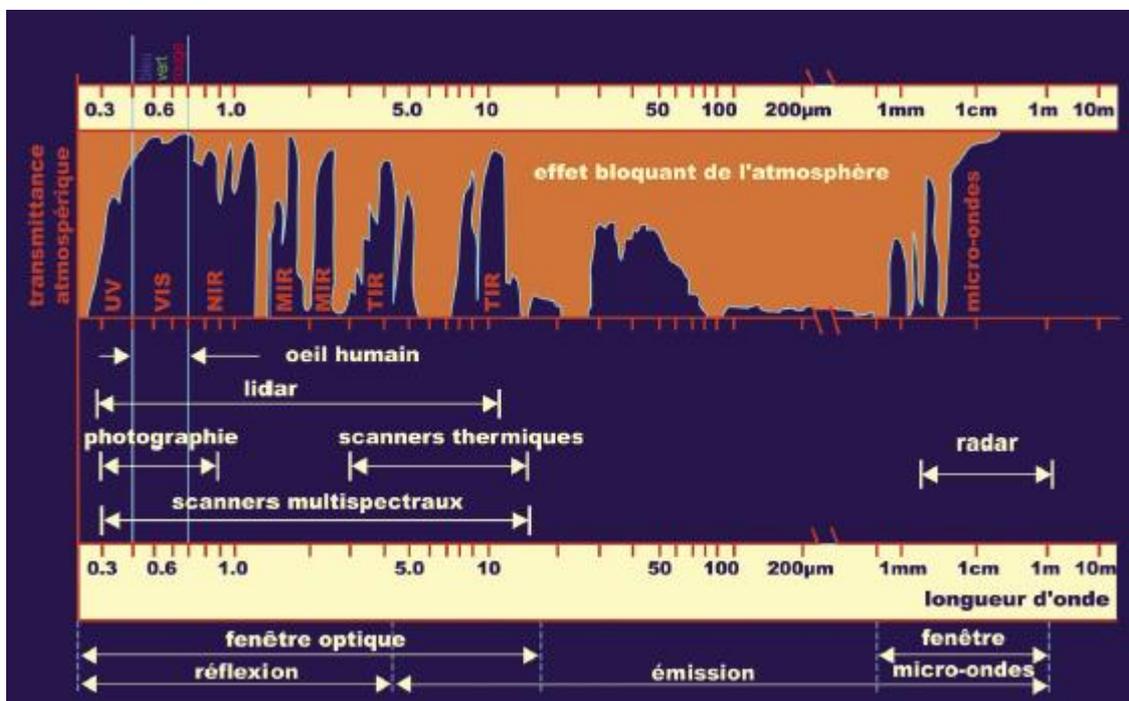


Figure 6: Fenêtres atmosphériques (Lillesand et al, 2004).

Les fenêtres atmosphériques sont des régions du spectre électromagnétique qui ne sont pas absorbées de façon importante par l'atmosphère et qui sont utiles pour la télédétection.

5. Interactions du rayonnement électromagnétique :

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique atteint un objet, certaines longueurs d'onde sont absorbées tandis que d'autres sont réfléchies par l'objet. Une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise à travers l'objet si celui-ci est plus ou moins transparent, avec un changement de direction de la propagation du à la réfraction. La partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur qui sera réémise sous forme d'un rayonnement à une plus grande longueur d'onde.

Tout rayonnement (fig. 7), affectant une matière donnée, est absorbé, réfléchi ou transmis de façon à répondre à la relation :

$$\alpha + \tau + \rho = I.$$

Où :

α = Absorption ;

τ = Transmission ;

ρ = Réflexion.

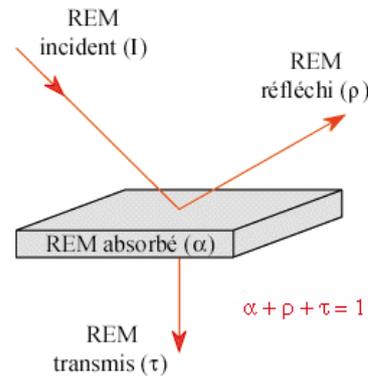


Figure 7 : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière « absorption, réflexion, transmission » (Bonn et Rochon, 1993).

6. Signatures spectrales des principales surfaces naturelles

En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible. Chaque surface possède ainsi une signature spectrale (quantité d'énergie émise ou réfléchi en fonction de la longueur d'onde) qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles.

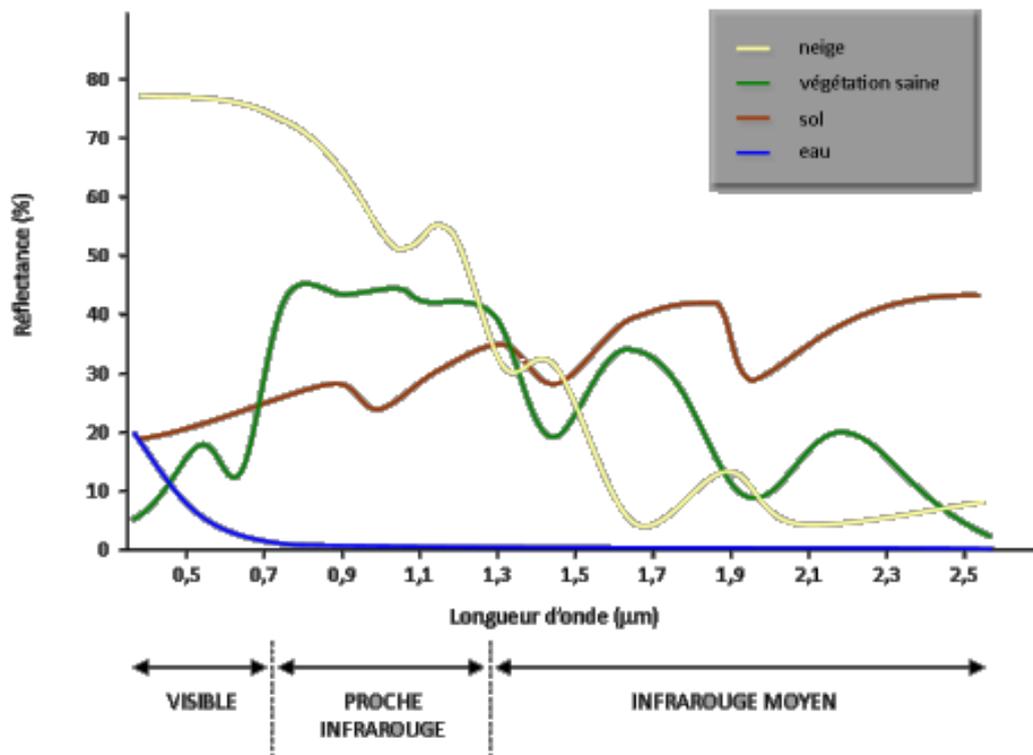


Figure 8 : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (UVED, 2008).

6.1. Signature spectrale des sols

En ce qui concerne la signature spectrale des sols, selon UVED (2008), on note un accroissement régulier de la réflectance au fur et à mesure qu'on se déplace vers les grandes longueurs d'onde. Les discontinuités que l'on observe dans le proche infrarouge et l'infrarouge moyen sont dues aux bandes d'absorption de l'eau. L'étude des propriétés spectrales des sols est toutefois particulièrement complexe car elle doit tenir compte de la nature hétérogène du sol qui contient à la fois des matières minérales et organiques, mais aussi une composante liquide, tous ces éléments vont influencer la réflexion du rayonnement.

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. 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).

6.2. Signature spectrale de l'eau

L'eau a une réflectance très faible dans toutes les longueurs d'onde, elle absorbe cependant un peu moins les ondes les plus courtes, d'où sa couleur bleue. Sa signature spectrale dépend à la fois des molécules qui la constituent, mais aussi des éléments dissous ou en suspension dans la colonne d'eau, comme les organismes phytoplanctoniques, les sédiments ou les substances jaunes (Gower *et al.*, 1988).

6.3. Signatures spectrales de la végétation :

Comme nous pouvons le constater sur la figure 08, et selon Moquet (2003), la végétation en générale possède une réflectance :

- Très faible dans le rouge (~660nm) et le bleu (~450nm) ;
- Faible dans le vert (~546nm) ;
- Élevée dans le proche infrarouge (0,7-1 μ m).

Ces valeurs peuvent varier en fonction de la teneur en eau de la plante, de la structure des feuilles, de leur densité, âge...(Guyot, 1984).

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.

6.3.1. Variations de la signature spectrale de la végétation :

Lorsqu'on étudie la végétation par télédétection, les variations de la réflectance mesurées au niveau du capteur satellitaire sont, non seulement liées à la structure des formations végétales, mais aussi aux propriétés optiques des feuilles.

6.3.1.1. Caractérisation de la structure d'un couvert végétal

La structure d'un couvert végétal 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 (fig.9).

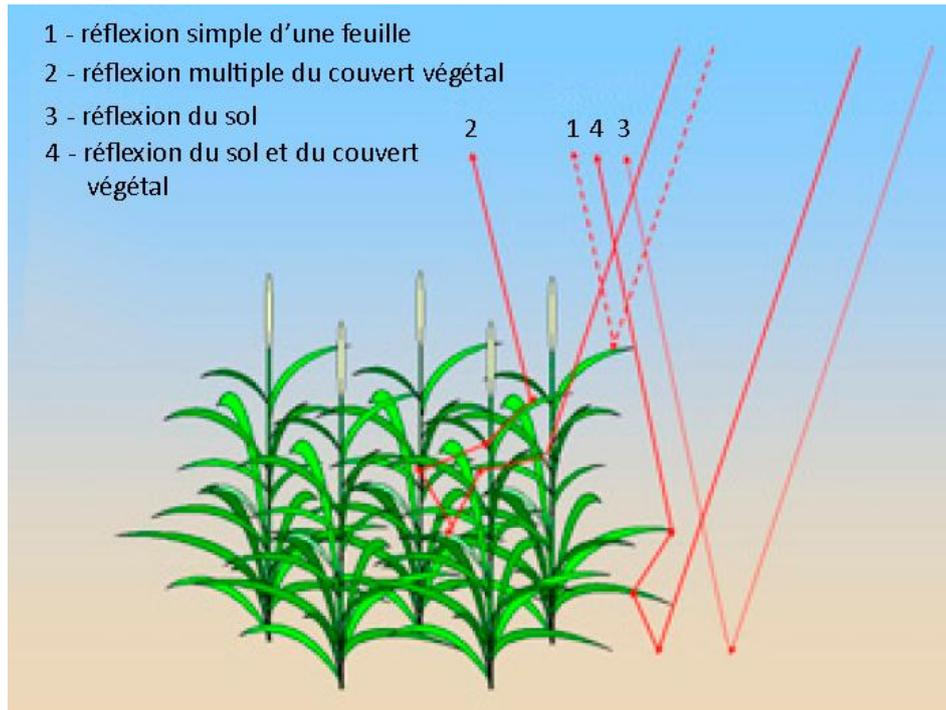


Figure 9 : Illustration des interactions entre le sol et la végétation, intégrées au niveau de la mesure satellitaire (d'après Fensholt, 2003).

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 (Huete, 1989).

6.3.1.2. Les propriétés optiques des feuilles :

Selon UVED (2008), les propriétés optiques des feuilles sont reliées à leurs caractéristiques biochimiques (teneur en pigments, structure cellulaire, teneur en eau, état physiologique, *etc.*) qui correspondent aux grands domaines spectraux du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (fig.10) :

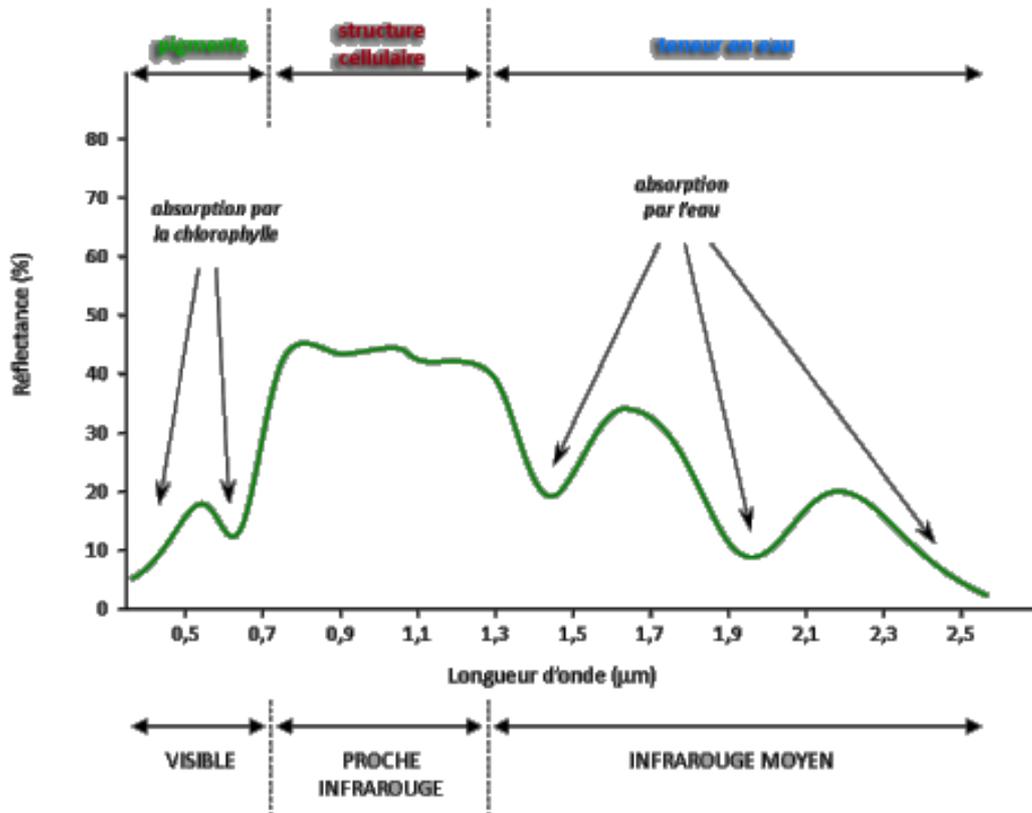


Figure 10 : Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen (UVED, 2008).

6.3.1.2.1. Les pigments foliaires

La présence des pigments foliaires dans les végétaux est responsable de la forte absorption du rayonnement visible, avec un maximum relatif de réflectance autour du vert (550 nm).

6.3.1.2.2. La structure cellulaire des feuilles

La structure anatomique des feuilles joue un rôle très important dans la signature spectrale de la végétation. Les longueurs d'onde bleue et rouge sont absorbées par la chlorophylle, les verts sont très faiblement réfléchies par la feuille, le rayonnement PIR est fortement réfléchi par le parenchyme lacuneux (Adapté d'après Jensen, 2000), il est d'autant mieux réfléchi que ce dernier est bien développé (fig.11).

La réflectance dans les bandes rouges et proche infrarouge est 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.

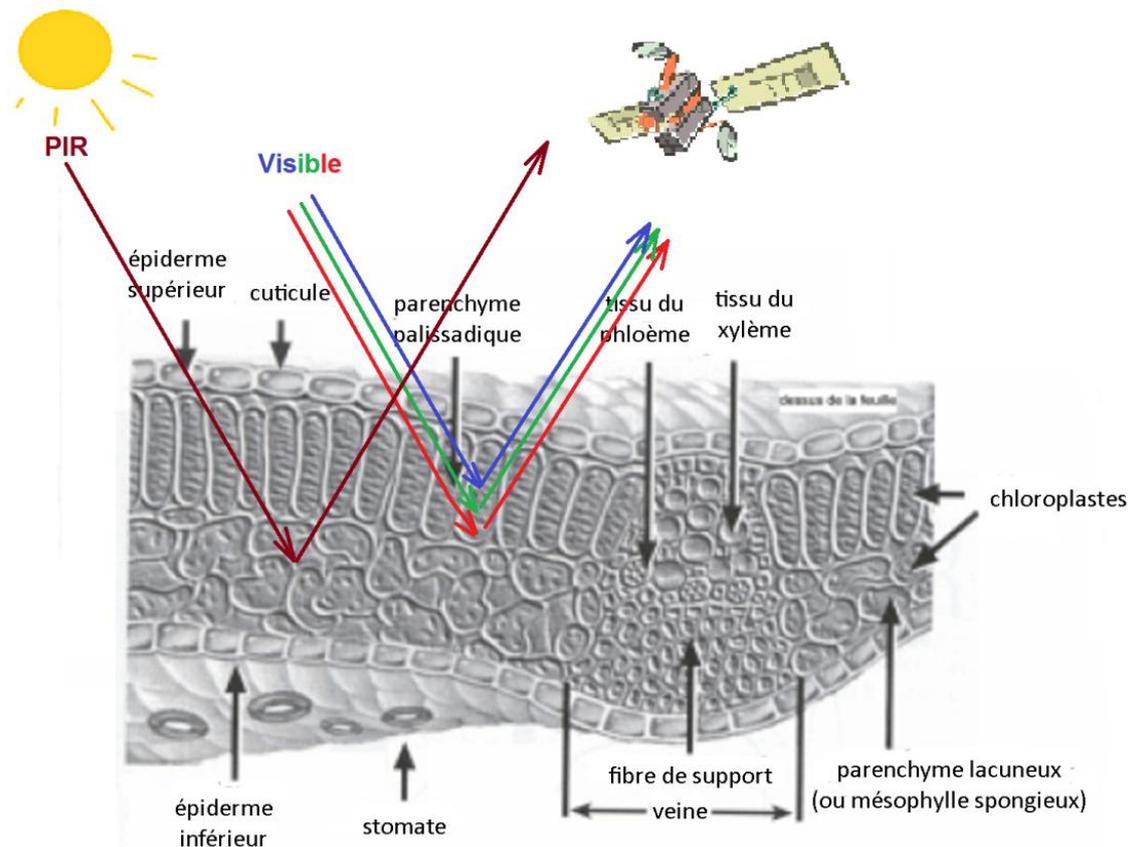


Figure 11 : Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale.

6.3.1.2.3. L'influence de la teneur en eau :

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 (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.

Limites :

A côté des facteurs propres aux couverts végétaux, d'autres types de facteurs externes aux ceux-ci, vont également avoir une influence sur la réponse spectrale de la végétation. Il s'agit en particulier de l'*angle solaire* (position et hauteur du soleil), l'*angle de visée* (plus l'angle de visée est important, plus la proportion de sol nu visible diminue) et l'*atmosphère* (teneur en poussières et aérosols).

6.3.1.3. Autres types de variations de la signature spectrale :

La réflectance de la végétation varie non seulement en fonction des types de végétation (fig.12), mais également selon l'état physiologique d'une plante (fig.13).

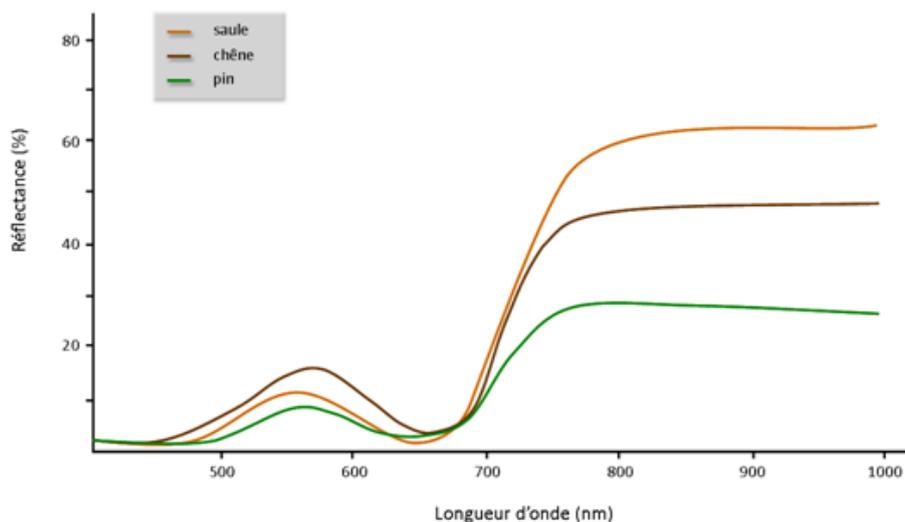


Figure 12 : Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation (UVED, 2008).

La signature spectrale de la végétation dans le visible ne varie pratiquement pas quelque soit le type de végétal. On note des différences sensibles dans le proche infrarouge, liées à la structure du parenchyme lacuneux, où les résineux ont une réflectance moins importante que les feuillus.

Les changements physiologiques qui accompagnent la croissance d'une plante, depuis la phase de maturation jusqu'à sa sénescence, influent fortement sur la signature spectrale de la végétation (fig.13).

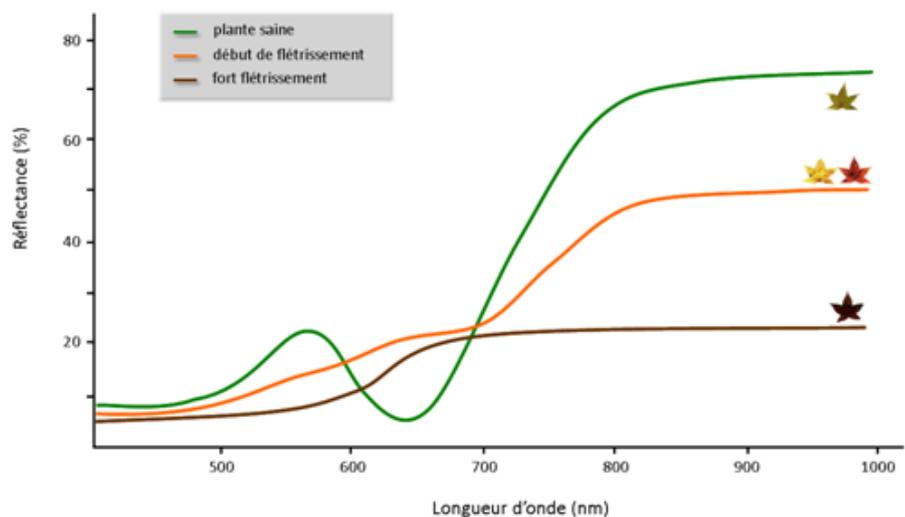


Figure 13 : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation (UVED, 2008).

On observe une sensible augmentation de la réflectance dans les grandes longueurs d'onde du visible (jaune - rouge), résultat de la réflectance des pigments foliaires, et une diminution de la réflectance dans le proche infrarouge (état de plasmolyse, entraînant une déstructuration des couches cellulaires).

Remarque : On va parler de comportement spectral de la végétation au lieu de signature spectrale pour bien montrer que la réflectance de la végétation n'est pas constante.

7. Analyse d'une image

L'étude de la dynamique du couvert végétal est axée sur la bonne représentation des unités principales sur une image. Leur variation hétérogène spatiale, spectrale et temporelle exige de les présenter de façon homogène pour mieux interpréter les objets d'une image et tout un processus de changement observé. Cette représentation dite « classification » est utilisée pour la production de cartes thématiques où elle offre une analyse plus détaillée de l'image. Elle peut être effectuée sur un ou plusieurs canaux d'une image pour séparer les divers éléments d'une image en fonction de leurs caractéristiques de rétro diffusion ou de signature spectrale. En traitement numérique des images, on distingue :

7.1. Classification non supervisée :

C'est classer les données d'image numérique, par traitement informatique basé uniquement sur les statistiques d'image sans recours à des échantillons d'entraînement. Cette classification produit un regroupement naturel des pixels de l'image que l'on nomme "regroupement spectral" ou "classe", (les régions de l'image ayant une même signature spectrale ont un type d'utilisation du sol similaire). L'analyste doit ensuite déterminer l'identité de ces regroupements spectraux. Les principaux algorithmes de classification non dirigée sont : le regroupement par moyenne-K (K-means), le regroupement par ISODATA (Girard, 1989).

7.2. Classification supervisée :

Procédure utilisée pour l'identification de zones «spectralement similaires » d'une image. On identifie d'abord des sites d'entraînement dont on extrait la signature spectrale et à partir desquels on extrapole pour le reste de l'image. Selon Duminil (2007), ces sites d'entraînement servent de base pour les calculs des algorithmes de classification.

8. Indices de végétation :

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.

Les indices de végétation, comme tous les autres indices, reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Ils 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 (la biomasse, l'indice de surface foliaire...*etc*).

8.1. Principe :

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).

8.2. Principaux indices de végétation :

De très nombreux indices de végétation ont été construits et utilisés depuis maintenant une quarantaine d'années (Bannari *et al.*, 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.*

Le tableau ci-dessous (tableau II) résume quelques uns des indices de végétation les plus couramment utilisés (Caloz et Puech, 1996; Gilabert *et al.*, 2002; Girard et Girard, 1999).

Exemple :

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

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R}) / (\text{PIR}+\text{R}) \dots\dots (\text{Rouse et al.}, 1974).$$

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 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.

9. Autres indices:

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 rouges et proche infrarouge selon l'expression :

$$\text{IBc}^2 = \text{V}^2 + \text{R}^2 + \text{PIR}^2 \dots\dots (\text{Manière et al.}, 1993).$$

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

Les indices cités antérieurement 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 (éclairement 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) ce qui implique une très grande prudence quant à leur interprétation.

Tableau II : Indices de végétation définis à partir de données de télédétection.

Les indices simples	
$DVI = \rho_{FIR} - \rho_R$	Bacour <i>et al.</i> (2006)
$RVI = \frac{\rho_{FIR}}{\rho_R}$	Krieger <i>et al.</i> (1969) ; Jordan (1969)
$NDVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R}$	Rouse and Haas (1973) ; Tucker (1979)
Les indices de stress hydrique	
$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{FIR}}$	Hunt and Rock (1989)
$NDWI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{FIR} + \rho_{MIR}}$	Gao (1996)
Les indices prenant en compte l'influence des sols	
$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)$	Richardson and Wiegand (1977)
$SAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Huete (1988)
$TSAVI = \frac{a(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{FIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$	Baret <i>et al.</i> (1989)
$MSAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Qi <i>et al.</i> (1994)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$ARVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{rb}}{\rho_{FIR} + \rho_{rb}}$	Kaufman and Tanré (1992)
$GEMI = \eta(1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0,25}{1 - \rho_{rouge}}$	Pinty et Verstraete (1992)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$EVI = G \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$	Huete <i>et al.</i> (1999)
Les indices prenant en compte les températures de surface	
$TDVI = \frac{T_S - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$	Sandholt <i>et al.</i> (2002)

Source : Caloz et Puech, 1996; Gilabert *et al.*, 2002; Girard et Girard, 1999.

III. Etude du milieu physique

Introduction

La forte pression exercée par l'homme et son bétail est parmi les principaux facteurs qui ont eu un effet néfaste et conduit à la régression de la végétation du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine sans oublier l'effet des coupes de bois de manières illégales, les opérations de défrichage et les incendies. Les exploitations irrationnelles et abusives de ce patrimoine ont conduit et contribue d'une façon nette à la dégradation et à la régression du couvert végétal, ce qui se traduit par une perturbation dans la composition spécifique par conséquent une régression des superficies couvertes et une réduction du nombre des espèces floristiques.

La conservation, la restauration et la valorisation de ces ressources passerait nécessairement par l'établissement de l'état des lieux de notre zone d'étude, ce qui permettrait d'évaluer ses potentialités et connaître les contraintes posées.

1. Choix du sous bassin versant de Bouguedfine

Le choix du sous bassin versant de Bouguedfine pour la réalisation de ce travail a été motivé par le volume de données déjà disponibles et par le fait que d'importantes opérations d'investissements dans les domaines de développement rural, de reboisement, et de la lutte contre l'érosion, ont été réalisées dans la région depuis 1979, selon Hammoudi et Amokrane (2001), les résultats obtenus sont peu encourageants et les causes sont multiples.

2. Caractéristiques du S/BV de Bouguedfine

2.1. Situation du S/BV de Bouguedfine

2.1.1. Situation administrative

Le sous bassin versant est situé dans la Daïra et la commune de Ouled Ben Abdelkader à 30 Km au sud-ouest du chef lieu de la wilaya de CHLEF (Fig. 14), à 240 Km à l'ouest d'Alger.

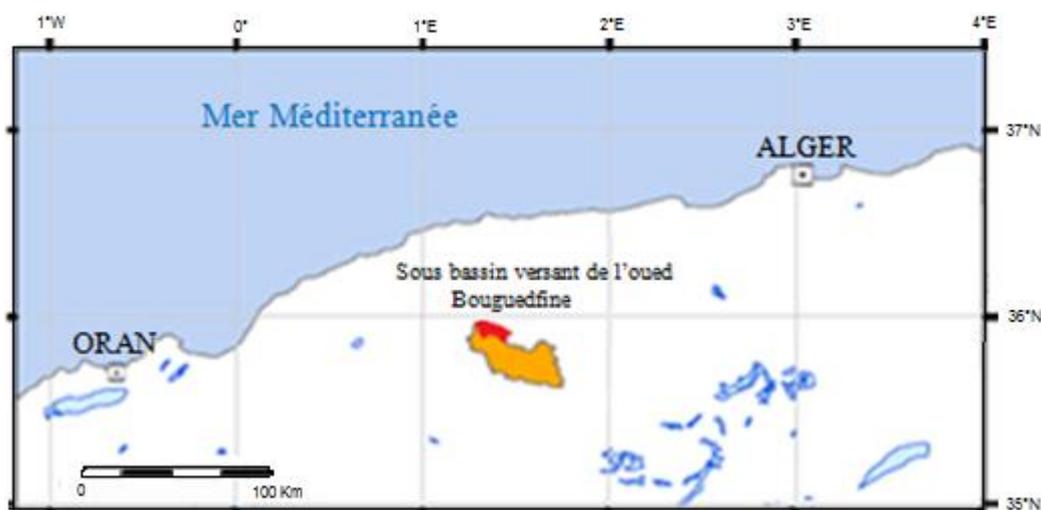


Figure 14 : Limites administratives de la zone d'étude

2.1.2. Situation géographique

Se situant dans l'atlas tellien, appartenant au grand BV du Chellif - Zahres, le Sly occupe la partie centrale du massif de l'Ouarsenis dont le S/BV de Bouguedfine fait partie (partie Nord-Est du bassin hydrographique de oued Sly)

Le S/BV de Bouguedfine se localise en Algérie du Nord entre les 35^{ème} et 36^{ème} parallèles nord et les méridiens 01°35' et 01°30' Est (fig. 15).

Il est limité par la ligne de crête joignant:

- Au Nord, Djebel Souanine et djebel Taïcha ;
- Au Nord-Est Djebel Dhahr El Louz ;
- A l'Est, Koudiet el Hadj Ahmed, Sra Brahim, Drâa Si Sahnoun ;
- Au Sud-Est Koudiet El Chahmia, Koudiet Talaâ, Djebel Sfiatt, Djebel Sidi Daoued et Djebel Meliana ;
- Au Sud, Djebel Khaloua et Djebel Saadia.

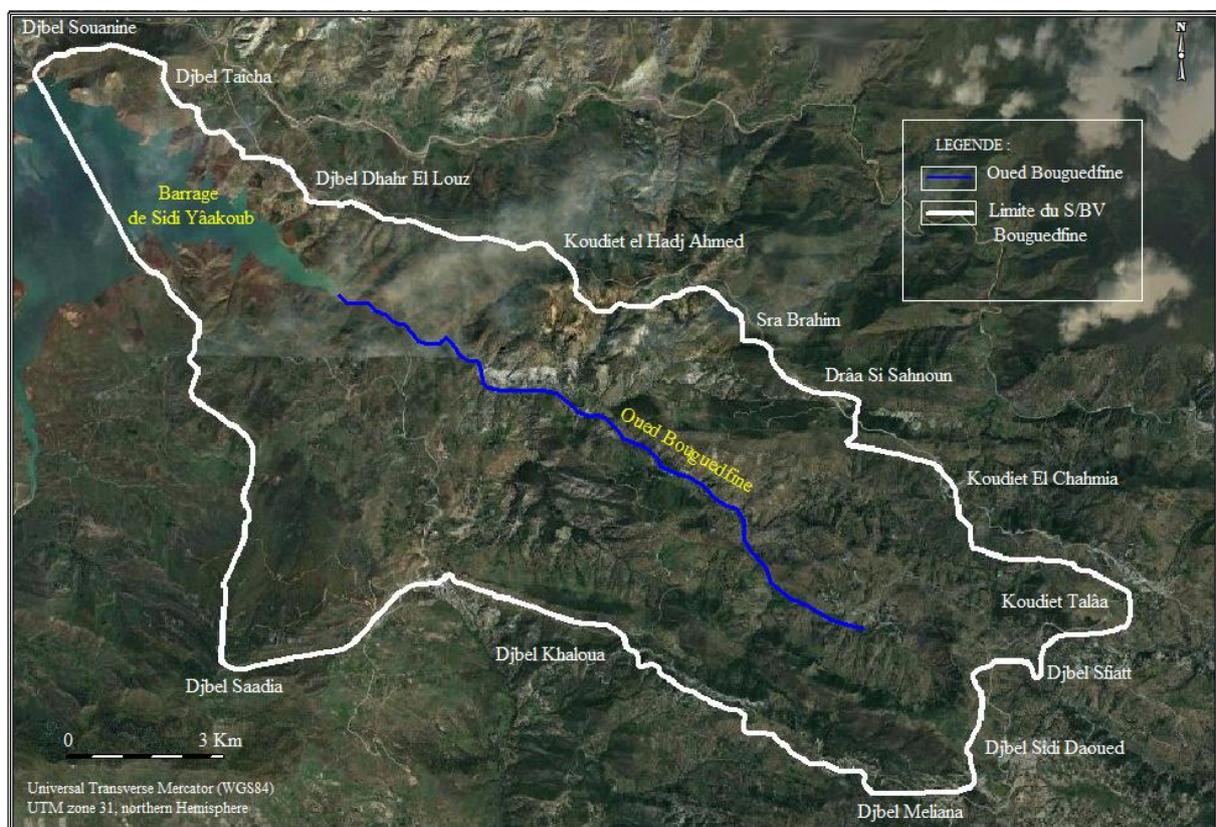


Figure 15 : Situation géographique du S/BV de Bouguedfine (Google earth).

2.3. Barrage de Sidi Yâakoub

Le S/BV de oued Bouguedfine draine l'oued Bouguedfine et l'ensemble de ces affluents, en alimentant le lac du barrage de Sidi Yâakoub, qui a une capacité initiale de 285Hm³, mis en service en 1985.

Il est caractérisé par les coordonnées géographiques suivantes :

Longitude : 1° 18' 49'' Nord.
Latitude : 35° 58' 34'' Est.

3. Caractéristiques climatiques

Selon Legrain (2002), « Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, pression, vent, précipitation...etc.) qui caractérisent l'état de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné », ces phénomènes sont en interaction d'où leur rôle primordial dans le comportement hydrologique des cours d'eau, l'abondance de la végétation...Le climat joue un rôle essentiel dans la répartition et le développement des plantes et la nature du sol, son analyse à l'échelle d'une région se base sur des données fournies par des stations météorologiques,

Par manque de données à la station météorologique de la zone en question, la station de la wilaya de Chlef (O.N.M), situant à 30 Km au Nord de notre zone d'étude, a été choisie comme station de référence, ceci grâce à la disponibilité des données (données complètes et longue période), ces caractéristiques sont les suivantes (Tableau III).

Tableau III : Caractéristiques de la station de référence :

Station ONM	Latitude (x)	Longitude (y)	Altitude (m)
Chlef	36° 21'	1° 33'	143

ONM, 2011

Les principaux paramètres climatiques retenus sont les précipitations, la température de l'air, l'ensoleillement, l'évaporation, l'évapotranspiration potentielle (ETP), vents, orages, grêle, gelées, sirocco.

3.1. Précipitations

D'après Legrain (2002), les précipitations sont définies comme : « Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à la surface du globe (pluie, brouillard, neige, grêle, rosée) ».

Pour ce paramètre les données sont obtenues à partir de la station de l'ANRH situant dans notre S/BV (tableau IV).

Tableau IV : Données climatiques de la station de Ouled Ben AEK (1980-2010) :

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
P (mm)	38,54	43,98	36,29	32,88	22,27	5,56	5,03	4,71	20,11	28,67	46,62	46,15	330,82

ANRH Chlef, 2011

La figure 16 indique l'existence d'une période sèche bien marquée allant du mois de mai à octobre, avec un minimum très net en juillet (5,03 mm), s'opposant à une période humide de novembre à avril avec un maximum au mois de Novembre (46,62 mm).

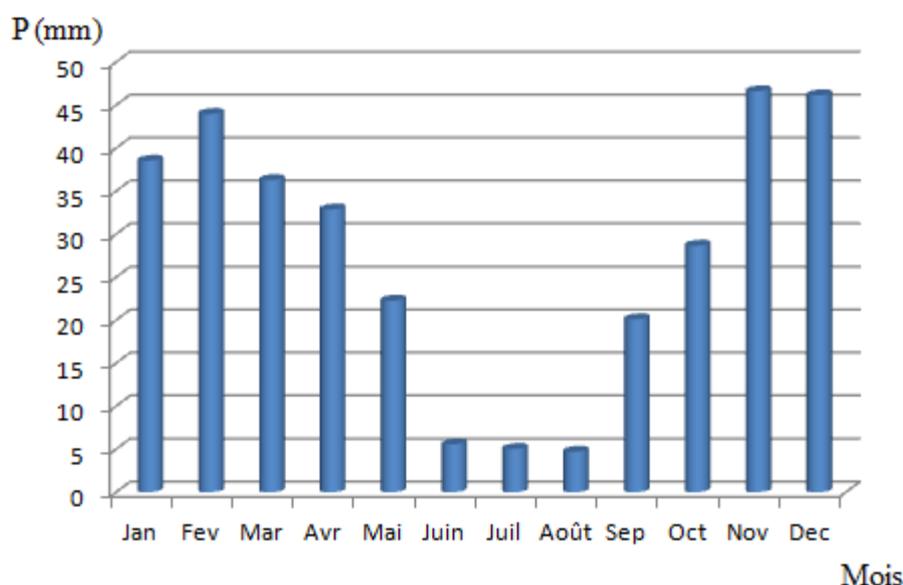


Figure 16 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2010)

3.2. Température

Le facteur thermique a une influence capitale sur les comportements des organismes par le contrôle qu'il exerce sur l'ensemble des processus vitaux. La croissance, l'activité végétative et la production sont étroitement dépendantes de la température.

Les espèces végétales sont plus sensibles aux températures minimales de la saison froide et aux températures maximales de la saison chaude et par conséquent à l'amplitude de leurs oscillations.

Les données disponibles soulignent l'existence de 02 saisons bien marquées et bien distinctes (Tableau V) (Figure 17).

-Une saison froide : qui s'échelonne sur 06 mois allant de novembre à avril, qui enregistre des moyennes mensuelles variant de 10,86 à 17,26°C et des minimums absolus inférieurs à 03°C.

-Une saison chaude : qui s'étale sur 06 mois (de mai à octobre), pendant laquelle les moyennes mensuelles dépassent les 30°C, avec un maximum en juillet (30,55°C).

La température moyenne annuelle de la zone étudiée est de 20,06°C.

Tableau V : Températures moyennes mensuelles (1980 – 2010)

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
M	15,27	17,27	20,17	22,97	27,79	33,65	37,77	37,35	32,52	26,90	20,85	16,42	25,74
m	6,48	7,09	8,91	10,68	14,39	18,96	22,20	22,67	19,62	15,52	11,50	7,89	13,83
Moy	10,86	12,21	14,85	17,26	21,63	26,97	30,55	30,45	26,30	21,28	16,21	12,15	20,06

ONM, 2011

M : Température moyenne mensuelle des maxima.
m : Température moyenne mensuelle des minima.
(M+m)/2 : Température moyenne mensuelle des moyennes.

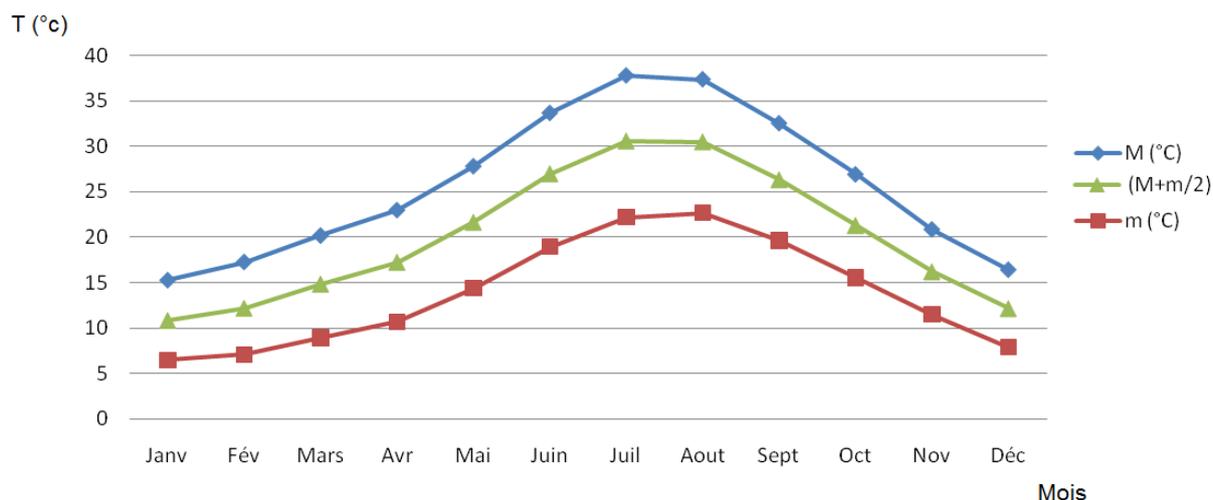


Figure 17 : Températures moyennes mensuelles

L'été se caractérise par de très hautes températures et des précipitations très faibles, entraînant ainsi une aridité assez forte et plus partiellement un épuisement des réserves utiles, l'hiver est, par contre, humide et froid.

Le mois le plus chaud de l'année est le mois de Juillet, avec une moyenne de 37,77°C, alors que le mois le plus froid est le mois de janvier avec une moyenne de 06,48°C.

3.3. Ensoleillement

On remarque à partir du tableau VI que la durée d'ensoleillement est variable d'un mois à l'autre, elle est très importante en allant du mois de mars à octobre d'où l'évaporation est par conséquent importante en favorisant le dessèchement pendant cette période.

La durée d'ensoleillement la plus importante est en mois d'août avec 316,9 h/mois, et la moins intense est en mois de décembre avec 160,8h/mois

Tableau VI : Ensoleillement moyen mensuel (1999-2010) :

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Ensoleillement h/mois	171,4	198	236,3	248,7	289,3	309,5	315	316,9	269,5	238,4	178,8	160,8

ONM, 2011

3.4. Evaporation

Selon les données existantes (Tableau VII), la quantité moyenne mensuelle d'eau évaporée est variable selon le mois, elle est très importante du avril à octobre.

Tableau VII : Evaporations moyennes mensuelles (1996-2010) :

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Evaporation (mm)	52,86	62,28	93,60	113,87	169,90	250,19	294,08	271,53	189,02	174,78	74,81	55,96

ONM, 2011

3.5. Autres caractéristiques climatiques :

D'autres facteurs climatiques tel que : les vents, les gelées, la grêle..., peuvent agir positivement ou négativement sur le milieu.

3.5.1. Vents

Le vent constitue dans certains biotopes un facteur écologique limitant, sous l'influence des vents violents, la végétation est limitée dans son développement. Le vent, d'un autre côté, a une action indirecte :

- En abaissant ou en augmentant la température, suivant les cas ;
- En augmentant la vitesse d'évaporation, il a donc un pouvoir desséchant.

La direction du vent intervient aussi dans la modification du milieu, car certains versants peuvent être plus arrosés que d'autres d'où la variation du couvert végétal.

Selon les données de l'ONM, la vitesse annuelle moyenne est de 2,86 m/s (2,58 à 3,23 m/s) au cours de l'année. Les vents dominants dans la région sont d'ouest au nord-ouest.

Tableau VIII : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents (1999-2010) :

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Vitesse (m/s)	2,58	2,73	2,85	3,01	3,22	3,23	2,92	2,88	2,88	2,56	2,58	2,69	2,86

ONM, 2011

3.5.2. Orages

Selon Legrain (2002), un orage est « l'ensemble de perturbations atmosphériques violentes ». Les orages ont un effet néfaste sur le sol et la végétation.

Au niveau du sous bassin versant de Bouguedfine le nombre de jours d'orage par mois est très variable durant l'année, selon les données consultées de l'ONM, 28 jours d'orages, en moyenne, ont été enregistrés par année.

3.5.3. Gelées

Elles sont fortement influencées par l'altitude, selon les données, 13 jours de gelées sont enregistrés durant toute la saison froide, avec un maximum en décembre et janvier.

3.5.4. Grêle

La chute de grêle peut endommager le couvert végétal, elles s'observent fréquemment en saison hivernale, bien que rare en été, elle n'est pas nulle. Le maximum de fréquence est enregistré au mois de mars.

3.5.5. Sirocco

Il commence à souffler dès le mois d'avril où il endommage les jeunes plants. Les mois pendant lesquels il se manifeste sont très variables durant l'année, 16,3 jours/an sont enregistrés en moyenne.

3.6. Synthèse climatique

Pour caractériser le climat de la région d'une manière générale et du périmètre d'étude d'une manière particulière, une synthèse climatique est mis en place, elle fait appelle à la réalisation du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен et du climagramme pluviométrique d'Emberger.

3.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1935)

La représentation de ce diagramme (Fig.18) consiste à porter sur le même graphique les variations des températures et les précipitations portées sur deux axes parallèles en fonction du temps, dont l'échelle est fait de manière que $2 \text{ mm} = 1^\circ\text{C}$.

Bagnouls et Gausсен considèrent : « Un mois sec est celui où le total mensuel des précipitations (mm) est inférieur à deux fois la valeur de la température moyenne mensuelle exprimée en $^\circ\text{C}$ » c'est à dire « $P \leq 2 T$ ».

Le diagramme ainsi obtenu permet de visualiser la saison sèche où la courbe des températures passe au dessous de celle des précipitations. Ce mode de représentation permet de comparer mois par mois le rapport P/T , et de calculer donc la durée et l'intensité de la période sèche.

Pour notre zone d'étude, la saison froide s'étale entre fin octobre jusqu'à fin avril avec un maximal de précipitations de 46,62 mm marqué pendant le mois de novembre, le mois le moins arrosé est le mois d'août avec 4,71 mm. La saison sèche s'étale du mois de mai à mi-octobre, le mois le plus sec est le mois d'août avec un maxima de $37,77^\circ\text{C}$ et un minima de $22,20^\circ\text{C}$.

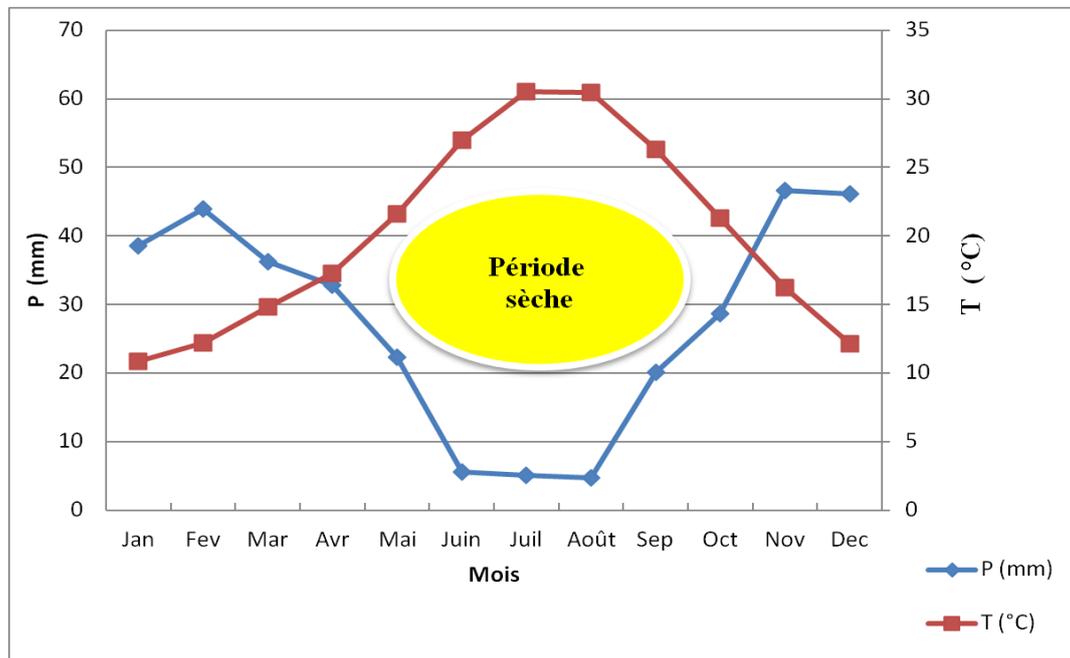


Figure 18 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (Station météorologique de Chlef).

3.6.2. Climagramme pluviométrique d'Emberger (1955)

Le quotient pluviométrique d'Emberger Q_2 est déterminé par la combinaison de trois paramètres climatiques, il est donné par la formule de Stewart (1969) suivante :

$$Q_2 = 3,43 * P / (M - m)$$

Q_2 : Le quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : pluviométrie annuelle en (mm) ;

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en ($^{\circ}C$) ;

m : moyennes des minima du mois le plus froid en ($^{\circ}C$).

Pour notre cas :

$$Q_2 = 3,43 * 330,82 / (37,77 - 06,48)$$

$$Q_2 = 36,26$$

En se référant au Climagramme pluviométrique d'Emberger, la station de Chlef, avec $Q_2 = 36,26$ et $m = 06,48^{\circ}C$, se situe dans l'étage bioclimatique aride tempéré.

3.6.3. Synthèse bioclimatique de la région d'étude :

Dans le but de l'analyse des données climatiques du S/BV de Bouguedfine, l'apport de certaines corrections est nécessaire (températures et précipitations), ceci est à cause de l'absence de station à données complètes dans la zone en question. Le calcul des points : haut, bas et un troisième point de moyenne altitude, se fait en prenant l'altitude (143 m) et la pluviométrie (330,82 mm) de la station de référence, avec l'altitude des trois points ; 192 m, 692 m et 1192 m.

3.6.3.1. Correction pluviométrique

Seltzer (1946) note qu'en région méditerranéenne, il y aurait une augmentation de 40 mm par tranche de 100 m (Tableau IX).

Selon notre modèle numérique de terrain « MNT » (fig. 19) et la carte altimétrique de la zone d'étude (fig. 20), réalisés grâce à Vertical mapper, l'altitude moyenne de la région d'étude est de 548 m.

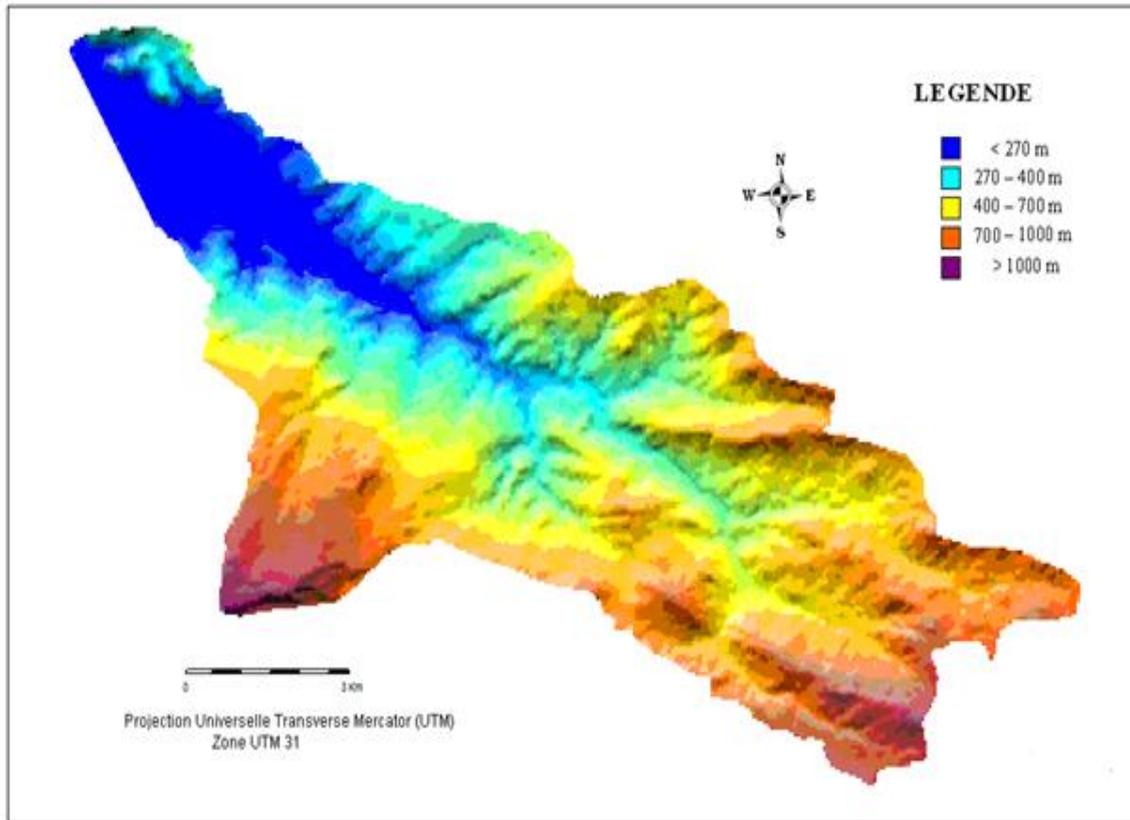


Figure 19 : Modèle numérique de terrain du S/BV de l'oued Bouguedfine.

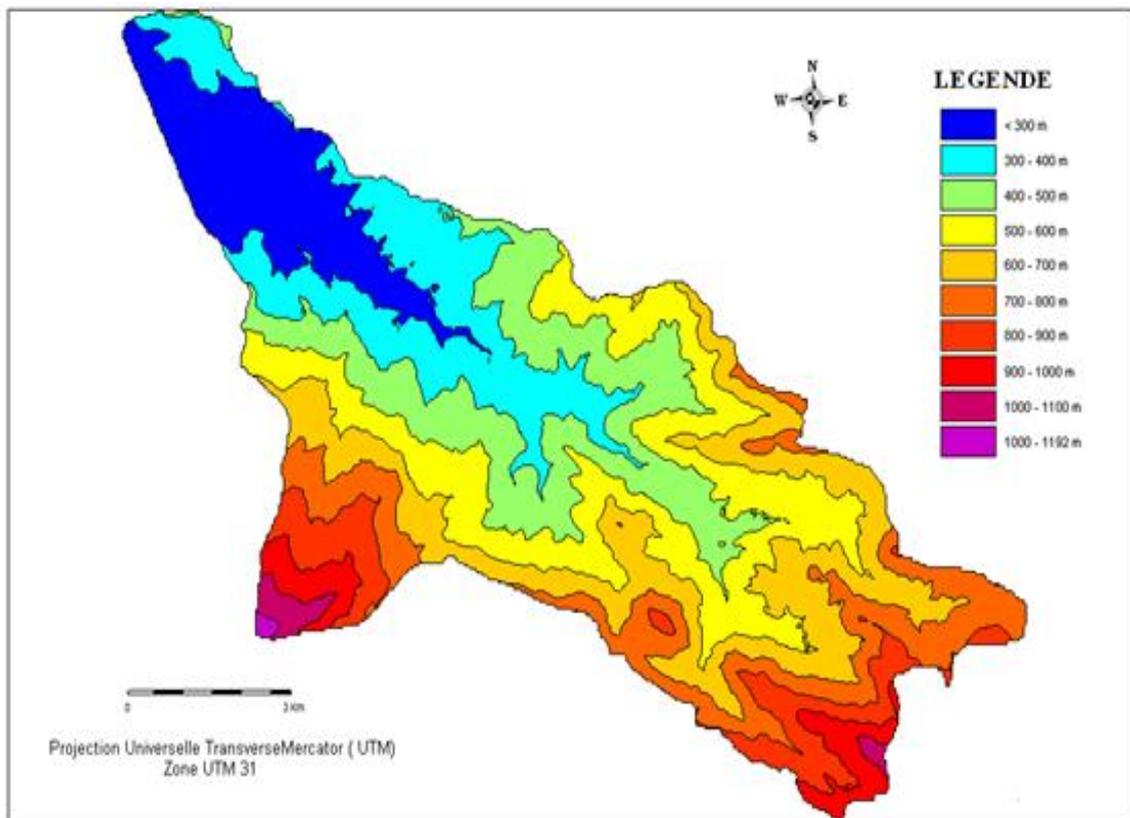


Figure 20 : Carte altimétrique du S/BV de l'oued Bouguedfine.

Tableau IX : Correction des précipitations selon Seltzer (1946).

<i>Altitude</i>	143 m
<i>Pluviométrie</i>	330,82 mm
<i>Point haut de périmètre</i>	1192 m
<i>Point bas de périmètre</i>	192 m
<i>Point moyenne altitude</i>	548 m

La correction sera faite par le calcul d'un coefficient de répartition mensuelle de la pluviométrie annuelle qui sera multiplié par les précipitations moyennes annuelles des trois points choisis.

- *Coefficient de répartition mensuelle de la pluviométrie annuelle*

Pour calculer le coefficient de répartition mensuelle de la station de référence, on utilise la formule : Pluviométrie du mois/ pluviométrie annuelle.

On transpose chaque valeur du coefficient de chaque mois pour la station de référence à chaque mois de la zone d'étude (Tableau X).

Exemple de calcul pour le mois de janvier :

$$\begin{aligned} \text{Coefficient} &= 38,54 / 330,82 \\ &= 0.116 \end{aligned}$$

Tableau X : Coefficients de répartition mensuelle de la station de référence (1980 - 2010).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
P (mm)	38,54	43,98	36,29	32,88	22,27	5,56	5,03	4,71	20,11	28,67	46,62	46,15	330,82
Coef	0,116	0,133	0,110	0,099	0,067	0,017	0,015	0,014	0,061	0,087	0,141	0,140	1,00

- *Point haut du périmètre* (Tableau XI)

Différence d'altitude : 1192 m - 143 = 1049 m

D'où une augmentation de 40 mm * 1049/ 100 = 419,6 mm

La pluviométrie annuelle du point haut est de : 330,82 + 419,6 = 750,42 mm.

Exemple de calcul de précipitation du mois de janvier pour le point haut :

$$750,42 \times 0,116 = 87,04 \text{ mm}$$

Tableau XI : Pluviométries corrigées de point haut du périmètre

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
P (mm)	38,54	43,98	36,29	32,88	22,27	5,56	5,03	4,71	20,11	28,67	46,62	46,15	330,82
Coef	0,116	0,133	0,110	0,099	0,067	0,017	0,015	0,014	0,061	0,087	0,141	0,140	1,00
Point haut	87,42	99,76	82,32	74,58	50,52	12,61	11,41	10,68	45,62	65,03	105,75	104,68	750,42

- *Point bas du périmètre* (Tableau XII)

Différence d'altitude : 192 m - 143 = 49 m

D'où une augmentation de 40 mm * 49/ 100 = 19,6 mm

La pluviométrie annuelle du point haut est de : 330,82+ 19,6 = 350,42 mm.

Exemple de calcul de précipitation du mois de janvier pour le point bas :

$$350,42 \times 0,116 = 40,82 \text{ mm}$$

Tableau XII : pluviométries corrigées du point bas du périmètre

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
P (mm)	38,54	43,98	36,29	32,88	22,27	5,56	5,03	4,71	20,11	28,67	46,62	46,15	330,82
Coef	0,116	0,133	0,110	0,099	0,067	0,017	0,015	0,014	0,061	0,087	0,141	0,140	1,00
Point bas	40,82	46,59	38,44	34,83	23,59	5,89	5,33	4,99	21,30	30,37	49,38	48,88	350,42

➤ *Point de moyenne altitude* (Tableau XIII)

Différence d'altitude : 548 m - 143 = 405 m

D'où une augmentation de 40 mm * 405/ 100 = 162 mm

La pluviométrie annuelle du point haut est de : 330,82 + 162 = 492,82 mm.

Exemple de calcul de précipitation du mois de janvier pour le point de moyenne altitude

$$492,82 \times 0,116 = 57,167 \text{ mm}$$

Tableau XIII : pluviométries corrigées du point de moyenne altitude

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
P (mm)	38,54	43,98	36,29	32,88	22,27	5,56	5,03	4,71	20,11	28,67	46,62	46,15	330,82
Coef	0,116	0,133	0,110	0,099	0,067	0,017	0,015	0,014	0,061	0,087	0,141	0,140	1,00
Point moy	57,16	65,54	54,21	48,78	33,01	8,37	7,39	6,89	30,06	42,87	69,48	68,99	492,82

3.6.3.2. Correction des températures :

Pour une tranche de 100 m, Seltzer (1946) a proposé une diminution de 0,7°C aux températures maximales mensuelles et 0,4 aux températures minimales mensuelles, ces valeurs seront utilisées dans le calcul de la nouvelle moyenne des températures mensuelles pour les trois points retenus.

➤ *Point haut du périmètre* (Tableau XIV).

Différence d'altitude : 1192 m - 143 = 1049 m.

$(0,7 * 1049) / 100 = 7,34$ °C.....pour M,

$(0,4 * 1049) / 100 = 4,19$ °C.....pour m.

$$(M+ m) / 2 = (7,34 + 4,19) / 2$$

$$= 5,76 \text{ °c}$$

Tableau XIV : Températures corrigées du point haut du périmètre

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
M Pointt Haut	7,93	9,93	12,83	15,63	20,45	26,31	30,43	30,01	25,18	19,56	13,51	9,08	18,40
m Point haut	2,29	2,9	4,72	6,49	10,2	14,77	18,01	18,48	15,43	11,33	7,31	3,7	9,64
Moy Point haut	5,11	6,42	8,78	11,06	15,33	20,54	24,22	24,25	20,31	15,45	10,41	6,39	14,02

➤ *Point bas du périmètre* (Tableau XV).

Différence d'altitude : 192 m - 143 = 49 m

$$M = (0,7 * 49) / 100 = 0,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m = (0,4 * 49) / 100 = 0,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$(M + m) / 2 = (0,34 + 0,19) / 2 \\ = 0,26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tableau XV : Températures corrigées du point bas du périmètre

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
M Point Bas	14,93	16,93	19,83	22,63	27,45	33,31	37,43	37,01	32,18	26,56	20,51	16,08	25,40
m Point bas	6,29	6,9	8,72	10,49	14,2	18,77	22,01	22,48	19,43	15,33	11,31	7,7	13,64
Moy Point bas	10,60	11,95	14,59	17,00	21,37	26,71	30,29	30,19	26,04	21,02	15,95	11,89	19,80

➤ *Point de moyenne altitude* (Tableau XVI).

Différence d'altitude : 548 - 143 = 405 m

$$M = (0,7 * 405) / 100 = 2,83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m = (0,4 * 405) / 100 = 1,62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$(M + m) / 2 = (2,83 + 1,62) / 2 \\ = 2,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tableau XVI : Températures corrigées du point de moyenne altitude

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
M Pt moy	12,44	14,44	17,34	20,14	24,96	30,82	34,94	34,52	29,69	24,07	18,02	13,59	22,91
m Pt moy	4,86	5,47	6,29	9,06	12,77	17,34	20,58	21,05	18	13,9	9,88	6,27	12,20
Moy Pt moy	8,64	9,99	12,63	15,04	19,41	24,75	27,53	28,33	24,08	19,06	13,99	9,93	17,78

3.7. Résultats de la synthèse climatique :

Après les deux types de corrections apportées précédemment la synthèse des résultats est la suivante

➤ *Point haut* (Figure 21) :

La saison froide : elle s'échelonne sur plus de 08 mois (mi-septembre jusqu'à fin mai), les minimax absolus sont d'ordre de 9,64°C, le mois le plus arrosé est le mois de novembre (105,75 mm).

La saison sèche : elle s'échelonne entre début juin et mi-septembre, les maximas sont d'ordre de 18,40°C, le mois le plus sec est le mois d'août (10,68 mm).

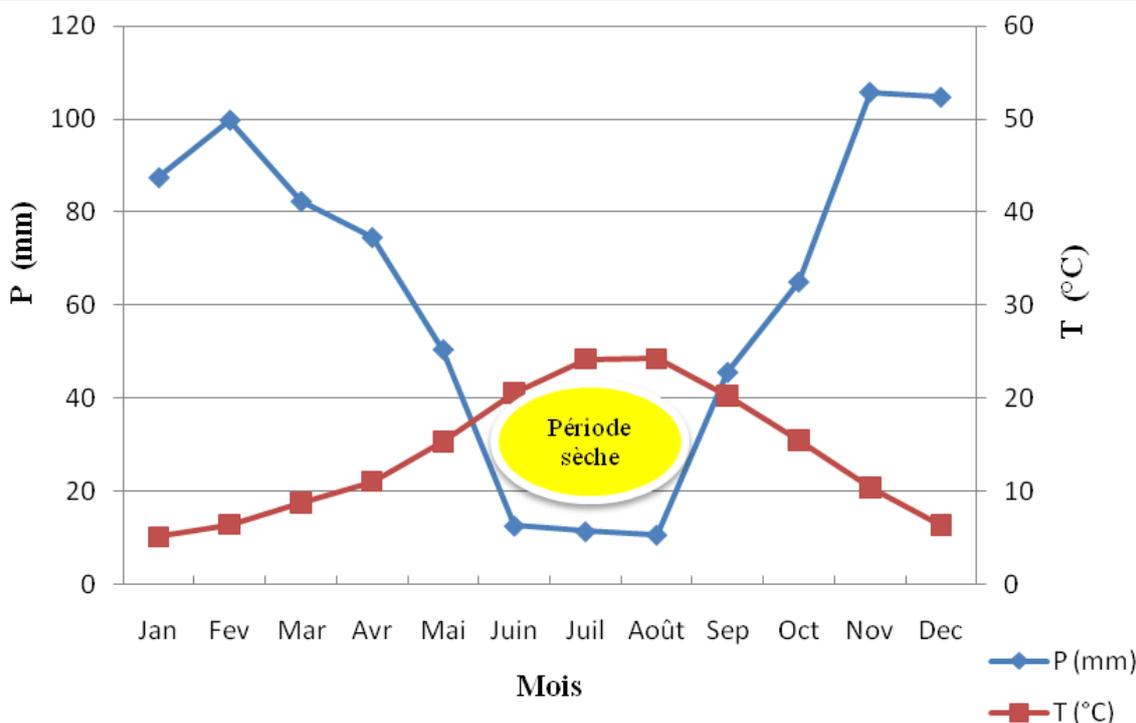


Figure 21 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausse du point haut.

➤ *Point bas (Figure 22) :*

La saison froide : elle s'échelonne sur 06 mois (fin octobre jusqu'à fin avril), les minimax absolus sont d'ordre de 13,64°c le mois le plus arrosé est le mois de novembre (49,38 mm).

La saison sèche : elle est la plus longue, elle s'échelonne entre fin mai et fin octobre, les maximas sont d'ordre de 25,40°c, le mois le plus sec est le mois d'août (4,99 mm).

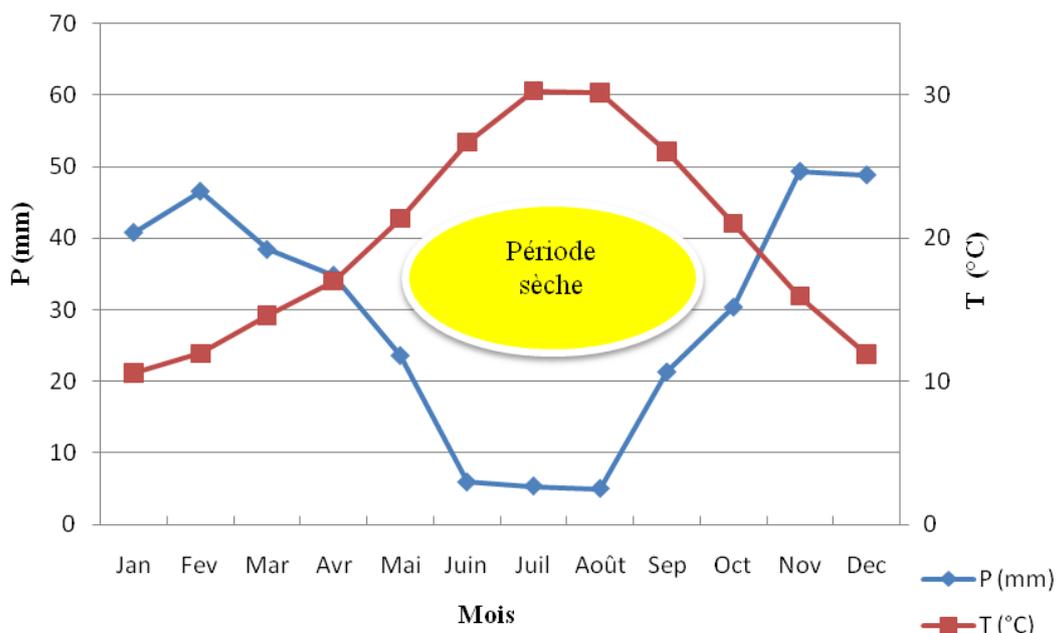


Figure 22 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausse du point bas.

➤ *Point de moyenne altitude (fig.23) :*

La saison froide : elle s'étale sur 07 mois (début octobre jusqu'à mi mai), les minimax absolus sont d'ordre de 12,20°C le mois le plus arrosé est le mois de novembre (69,48 mm).

La saison sèche : elle s'échelonne entre fin mai et fin septembre, les maximas sont d'ordre de 22,91°C, le mois le plus sec est le mois d'août (6,89 mm).

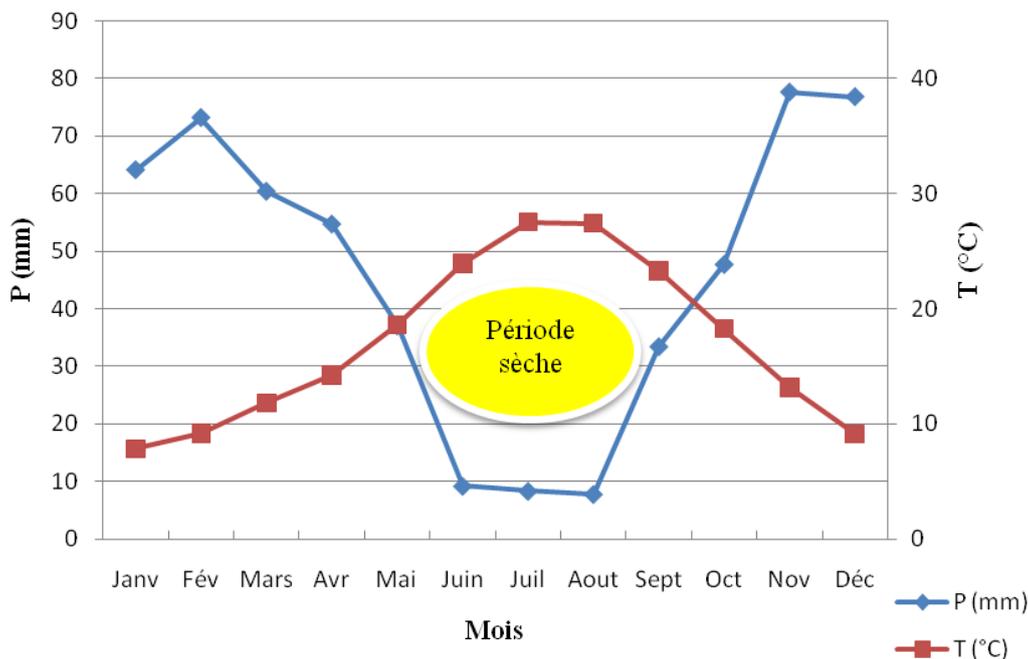


Figure 23 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson du point de moyenne altitude.

3.8. Détermination des étages bioclimatiques de la zone d'étude :

L'indice de Stewart (1969), va nous permettre de déterminer l'aire bioclimatique du S/BV :
 $Q_2 = (3,43 * P) / (M - m)$

Sur le climagramme d'Emberger, m en abscisse et Q en ordonnée, l'étage bioclimatique du lieu sera celui sur lequel se situ le point d'intersection des deux droites tracées.

Point haut :

$$Q_2 = 3,43 * 750,42 / (30,43 - 2,29) = 91,47.$$

Le point haut se situe dans l'étage bioclimatique subhumide frais.

Point bas :

$$Q_2 = 3,43 * 350,42 / (37,43 - 6,29) = 38,60.$$

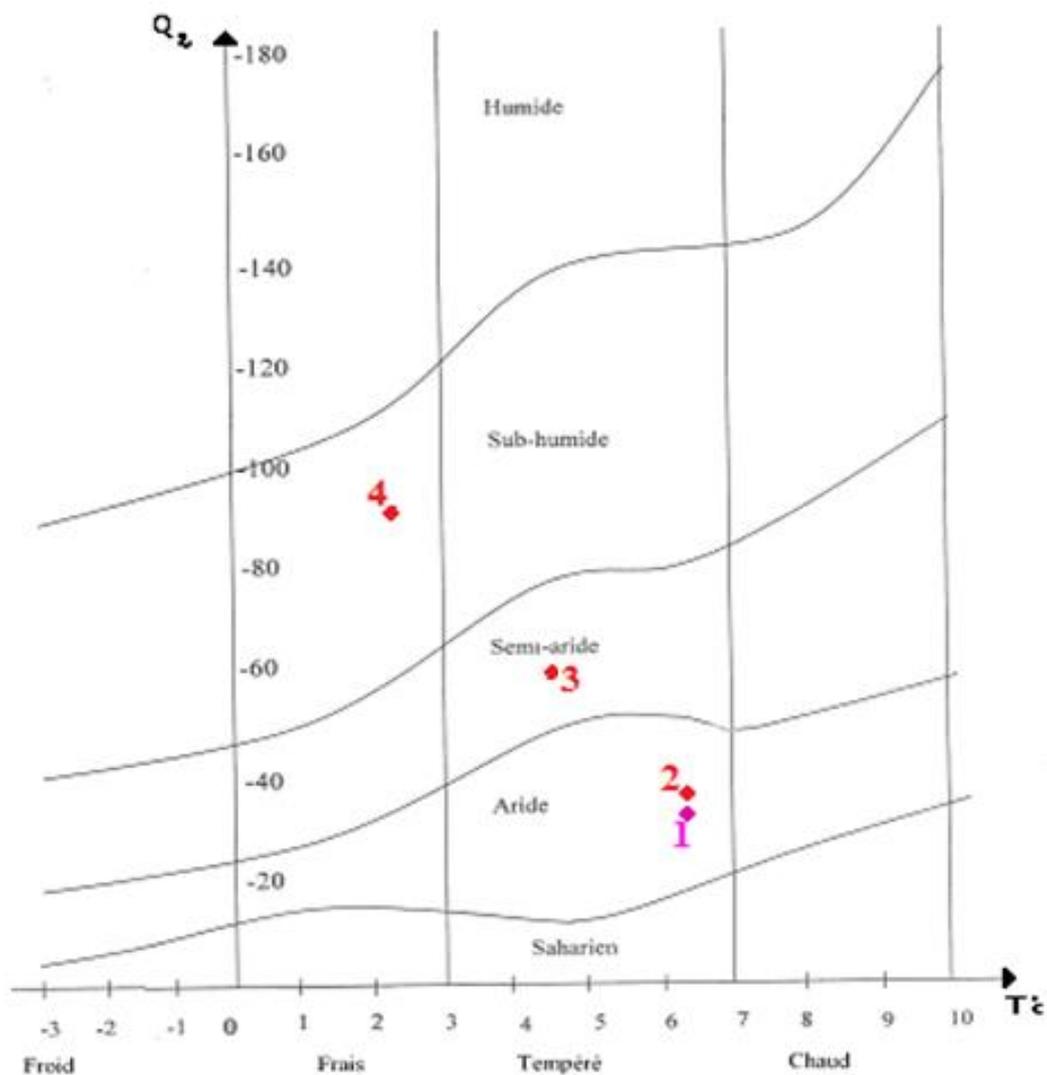
Le point bas se situe dans l'étage bioclimatique semi aride tempéré.

Point de moyenne altitude :

$$Q_2 = 3,43 * 492,82 / (34,94 - 4,86) = 56,19.$$

Le point de moyenne altitude se situe dans l'étage bioclimatique aride tempéré.

Le périmètre d'étude se caractérise par un étage bioclimatique subhumide frais à aride tempéré. Il reçoit entre 350,42 et 750,42 mm de pluie, la température minimale moyenne du mois le plus froid (Janvier) varie de 2,29 à 6,29°C et la température maximale moyenne du mois le plus chaud (Juillet) varie de 30,43 à 37,43°C (Fig. 24).



1 : Station de Chlef
2 : Point bas

3 : Point moyen
4 : Point haut

Figure 24 : Climagramme pluviométrique d'Emberger.

4. Topographie

Le sous bassin versant de Bouguedfine couvre une superficie de 57,39 Km², avec un périmètre de 44,79 Km.

Le point culminant dans le bassin versant est le sommet de Djebel Saadia (1192 m), et le point le plus bas est à l'embouchure (la digue) à environ 192 m, d'où la dénivelée maximale du S/BV atteint les 1000 m.

Pour mieux représenter l'altimétrie de notre zone d'étude, la figure 25 présente la répartition des classes d'altitudes.

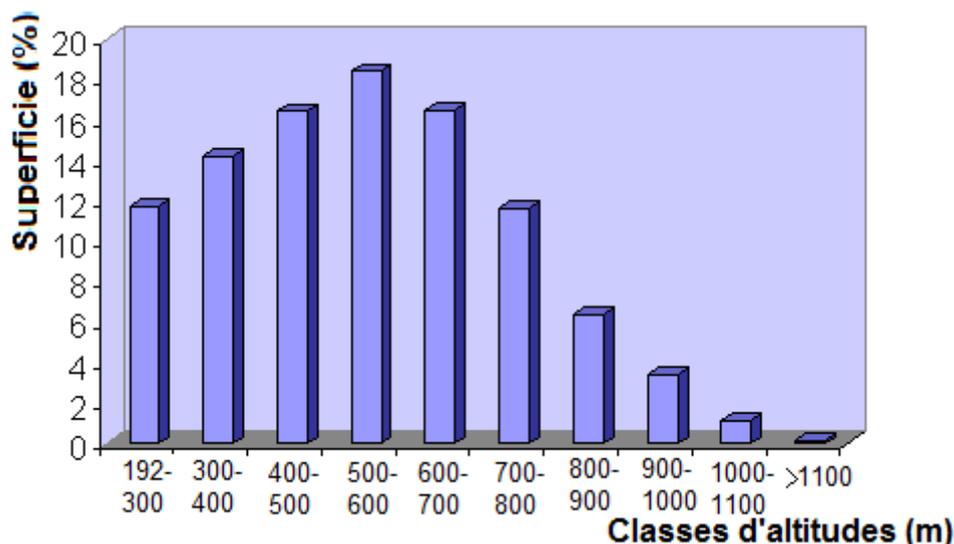


Figure 25: Répartition des classes d'altitude du sous bassin versant de oued Bouguedfine.

Dans la zone d'étude, 30 % de la surface totale du S/BV à une altitude de 400 à 700 m, ce qui permet la présence de pente favorisant l'érosion.

Le tableau qui suit résume les principales caractéristiques du S/BV.

Tableau XVII : Caractéristiques physiographiques du S/BV de Oued Bouguedfine.

Types de paramètres		Symboles	Unité	Valeur
Surface		S	Km ²	57,39
Périmètre		P	Km	44,79
Indice de compacité de Gravellius		Kc	/	1,65
Longueur du rectangle équivalent		L	Km	19,35
Largeur du rectangle équivalent		l	Km	3,04
Longueur du thalweg principal		Lp	Km	11,6
Altitude	Maximale	H_{max}	m	1192
	Minimale	H_{min}	m	192
	Moyenne	H_{moy}	m	548,63
	Médiane	$H_{50\%}$	m	605
Indice de pente global		Ig	%	0,0338
Dénivelée spécifique		Ds	m	256,43
Indice de pente moyenne		Im	%	0,0516
Densité de drainage		Dd	Km/Km ²	2,91

Selon la classification de l'ORSTOM, la Ds de notre zone d'étude se situ dans l'intervalle « 250 m - 500m », se qui indique que le relief du S/BV est fort.

5. Pédologie

Dans le cadre de l'étude d'aménagement du BV de oued Sly, et après la réalisation de 13 profils pédologiques au niveau du S/BV de Bouguedfine, Lescomplekt (1983) dénote que la plupart des sols de la région en question sont caractérisées par la présence de carbonates et la saturation du complexe absorbant par les cations de Calcium et Magnésium.

La présence de ces carbonates est déterminée par les matériaux constituant du sol présentés presque exclusivement par des roches calcaire, des calcaires sablonneux et sablonneux argileux et des marnes calcaires (fig. 26). La texture est le plus souvent fine (argilo–limoneuse, argilo–sablonneuse et argileuse). La perméabilité est faible, et les matières organiques dans le solde la région sont insuffisantes.

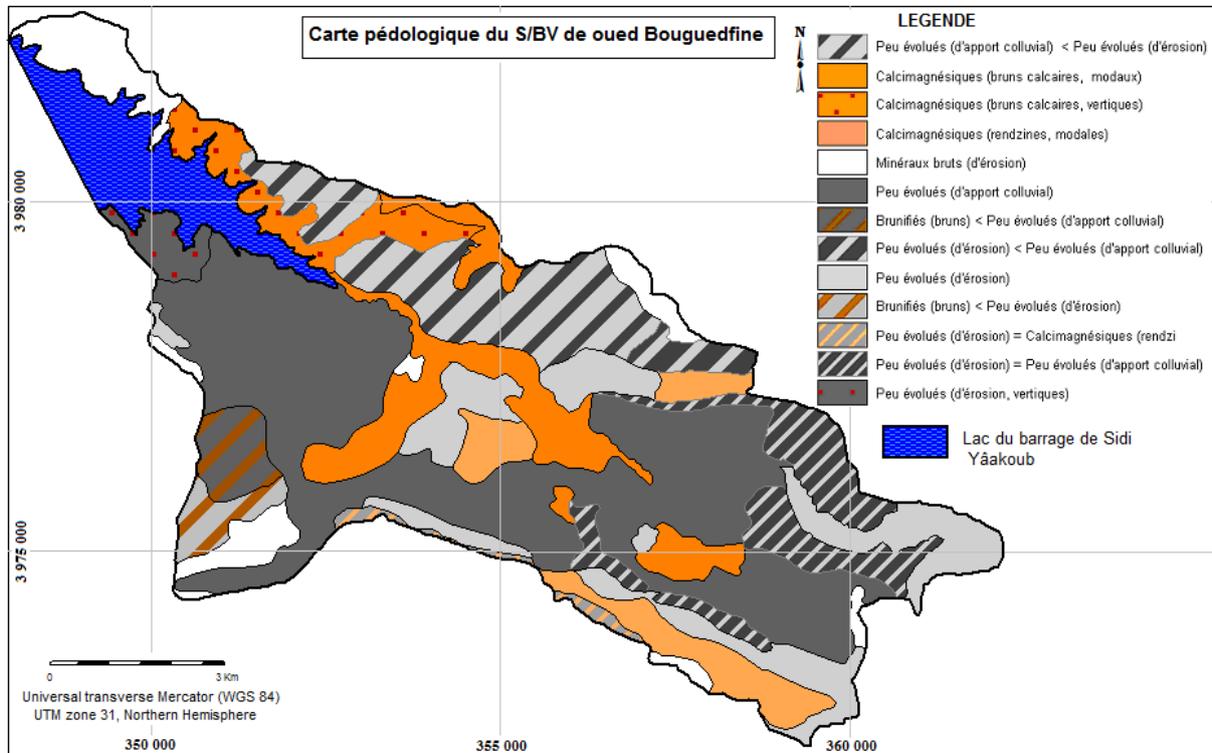


Figure 26 : Carte pédologique du S/BV de l'oued Bouguedfine (Lescomplekt, 1983).

Les sols du S/BV de Bouguedfine sont représentés par 04 classes pédologiques :

- Les sols minéraux bruts ;
- Les sols peu évolués ;
- Les sols calcimagnésiques ;
- Les sols brunifiés.

La figure 27 résume la portion de chaque classe, ou mélange de classes, formant le sol du S/BV de Bouguedfine.

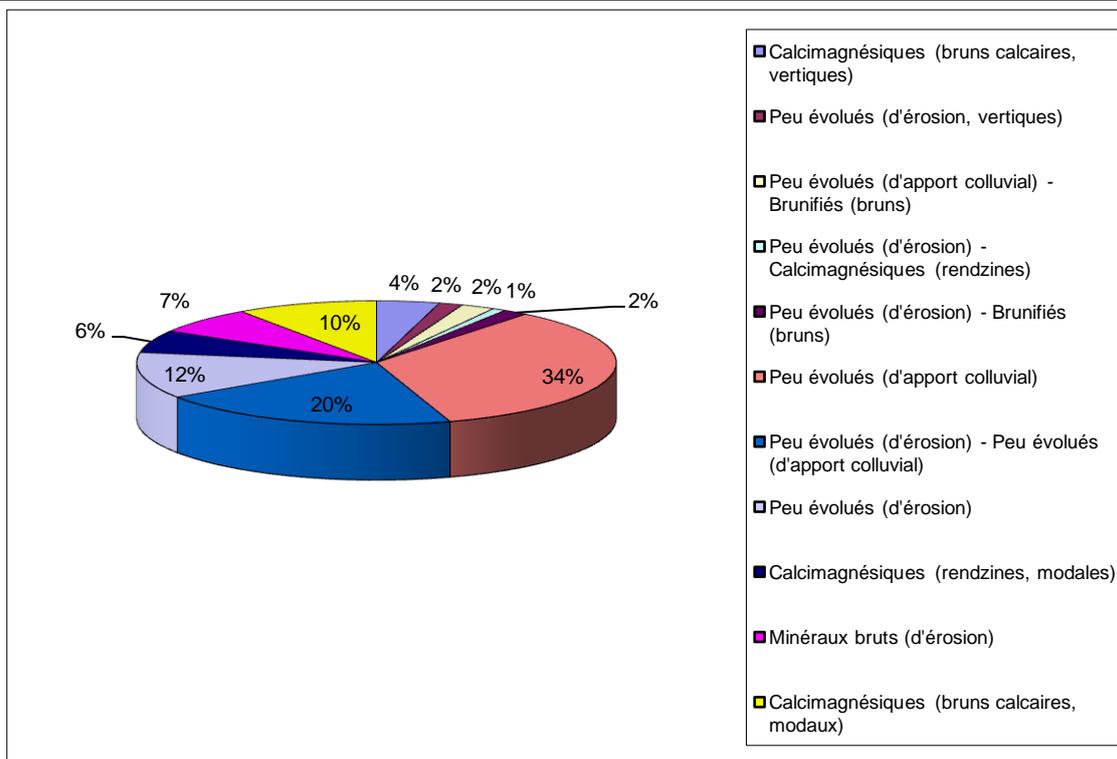


Figure 27 : Répartitions des pourcentages de classes de sol dans le S/BV de l'oued Bouguedfine

5.1. Les sols minéraux bruts

Ce sont des sols de profil (A) C, (A) R ou R, le groupe du sol le plus répandu et le groupe d'érosion qui s'est évolué sur une roche friable occupant des terrains dénudés par l'érosion sur l'horizon superficiel (0-20 cm), (Duchaufour, 1977), ils occupent des petites surfaces (3,73 km²) éparpillées dans la zone d'étude, la surface la plus importante est située près de la digue du barrage au niveau de la partie Nord Est.

5.2. Les sols peu évolués

Les sols peu évolués à profil (AC) sont caractérisés essentiellement par une faible altération du milieu minérale et dans la majorité des cas la faible teneur en matière organique (Duchaufour, 1977), dans notre S/BV, les deux groupes de sols dominants sont :

5.2.1. Sol peu évolué d'érosion :

Ce sont des sols pauvres en matière organique, caractéristiques des pentes où le rajeunissement par l'érosion intervient de façon intense, la matière organique est le plus souvent mal incorporée à la matière minérale avec laquelle ne constitue pas de véritables complexes argilo humique (Duchaufour, 1977).

Ce type de sol est présent sur tous le S/BV, à l'Est et Sud, en mélange avec le sol peu évolué d'apport colluvial, et seul avec une superficie de 6,42 km², en mélange avec les rendzines à l'Ouest du S/BV (0,48 km²).

L'évolution des sols sur des roches tendres donne des régosols, et sur les roches dures des lithosols.

5.2.2. Sol peu évolué d'apport colluvial :

Caractérisés par des structures hétérogènes variable d'un point à l'autre, d'une grande porosité et de bonne aération superficielle, la sensibilité à l'érosion de ce type de sol est très élevée (Duchaufour, 1977).

Ce type de sol occupe la plus grande surface du S/BV, il est présent au niveau de la partie Ouest du S/BV (18,32 km²), et en mélange avec d'autres classes de sol.

5.3. Sols calcimagnésiques

Leur formation est toujours liée à la présence de roches carbonatées ou de substrats calcaires (Duchaufour, 1977).

La sous classe la plus répandue est celle des sols carbonatés qui est répartie en deux groupes, les rendzines et les carbonatés bruns.

5.3.1. Les Rendzines :

Ils sont le plus souvent peu érodés. On les trouve sur les marnes calcaires, les calcaires marneux et sur autres roches en carbonates. La teneur totale en carbonates est d'environ 50%. Leur profil est du type AC (AR). La transition entre l'horizon A et l'horizon C est toujours contrastée.

Ils sont observés surtout dans la partie forestière de la zone d'étude, au centre et à l'Ouest de la zone d'étude (3,14 km²).

5.3.2. Les sols bruns carbonatés :

A la différence des rendzines, dans le profil des sols bruns carbonatés, on observe un horizon (B) structuré, souvent peu formé en ce qui concerne les propriétés chimiques ils sont moins humifères et les quantités des carbonates en total et des carbonates actifs sont plus faibles (Duchaufour, 1977).

Les sols bruns carbonatés se trouvent dans les parties les plus basses des terrains rudes et sur les versants de pentes plus faibles, ce type se localise seulement au Nord - Ouest du S/BV en mélange avec les sols peu évolués 2,26 km².

5.4. Sols brunifiés :

Ces sols occupent les parties hautes des versants montagneux à une altitude supérieure à 1000 m, ou l'extension de la forêt des feuillues et les forêts mixtes (résineux - feuillues), ils sont formés sur roches sans carbonates, la plupart sur grès numidiens. Le profil est généralement de type A(B) C (Duchaufour ; 1977,1998).

Le seul groupe existant dans la région est le sol brun forestier en mélange avec le sol peu évolué au niveau de djebel Saadia (2,11 km²).

6. Hydrographie

Outre la région hydrographique sud, les 4 bassins délimités dans le nord sont, d'Ouest en Est les suivants :

- L'Oranie - Chott - Chergui,
- Le Chellif - Zahres,
- L'Algérois - Hodna - Soumam,
- Le Constantinois - Seybouse -Mellegue,

Le S/BV d'oued Bouguedfine est compris dans le bassin Chellif- Zahres, il est drainé par oued Bouguedfine, sa longueur est de 14,6 Km, l'ensemble des thalwegs à une longueur de 155 km.

La figure 28 met en évidence la forte densité du réseau hydrographique au niveau de notre zone d'étude, résultat d'une intense dégradation du sol. La concentration de l'eau à la surface du sol fait apparaître des rigoles, au niveau de ces rigoles les filets d'eau atteignent un pouvoir érosif suffisant pour creuser le sol et aboutissent à la formation des ravines, puis à des ravins profonds à berges escarpées atteignant une profondeur de 2 m.

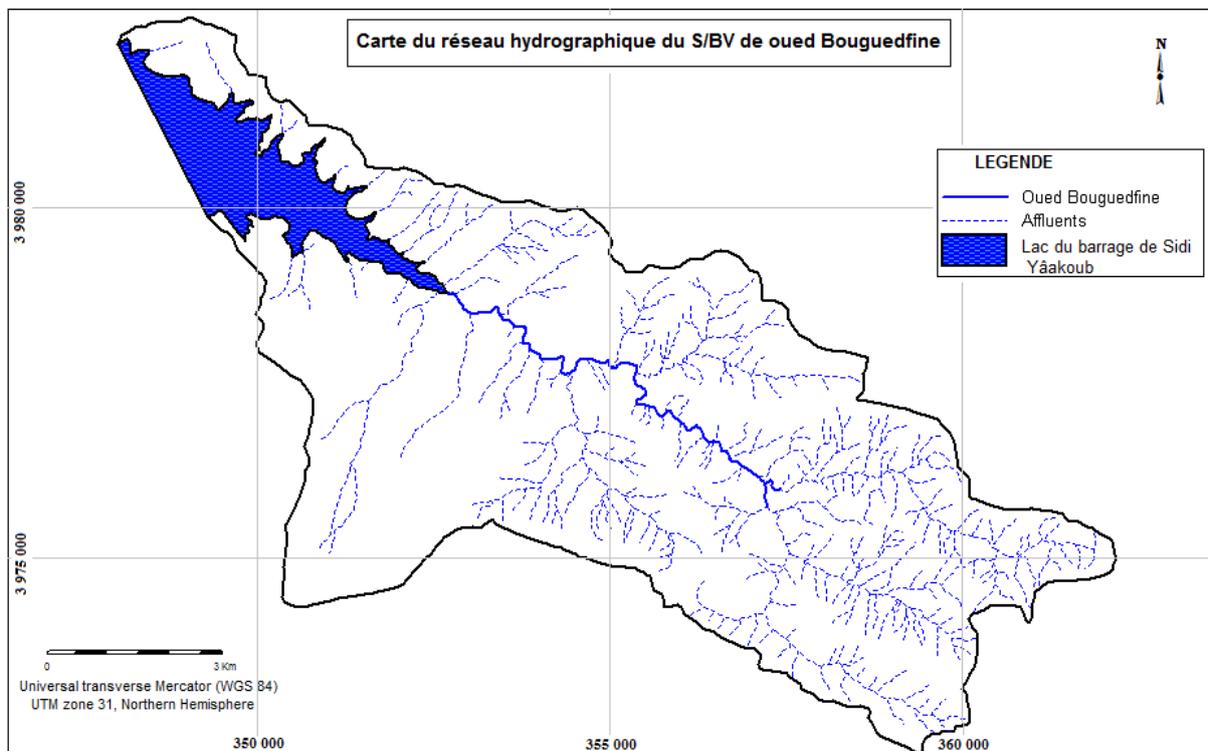


Figure 28 : Carte de l'hydrographie du S/BV de l'oued Bouguedfine.

7. Lithologie

Le S/BV de oued Bouguedfine est situé dans l'ensemble structuro-sédimentaire de l'Atlas tellien. Les lithologies ont été regroupées en 04 classes sur la carte lithologique simplifiée (fig. 29) :

- Calcaire marneux ;
- Le flysch et molasse ;
- Grès calcaire ou marneux ;
- Les dépôts meubles à texture moyenne.

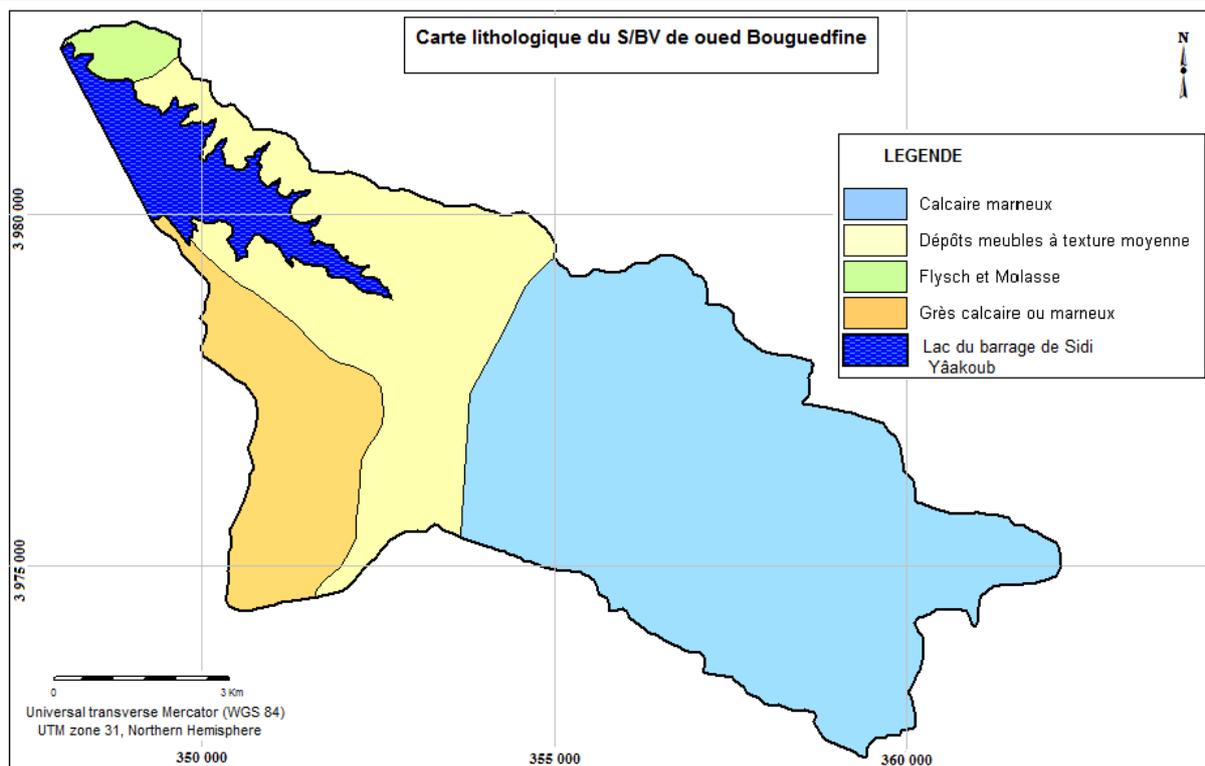


Figure 29: Carte lithologique du S/BV de l’oued Bouguedfine (Lescomplekt, 1983).

La superficie occupée par chaque formation à été calculée, en Km², par rapport à la superficie totale du S/BV (Fig.30).

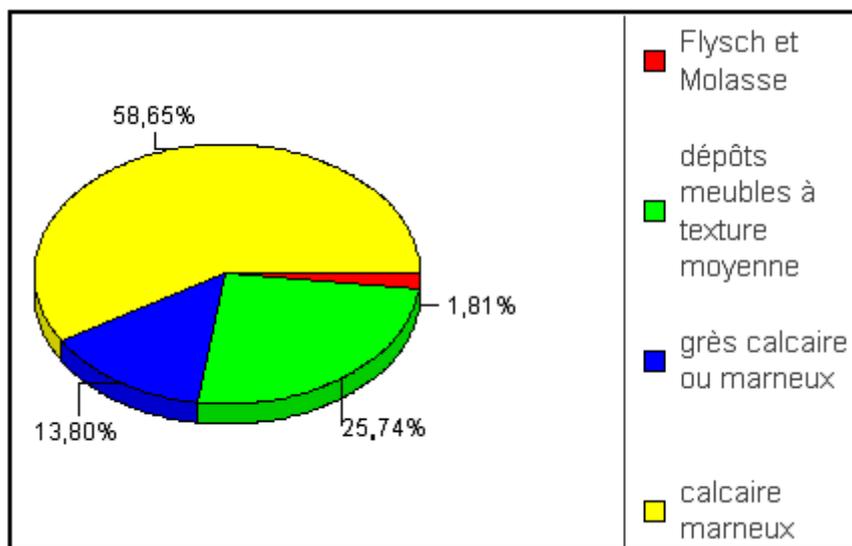


Figure 30 : Répartition des surfaces de chaque classe lithologique du S/BV de l’oued Bouguedfine

Plus de 58% de la surface totale du S/BV est formée par les calcaires marneux. Les sols de la zone marneuse sont susceptibles au ruissellement et au ravinement. La caractérisation des sols sur marne montre qu'ils sont faibles en matière organique, sensibles à la battance, d'où la naissance du ruissellement et de la dégradation du sol.

8. Occupation du sol

Le S/BV de Bouguedfine est couvert à grande portion par des maquis ne laissant habituellement place au massifs forestiers que sur les sommets les plus élevés (Fig. 31), qui se localisent essentiellement au Sud et Sud-Ouest de la zone d'étude, et sur les hautes altitudes de Djebel Saadia, les forêts sont généralement formées de résineux (Pin d'Alep), et une petite portion de feuillues (chêne liège et chêne vert à hautes altitudes).

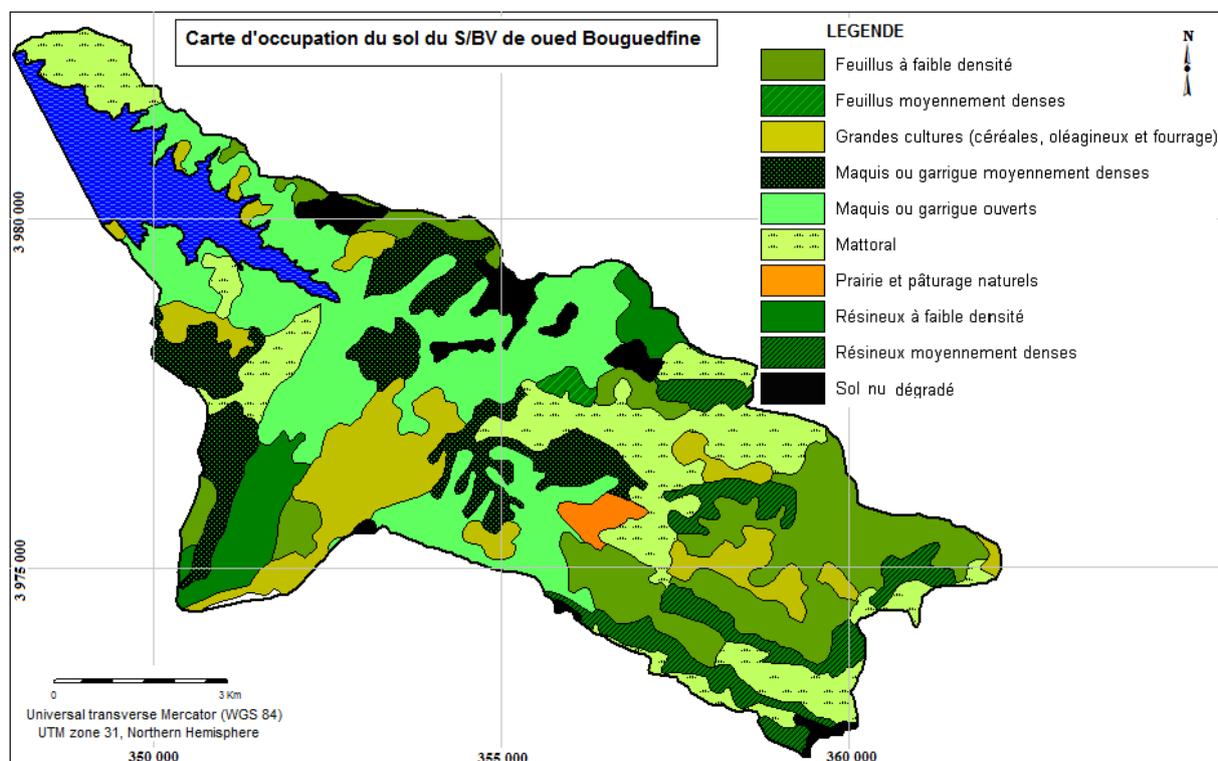


Figure 31 : Carte d'occupation des sols du S/BV de l'oued Bouguedfine (Tecsult, 2006).

Les maquis sont composés à base de lentisques, genévrier, jujubier, olivier sauvage, palmier nain, et d'autres espèces en associations, une faible superficie du S/BV est utilisée pour l'agriculture intensive, en l'occurrence les grande cultures céréalières et fourragères, et ce dans la parie Nord, près du lac du barrage de Sidi Yâakoub.

9. Etude socio-économique

Le S/BV de Bouguedfine s'étend sur 57,39 Km², répartis sur 02 communes (tableau XVIII) appartenant à deux wilayas : Tissemsilt et Chlef (Fig. 32).

Tableau XVIII : Les superficies des communes dans le S/BV de oued Bouguedfine

Wilaya	Commune	Surface en Km ²	Pourcentage de la commune dans le S/BV
Chlef	Ouled Ben Abdelkader	39,31	68,5 %
Tissemsilt	Larbaa	18,08	31,5 %

Source : Conservation des forêts (Chlef, 2010)

Le nombre total d'habitant dans le S/BV de l'oued Bouguedfine est de 1680 habitants, les Douars les plus peuplés sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau XIX : Nombre d'habitants dans le S/BV de l'oued Bouguedfine

Wilayas	Communes	Agglomérations	Nombre d'habitants (2002)
Chlef	O/B/AEK	El Habaîr	186
		Labaîs	244
		Guelaloua	212
		El Labaîs (Dj. Saadia)	198
		Dhahr El Louz (El Fiagh et Brakna)	487
Tissemsilt	Larbaa	Sfielt	373

Source : Conservation des forêts (Chlef, 2010)

La population du S/BV de l'oued Bouguedfine est marquée par un taux de chômage élevé, (Tableau XX), allant de 45% pour la commune de O/B/AEK et 70% pour celle de Larbaa. Le tableau illustre le taux de chômage dans chacune des communes du S/BV.

Tableau XX : Taux de chômage par commune

Wilayas	Communes	Agglomérations	Taux de chômage
Chlef	O/B/AEK	El Habaîr	45%
		Labaîs	
		Guelaloua	
		El Labaîs (Dj. Saadia)	
		Dhahr El Louz (El Fiagh et Brakna)	
Tissemsilt	Larbaa	Sfielt	70%

Source : Conservation des forêts (Chlef, 2010)

Les écosystèmes des bassins versants montagnards sont complexes, fragiles et très sensibles aux phénomènes de dégradation, ce qui plaide en faveur d'une approche globale et multidisciplinaire d'un développement durable de ces zones à travers la démarginalisation des montagnes et leur participation à l'utilisation et à la préservation des ressources naturelles.

8.1. Nature juridique des terres :

Selon les données de la conservation des forêts de Chlef (2010), 70% de la surface totale est de nature privée, alors que 30% seulement est de nature domaniale (fig. 32).

9. Réseau routier :

La figure 33, schématise le réseau routier de la région.

La plupart des fractions du S/BV de oued Bouguedfine sont desservies par des routes goudronnées, seul 15 Km, formés par le chemin de Wilaya (CW 52), situé dans la partie Est de la zone d'étude, sont goudronnés, le reste est un réseau de pistes formé par 117 Km à état dégradé.

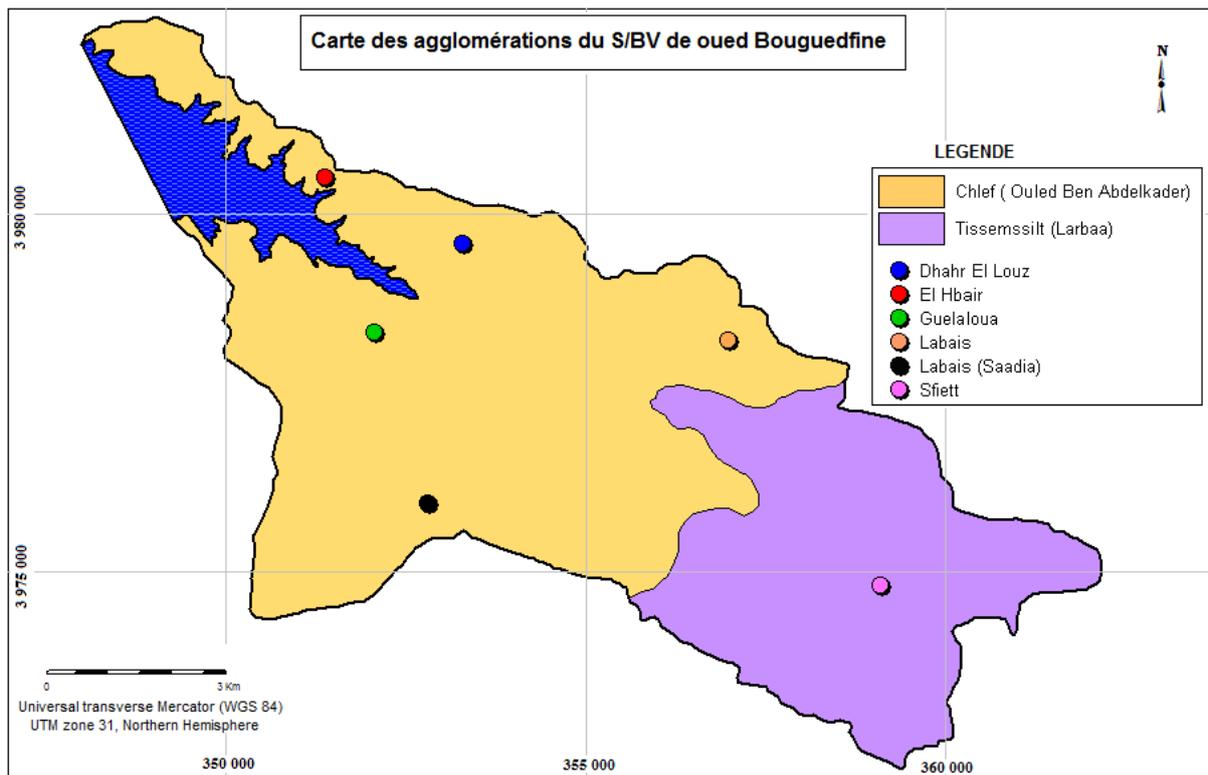


Figure 32 : Carte des Agglomérations du S/BV de l’oued Bouguedfine (Khatib, 1995).

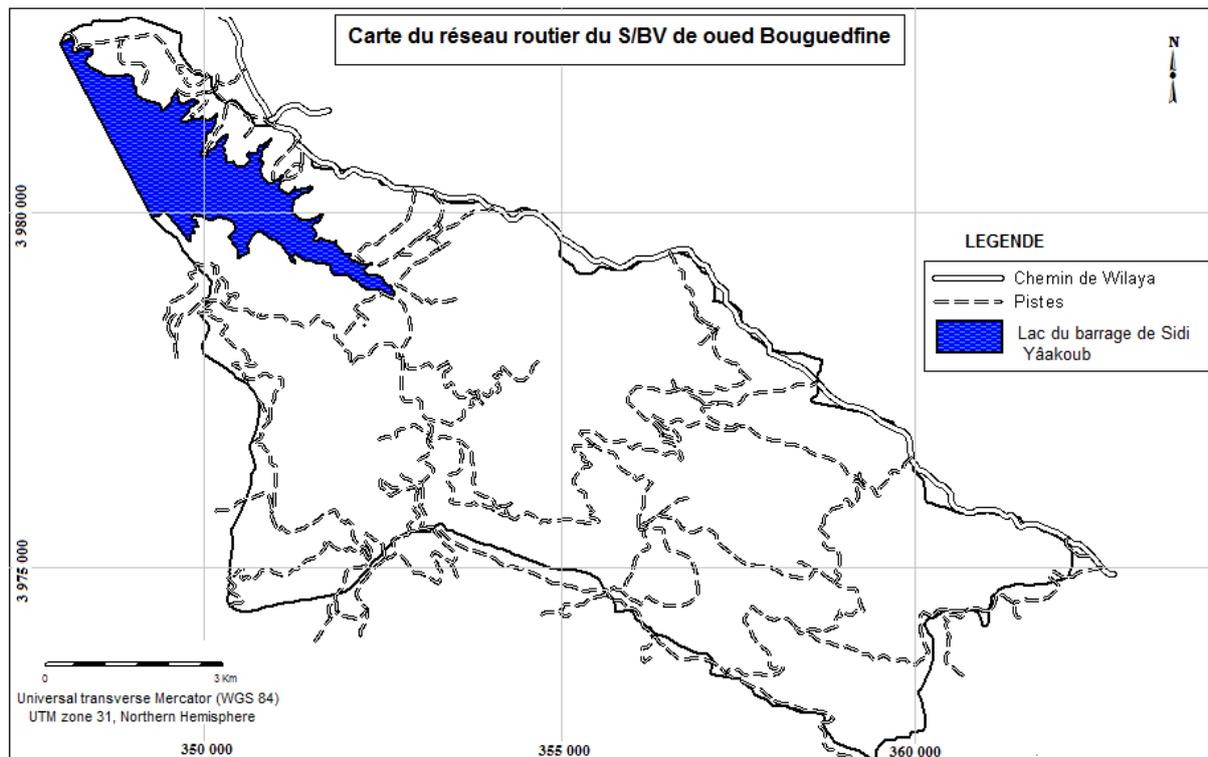


Figure 33 : Carte du réseau routier du S/BV de l’oued Bouguedfine.

IV. Matériels et méthodes

Introduction

Il s'avère toutefois essentiel dans une étude pareille de pouvoir analyser le couvert végétal afin d'identifier les zones problématiques (dégradation). Cette analyse implique la manipulation d'une somme considérable d'informations pour décrire la végétation du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine. Le recours aux systèmes d'information géographique (S.I.G) et à la télédétection est alors de mise.

L'étude de la dynamique de végétation à l'aide des SIG et des images satellitaires, objet du présent travail, a été envisagée afin de doter les différents acteurs (décideurs, gestionnaires etc..) des outils de base pouvant contribuer à une gestion durable du patrimoine en question, en apportant des éléments de réponse aux questions que l'on se pose et qui constituent la problématique de l'étude. Dans ce but, on a procédé à une étude diachronique des images acquises en 1987 (Landsat MSS), en 1999 et celle de 2011 (Landsat ETM+), pour analyser les changements du couvert végétal et identifier les zones de dégradation.

Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée se base sur les points suivants :

- Analyse du couvert végétal et la compréhension de ces changements en fonction des événements climatiques et/ou anthropiques ;
- Etablissement des cartes de végétation sur la base des images satellites « Landsat » ;
- Identification des zones dégradées, en cours de dégradation ou de restauration.

1. Outils utilisés

1. 1. Outils d'analyse :

1.1.1. MapInfo :

On peut résumer les principales caractéristiques de ce logiciel comme suit :

- Opérations de superposition des couches thématiques ;
- Traitements statistiques ;
- Echange de données avec les autres SIG (ArcGis, ArcInfo, etc.) et les logiciels de (CAO/DAO) tel que AUTO CAD ;
- Type de sortie : représentation cartographiques, valeurs numériques ou textuelles, histogrammes, graphiques etc ;
- Disponibilité d'une bibliothèque de symboles cartographiques, de trames et légendes modifiables de façon interactive.
- Efficacité dans la gestion des bases de données ;
- Langage de requête qui permet de mixer les entrées graphiques et non graphiques.

1.1.2. Envi :

ENVI fournit des outils pour la visualisation, le géoréférencement, les prétraitements, la classification et l'analyse des images satellitaires (Thomas et al, 2005.).

Il réponds à la plus part des exigences de base nécessaires pour le traitement d'une image :

- Visualisation et traitement des données de télédétection ;
- Traitement et analyse spectrale de l'imagerie multispectrale et hyperspectrale ;
- Géoréférencement des images ;
- Orthoréctification ;
- Classification et interprétation interactive ;
- Analyse de la végétation à l'aide des indices de végétation (NDVI) ;
- Correction géométrique et radiométrique ;
- amélioration interactive (spectrale et spatiale) d'une image ;
- Calibrage et correction atmosphérique ;
- Support des formats raster et vecteur ;
- Fournis un soutien aux données de télédétection par satellites WorldView-1, QuickBird, Ikonos, Cartosat, ALOS, EROS, Orbview, SPOT, IRS, TERRA (ASTER), Landsat, etc.

1.1.3. Vertical Mapper :

Utilisé pour la rasterisation des tables de MapInfo ainsi que pour l'interpolation.

1.2. Outils de prospection :

1.2.1. G.P.S (Global Positioning System) :

Le but principal d'un G.P.S est de déterminer la position tridimensionnelle (altitude, latitude et longitude) de manière continue et instantanée. Pour notre cas, le G.P.S a été utilisé pour la vérification de l'état de végétation afin de faire une comparaison avec nos images satellitaires.

1.2.2. Appareil photos numérique :

Nous avons utilisé un appareil photos pour photographier les différents états de végétation et les aménagements qui ont été réalisés (reboisements et autres).

2. Acquisition et traitement des données :

Cette phase comporte les étapes suivantes :

La collecte, l'analyse et la numérisation des données.

2.1. Collecte de données :

Deux missions sur le terrain pour reconnaissance et validation des résultats ont été organisées du 24 Avril 2011 et du 12 Juillet 2011 dans le S/BV de Bouguedfine. Elles avaient pour but de :

- Reconnaître et définir les différentes formations végétales et toutes les autres unités thématiques selon leurs réponses spectrales sur les compositions colorées ;
- Vérifier les résultats de l'interprétation visuelle des images satellitaires et apporter des précisions pour les zones difficiles à interpréter ;
- Noter l'impact de l'action humaine sur le milieu naturel dans les changements et dégradations observés;
- Apporter d'autres informations impossibles à extraire des images satellitaires comme la stratification des différentes formations végétales.

Le volume important d'informations à collecter, la grande quantité de documents à inventorier ainsi que la diversité des organismes détenteurs d'informations (Annexe 01) représentent une

grande difficulté dans le processus d'élaboration d'une base de données. Par conséquent, un inventaire exhaustif et structuré de données est nécessaire dans le cadre de notre étude.

L'opération d'inventaire consiste à identifier, décrire et localiser les données relatives aux sous bassins versants de Bouguedfine. Elle est considérée comme étant la phase la plus importante précédant les étapes d'analyse et de numérisation des données, car on ne peut pas aborder la conception d'une base de données sans avoir mener et achever convenablement l'inventaire des données disponibles.

Les données recueillies sont des données cartographiques prises à partir des plans de différentes échelles (complétés par les informations techniques) et un ensemble d'images satellitaires « Landsat ».

2.1.1. Cartes :

Nous avons répertorié des plans à moyennes et petites échelles, ce sont les plans :

➤ *A l'échelle 1/25 000 :*

- Deux cartes topographiques, de Ammi Moussa (numéros : 131-132), établies en 1991 par l'I.N.C.T.

➤ *à l'échelle 1/50 000 :*

- Carte pédologique numéro 01 (partie Nord du BV de oued Sly), réalisée par le groupe Lescomplek (Etude Bulgare, 1983) ;

- Carte topographique, de Ammi Moussa, numéro131, établis en 1991 par l'I.N.C.T;

- Carte d'occupation des sols (Khatib, 1995).

➤ *à l'échelle 1/200 000 :*

- Deux cartes géologiques, une de l'Ouarsenis oriental tirée de « Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie) » de Mattauer (1958), et l'autre de l'Ouarsenis occidental de Polveche (1960).

2.1.2. Images satellitaires :

La mise sur orbite de la série des satellites Landsat résulte d'un projet de la NASA, visant à réaliser un satellite spécifiquement destiné à l'observation de la terre, afin d'évaluer les ressources potentielles (ERTS : Earth Resources Technology Satellite).

Sept satellites Landsat ont été lancés depuis juillet 1972. Depuis, la caméra est évoluée de RBV (Return Beam Vidicon) et MSS (Multi Spectral Scanner) de 1972 à l'ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 1999. La résolution spatiale est passée de 80 m à 30 m (ou 15 m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, le proche infrarouge et le moyen ainsi que l'infrarouge thermique. Le radiomètre ETM+ permet ainsi d'offrir des images couvrant un champ d'observation de 185 km * 185 km, avec une résolution spatiale de 30 m en mode multispectral (Benkrid, 2008).

Le socle de notre travail est un ensemble d'images satellitaires multispectrales et multidates, de type Landsat, formant une série de trois scènes, acquises en 1987 (Landsat MSS), en 1999 (Landsat ETM+) et une dernière en 2011 (Landsat ETM+), à 30 mètres de résolution pour les images ETM+ et 80 m pour MSS (Tableau XXI).

Les images satellitaires Landsat ont été retenues pour leur caractère synoptique sur une vaste zone, leur répétitivité, leur disponibilité sur une longue période (plus de 30 ans) et la possibilité qu'elles offrent par rapport à l'échelle des documents à élaborer.

Tableau XXI : Caractéristiques des scènes étudiées.

Radiomètre	Date d'acquisition	Coordonnées P/R	Bandes spectrales (µm)	Domaine spectral	Résolution spatiale (m)	Cycle orbital
ETM+	07/07/1999 & 01/08/2011	197/35	1. [0,45-0,51]	Bleu	30*30	16 jours
			2. [0,52-0,60]	Vert	30*30	
			3. [0,63-0,69]	Rouge	30*30	
			4. [0,75-0,90]	Proche infrarouge	30*30	
			5. [1,55-1,75]	Infrarouge moyen	30*30	
			6. [10,40-12,50]	Infrarouge thermique	60*60	
			7. [2,09-2,35]	Infrarouge lointain	30*30	
			P. [0,52-0,90]	Panchromatique	15*15	
MSS	30/07/1987	198/53	1. [0,5-0,6]	Bleu	68*83	18 jours
			2. [0,6-0,7]	Vert	68*83	
			3. [0,7-0,8]	Rouge-Proche infrarouge	68*83	
			4. [0,8-1,11]	Infrarouge thermique	68*83	

La date de prise de vue des images a été choisie en saison sèche, de manière à éviter une confusion dans la reconnaissance des espèces ligneuses avec les surfaces couvertes en d'herbacées (espèces annuelles). Durant cette saison (période de différenciation maximale des éléments d'occupation du sol), les ligneux sont encore en activité chlorophyllienne et se distinguent bien spectralement des herbacées sèches (les aires ligneuses sont rehaussées par l'indice de végétation).

2.1.3. Données terrain :

L'utilisation des supports cartographiques engendre des informations incertaines qui ne peuvent être levées que par un renforcement d'observations et de mesures sur terrain. Ces travaux restent indispensables pour deux raisons :

- Certaines variables du milieu physique ne peuvent être mesurées que par des observations de terrain ;
- Les variables mesurées par satellite doivent être calibrées et vérifiées sur terrain.

Dans ce contexte, plusieurs observations ont été effectuées sur le terrain pour la connaissance du milieu physique ainsi que pour le repérage des différents types d'occupation du sol de notre zone d'étude (correction géométrique des cartes à partir de points remarquables relevés au GPS) grâce à deux sorties dans le sou bassin versant de Bouguedfine (Avril 2011, et Juillet 2011).

2.2. Analyse des données

L'analyse des données consiste à déterminer les caractéristiques des documents à retenir, pour bien appréhender et représenter le sous bassin versant de Bouguedfine. Le problème rencontré lors de l'analyse des données réside dans la déféctuosité des archivages existants concernant les plans de la zone d'étude. Cela entraîne forcément la dégradation des plans, par conséquent la perte des informations, dans ce cadre plusieurs corrections ont été faites (voir Annexe 02).

Pour ce qui est des images satellitaires, l'acquisition des trois images dans leurs états initiaux implique de passer par une étape de prétraitement qui consiste à faire une correction des bruits

et une calibration des pixels. Cette étape permettra d'améliorer l'aspect des images pour une meilleure analyse visuelle et une bonne interprétation numérique.

2.2.1. Prétraitement

Les prétraitements d'images ont pour but d'augmenter la lisibilité des données et de faciliter leur interprétation et une meilleure extraction de l'information. Ces opérations préliminaires s'appliquent au travers des améliorations radiométriques et des recalages géographiques effectués après l'étalement linéaire des histogrammes de chaque bande spectrale pour améliorer le contraste (Tabopda et Fotsing, 2010). Les deux principales phases de cette étape sont :

2.2.1.1. Correction atmosphérique :

Selon Soudani (2006), le principe de cette correction est de convertir les valeurs numériques (en niveau de gris) de la scène en valeur de luminance et par la suite extraire les effets perturbateurs atmosphériques qui donnent une mesure physique de la réflectance au niveau de la surface visée.

Plusieurs méthodes sont utilisées dans la correction atmosphérique. Pour Song et al, 2001, la méthode DOS (*Dark Object Subtraction*) est la meilleure expression des deux variables (luminance et réflectance) et aussi la plus précise par rapport aux autres méthodes de correction atmosphérique. A l'aide du logiciel ENVI 4.7, on a converti les valeurs numériques de nos images en valeurs de luminance pour en suite les calibrer en réflectance :

- Luminance : qui est la puissance électromagnétique rayonnée par une surface dans une direction donnée, est exprimé par la relation suivante :

$$L_{sat}^i = \frac{DC^i}{G^i}$$

DC : compte numérique en niveau de gris

G : Facteur de calibration absolu ($W \cdot l \cdot m \cdot sr \cdot \mu m$) avec *i* : la band spectrale concernée.

- Réflectance : est l'aptitude d'un milieu à réfléchir vers le capteur du satellite l'énergie qu'il a reçue :

$$P^i = \frac{\pi(L_{sat}^i - L_p^i)}{T_v(T_z E_0^i \cos \theta_s d^2 + E_{down})}$$

Où E_0 le rayonnement équivalent exo-atmosphérique donner (Tableau XXII), pour chaque bande et pour chaque type d'instrument, dans le cas de notre satellite, l'éclairement solaire exo atmosphérique est donné pour TM 5 et ETM7+.

Tableau XXII : Rayonnement équivalent exo-atmosphérique (Landsat).

	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Pan
$E_0(W/m^2 \cdot \mu m)$ TM5	1958	1828	1559	1045	219.1	74.57	
E_0 (ETM7+)	1969	1840	1551	1044	225.7	82.07	1368

θ_s est l'angle zénithal solaire au moment de l'acquisition de l'image = $90 - E$ (angle d'élévation), d^2 est le carré de la distance Terre-Soleil en unité astronomique ($d = 1 - 0.01674 \cos(0.9856(JD-4))$) où JD est le jour Julien de l'acquisition de l'image.

T_v et T_z sont les transmittances de l'atmosphère dans les directions de vue et solaire, respectivement.

E_{down} : est le rayonnement diffus descendant.

L_p^i : est la contribution de l'atmosphère dans la luminance mesurée au niveau du capteur satellitaire (path radiance).

2.2.1.2. Correction géométrique « Géoréférencement »

Moquet (2003) la définit comme l'opération qui consiste à transformer géométriquement une image pour la rendre conforme à la projection cartographique désirée, et de la rééchantillonner selon un pixel carré de grandeur standard. Chaque pixel est alors positionné dans cette projection. Dans cette étude, la rectification est effectuée par l'acquisition des points de calage figurant sur les cartes topographiques (projection *UTM*, *WGS 84*, *fuseau 31 Nord*). Cette opération nécessite beaucoup d'attention et de rigueur.

Le but de cette étape est de réduire les déformations géométriques intervenues lors de l'enregistrement de la scène telles que les distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre, variation d'altitude au sol, réfraction atmosphérique...), les distorsions dues aux erreurs des systèmes de mesure et les distorsions provenant des mouvements de la plate-forme (roulis, tangage, lacet).

Après l'amélioration radiométrique, le géoréférencement et le calcul des coefficients de corrélation entre les différents canaux, une observation des bandes brutes est indispensable. Nous avons tout d'abord procédé à l'extraction, à partir de l'image de Landsat, d'une fenêtre de travail correspondant aux limites du sous bassin versant de Bouguedfine (fig. 34). Le contour de ce dernier, généré dans un SIG (MapInfo) a permis sa localisation sur les images traitées. Selon Bensaid et al., (2003), les SIG permettent de disposer d'informations pertinentes, fiables et mises à jour, ainsi que valider l'analyse spatiale des données aussi bien cartographiques que statistiques.

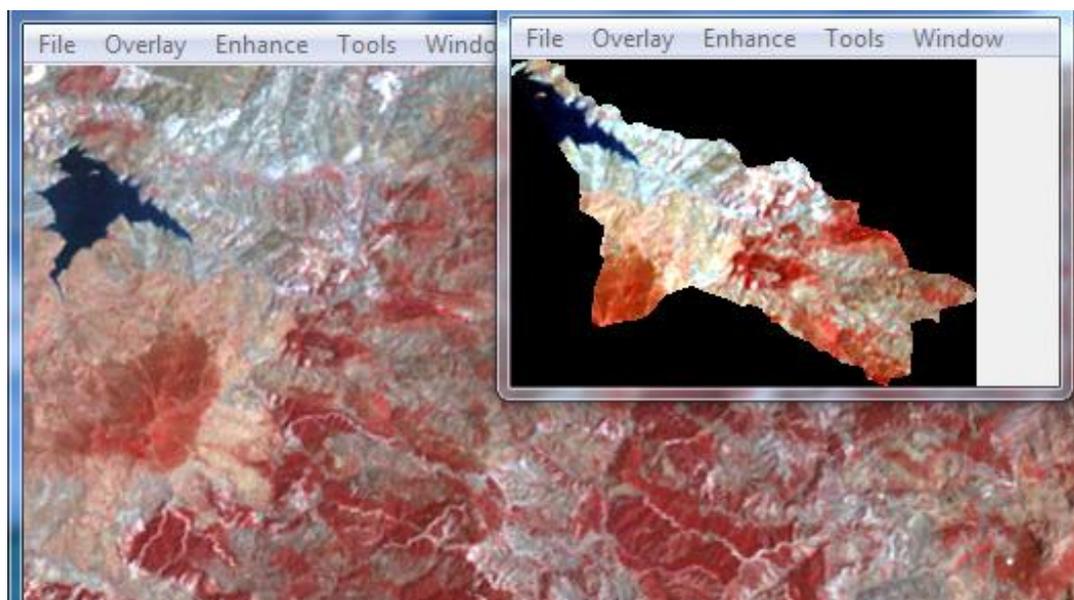


Figure 34 : Extraction de la zone d'étude.

2. 2. 2. Numérisation des données

La rigidité des plans et des cartes traditionnels sur papier ou sur calque ne répond plus aux besoins d'aide à l'analyse de la dynamique de végétation et la nécessité de disposer d'informations géographiques numérisées est ressentie par un grand nombre d'utilisateurs : service technique, bureaux d'études, etc. Il est alors indispensable de procéder à une numérisation des données.

La numérisation consiste à remplacer les traditionnels plans papier difficiles à manipuler et complexes à mettre à jour par des plans numérisés où l'on retrouve de manière bien différenciée (symboles, couleurs...). Les cartes ou plans à différentes échelles, font partie des éléments indispensables à la connaissance du patrimoine que représente le sous bassin versant.

La numérisation (digitalisation) sur écran consiste à faire évoluer un curseur sur une carte scannée de dimensions variables entre le format A4 (297 x 210 mm) et le A0 (1188 x 840 mm), et préalablement calée en coordonnées.

Cette méthode se révèle la mieux adaptée aux nécessités de notre étude car elle permet de saisir la géométrie des objets graphiques élémentaires : point, ligne ou polygone.

3. Saisie et manipulation des données

Après le traitement des données brutes, on obtient des données utiles pour la conception de la base de données.

Les données telles quelles sont recueillies durant l'inventaire et l'analyse ne peuvent être intégrés directement à la base de données. Pour leur intégration, on doit passer par les étapes illustrées dans l'organigramme suivant (fig. 35) :

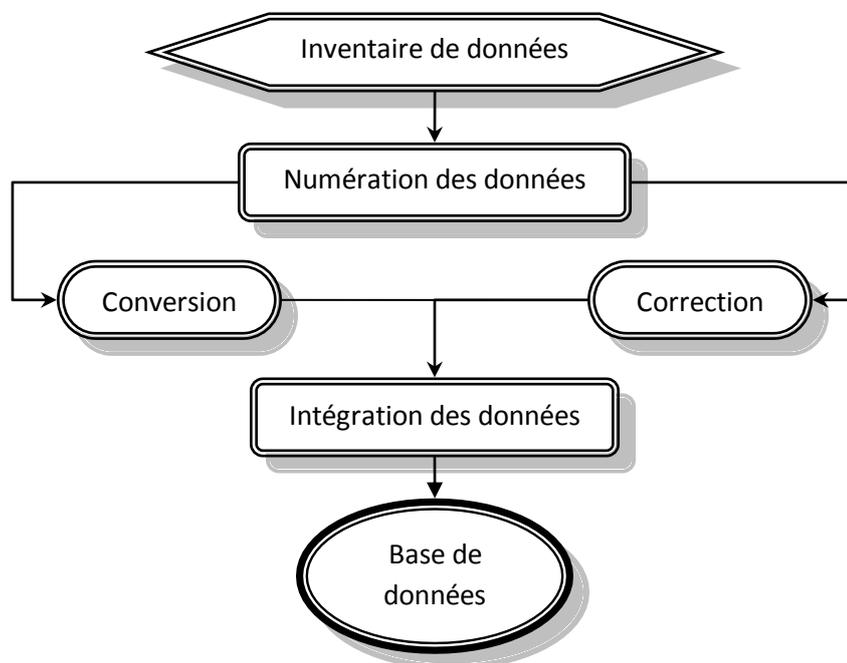


Figure 35 : Etapes principales pour la construction de la base de données.

A partir de fichier digitalisé sur écran (MapInfo) représentant le sous bassin versant de Bouguedfine, les étapes d'importation sont illustrées dans l'organigramme suivant (fig. 36).

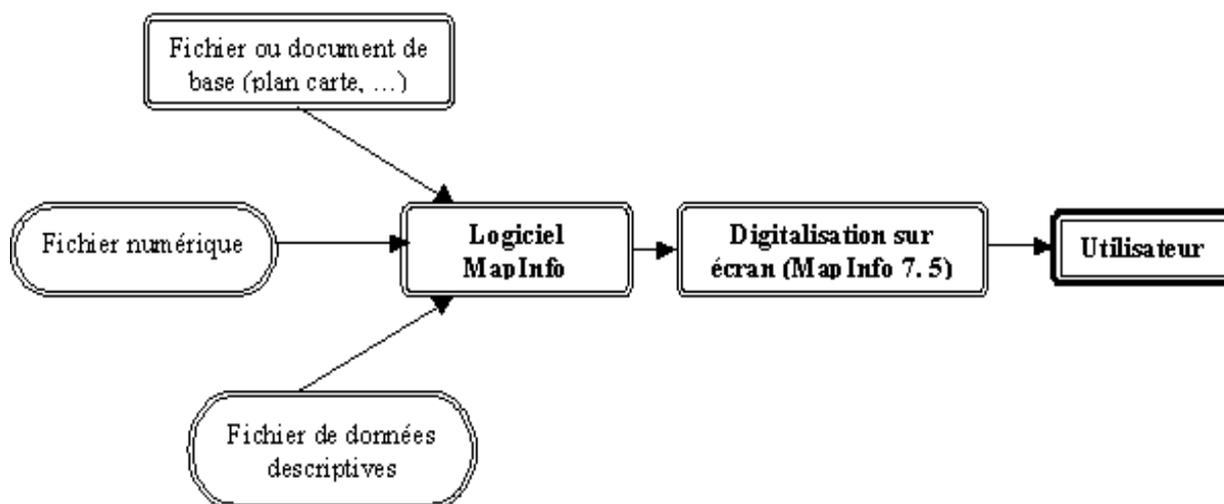


Figure 36 : Structuration de la numération des données.

Pour géoréférencer notre support cartographique, on a opté pour la projection U.T.M (WGS 84) Zone 31 Nord, pour le plan de notre site d'étude.

4. Compositions colorée et choix de la meilleure trichromie :

La trichromie idéale devrait permettre la distinction d'un maximum de nuances sur le terrain et éviter la redondance entre canaux (Hirche 1995, Girard et Girard 1999). Cette dernière peut être estimée par l'analyse des coefficients de corrélation canal par canal. La trichromie a été établie à partir de la combinaison des canaux B1, B2, B4 de l'image Landsat.

À partir de ces trois canaux, une composition colorée a été maintenue, dans l'ordre colorimétrique Rouge, Vert, Bleu (fig.37). De la sorte, on obtient une image synthétique enrichie de l'apport spécifique de chacune des trois bandes spectrales. Selon Bougherara (2010), le choix des bandes spectrales affichées est fait en fonction des propriétés spectrales des éléments d'occupation du sol de la zone d'étude. D'après Tsayem-Demaze et al (2001), les enregistrements du PIR contribuent de manière significative à la discrimination des couverts végétaux, alors que les enregistrements du SWIR (Short Wave Infra Red) complètent ceux de la bande spectrale rouge et confortent ainsi l'interprétation visuelle. C'est sur ces compositions colorées que nous avons extrait la végétation de notre zone d'étude afin de la quantifier et étudier son évolution à partir des classifications d'images.

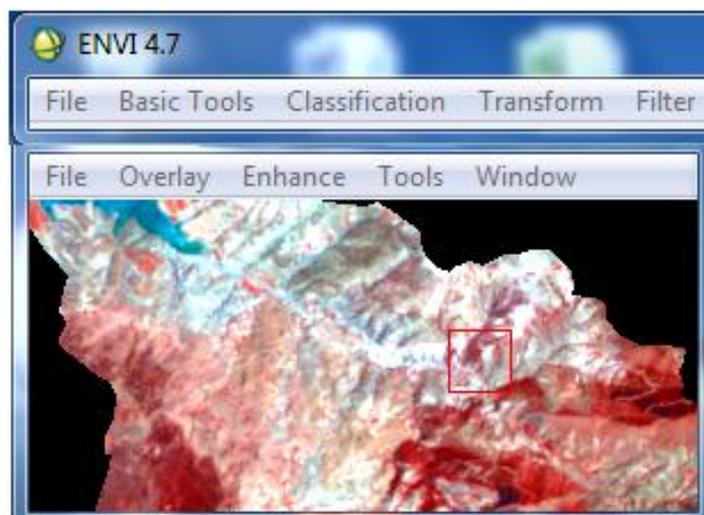


Figure 37 : Composition colorée.

5. Approche méthodologie :

L'hypothèse de départ est un couplage entre la télédétection et un SIG, combinant les données provenant d'images satellitaires, de la réalité de terrain et d'un ensemble de cartes (topographique, pédologique, géologique et autres), permet une intégration automatique d'une somme de données suffisantes pour identifier les zones de changement et aider à en comprendre les mécanismes de dynamique du couvert végétal.

La méthode qui va être présentée a été mise en œuvre pour une évaluation quantitative de l'organisation spatiale de la couverture végétale en zone semi-aride, à partir des images satellites. Elle relève essentiellement de l'analyse visuelle d'images en compositions colorées, après les pré-traitements d'augmentation de contraste ou traitements spécifiques.

L'information contenue dans les images satellitaires est traitée et analysée par deux approches: une approche analytique et une approche statistique.

5.1. Approche analytique « analyse visuelle » :

D'après Provencher et Dubois (2007), elle consiste en l'application à l'image satellitaire de la méthode classique de la photo-interprétation. Ainsi, l'examen sur écran des compositions colorées des images a permis d'identifier des zones homogènes grâce aux critères de couleurs et de texture et d'expliquer leur répartition dans l'espace. L'analyse des images disponibles a permis de suivre les changements qui ont affecté les paysages entre 1987 et 2011. Cette lecture s'est faite sur les compositions colorées mentionnées plus haut.

Cette interprétation reste approximative à cause de l'intervention de divers facteurs tels que la réflexion du sol (qui dépend essentiellement de sa structure, de sa texture et de la pente), du taux de couvert végétal et de la texture et de la structure de l'image. Selon Tarhouni et al., (2007), toute confusion entre les unités de végétation sur l'image nécessite une vérification de la « réalité terrain » sur le lieu d'étude.

5.2. Approche statistique « Classification des images » :

La classification est l'opération qui permet de saisir automatiquement les différentes composantes du S B/V sans passer par la numérisation à l'écran. Kemmouche et al., (2008), notent que l'image résultante sera une image à k couleurs, k étant le nombre de classes fixé par l'opérateur.

La voie que l'on a choisie est la classification supervisée. En effet, nous nous sommes reposés sur les données de terrain recueillies, pour caractériser et classer les territoires en différentes classes de paysages. Cette opération a été réalisée à l'aide du logiciel de traitement d'images « ENVI ».

La classification dirigée utilise les objets bien définis en groupe de pixels appelés des sites d'entraînement. Ces sites d'entraînement servent selon Duminil (2007), de base pour les calculs des algorithmes de classification. Pour notre cas, le choix des zones d'entraînement a été effectué en fonction des données de référence fournies des plages de couleurs suffisamment uniformes, par des objets identifiés sur le terrain et par l'interprétation visuelle de la composition colorée.

Nous avons choisis d'utiliser la méthode par « Maximum de vraisemblance » pour son utilisation très répandue en télédétection. De plus, d'après le même auteur (Duminil, 2007), cette méthode est très satisfaisante mathématiquement car les pixels sont classés selon une méthode probabiliste (elle considère que toutes les classes ont une probabilité *a priori* identique).

Selon Tabopda et Fotsing (2010), la comparaison multirate peut s'avérer difficile dans le cas où les éléments détectables seraient différents d'un capteur à l'autre. Il en est de même pour les pixels mal classés à l'issue d'une opération de classification. Ils ne peuvent avoir une grande influence sur les grandes tendances de l'occupation du sol que si leur proportion est considérable. La délimitation et le calcul des surfaces sont ensuite obtenus par un traitement sur SIG.

5.3. Validation et amélioration de la classification

Pour la validation de la classification, on estime le pourcentage des pixels à l'intérieur de chaque classe, ainsi qu'utiliser la matrice de confusion pour déterminer la pertinence et la qualité de classification.

Le support Google Earth à haute résolution spatiale permet aussi la reconnaissance visuelle des classes considérées. Apparues en début d'année 2010, elles seront utilisées comme source d'informations supplémentaires pour valider la carte de recouvrement de l'année la plus récente.

Les trois images Landsat (1987, 1999 et 2011) ont permis la réalisation de trois cartes indépendantes, qui seront ensuite croisées pour générer une carte de dynamique, montrant des unités territoriales ayant connu soit une augmentation, une diminution, ou encore un état stationnaire du recouvrement durant la période d'observation (1987 à 2011).

La démarche adoptée se récapitule comme suit (fig.38) :

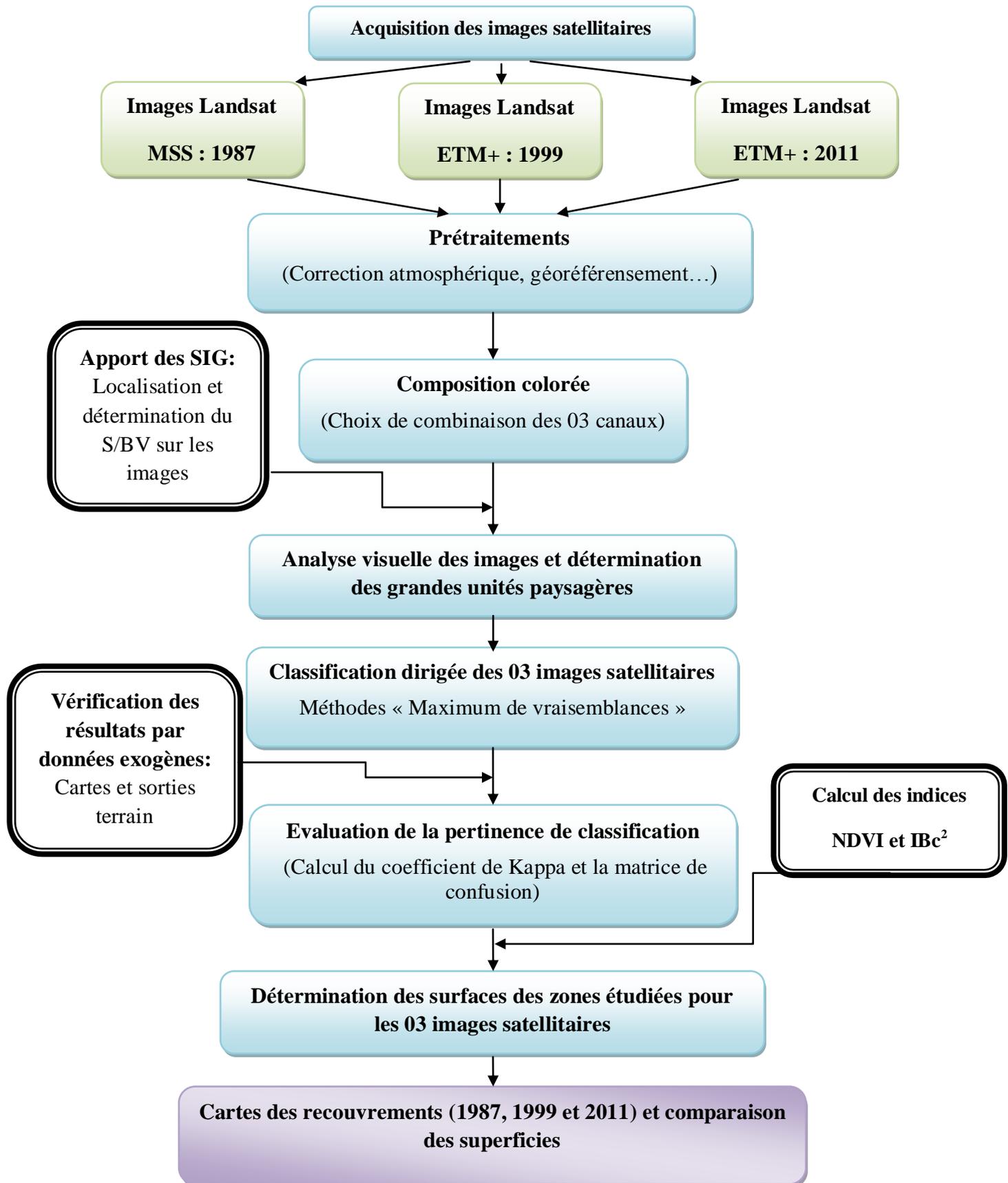


Figure 38 : Approche méthodologique

6. Détection des changements par calcul des indices :

La connaissance et la prise en compte des différentes caractéristiques spectrales des objets permettent d'envisager des méthodes d'analyse basées sur l'emploi simultané de plusieurs canaux d'acquisition, sous forme de combinaison linéaire ou de rapports. Ces valeurs synthétisent l'intensité d'un phénomène trop complexe pour être décrit par des paramètres simples et connus (Bannari et al., 1995).

Il existe plusieurs indices utilisés à des fins thématiques, selon leurs caractères thématiques, nous avons choisi deux indices susceptibles de répondre à notre objectif, leur calcul est effectué automatiquement par des fonctions disponibles dans le logiciel ENVI (fig. 39 et 40). La formulation des fonctions des différents indices ainsi établie, on procède progressivement à leurs introductions dans le logiciel qui fournit un résultat sous forme d'image.

6.1. Indice de végétation « NDVI » :

Il utilise explicitement la grande différence entre les réflectances du rouge et du proche infrarouge. Cependant, cet indice n'est efficacement utilisable que pendant les périodes végétatives, lorsque l'activité chlorophyllienne est importante.

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R}) / (\text{PIR}+\text{R}) \dots\dots (\text{Rouse et al., 1974}).$$

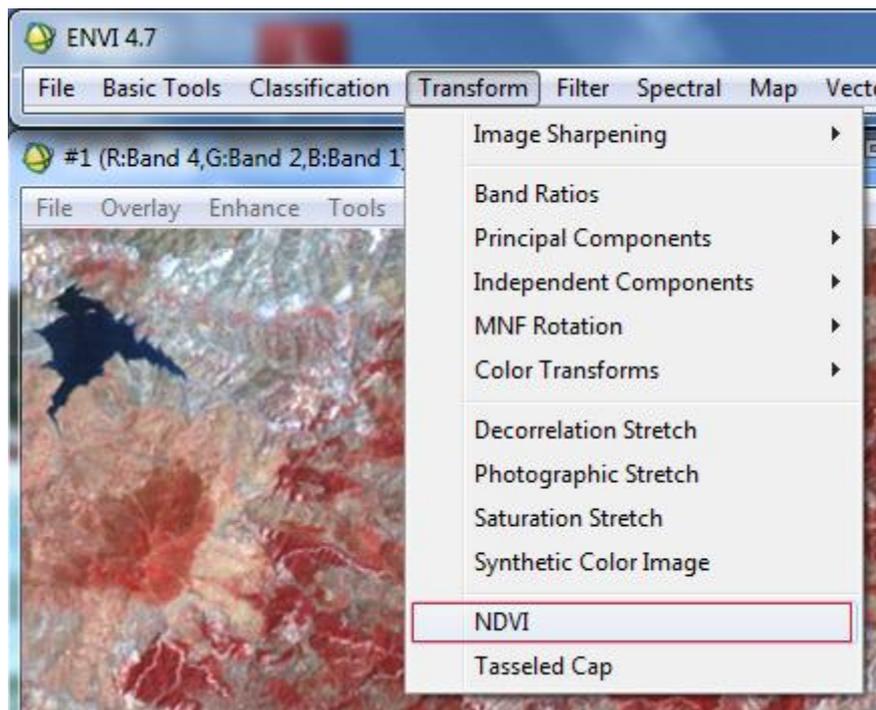


Figure 39 : Calcul d'INDVI.

De plus, cette étude propose d'exploiter une autre combinaison de canaux visibles et infra-rouge, il s'agit d'indice de brillance.

6.2. Indice de brillance « IBC^2 »:

Selon Deshayes et Maurel (1990), l'indice de brillance traduit les teintes des sols nus et des roches. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les deux canaux. Cet indice n'est donc que la représentation physique de la droite des sols. Cet indice varie de manière inversement proportionnelle avec l'humidité et la rugosité du sol. L'augmentation de la teneur en eau s'accompagnant d'une diminution de la pureté de la luminance de la couleur.

Cet indice de brillance (nommé aussi l'indice de brillance classique) s'exprime par :

$$IBC^2 = V^2 + R^2 + PIR^2 \dots\dots (\text{Manière et al., 1993}).$$

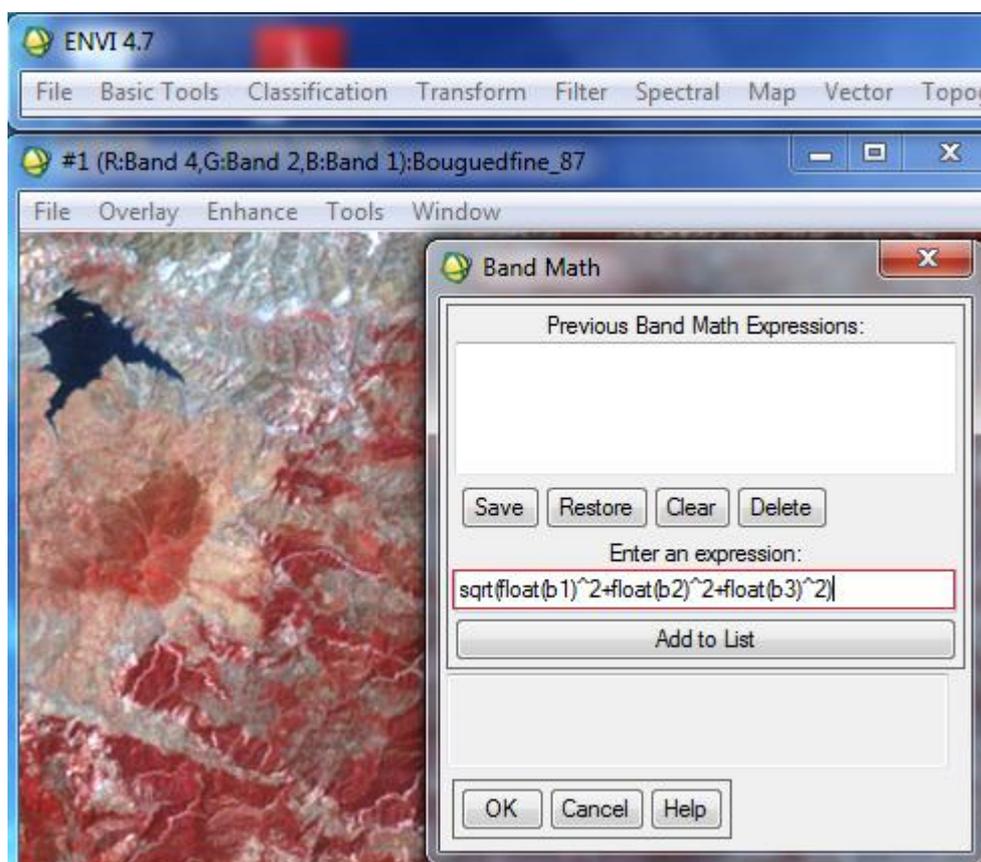


Figure 40 : Calcul de l' IBC^2 .

V. Résultats et discussions

1. Analyse des images satellitaires

Le traitement des images satellitaires utilisé pour l'étude de dynamique de la végétation nous a permis d'améliorer la qualité des pixels sur les images (correction atmosphérique et radiométrique), grâce au modèle DOS (Dark Object Substraction), où on a pu corriger les effets perturbateurs atmosphériques.

A l'aide du logiciel *ENVI 4.7*, on a converti les valeurs numériques de nos images en valeurs de luminance pour en suite les calibrer en réflectance (Fig. 41). Les valeurs de réflectance, vont bien discriminer la variabilité spatiale de la végétation dans notre région.

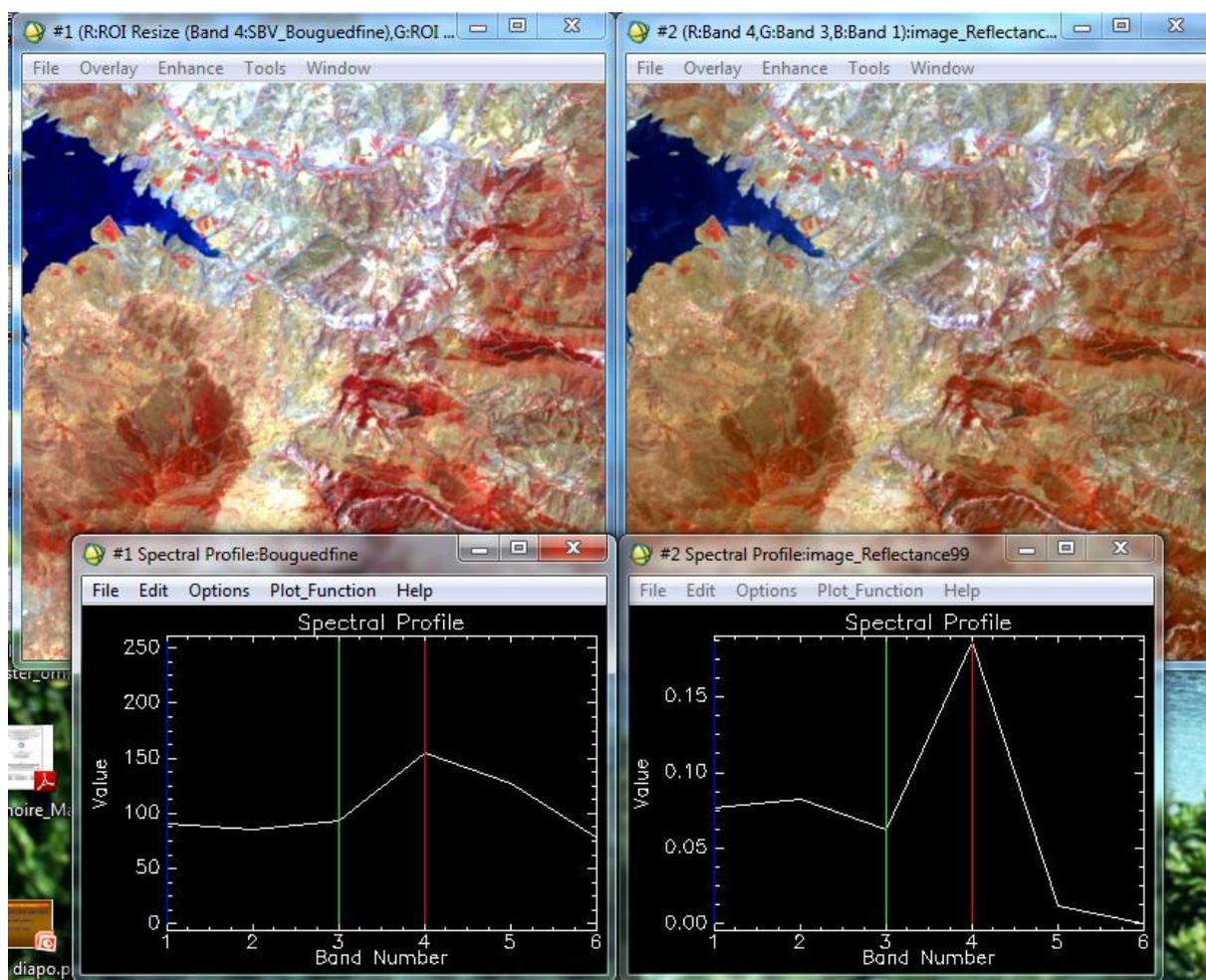


Figure 41 : Correction atmosphérique.

La figure 41, montre les différences visuelles et spectrales entre une image brute et une image corrigée. Du point de vue visuel, une amélioration a été faite dans la netteté de l'image facilitant ainsi l'interprétation visuelle par une meilleure distinction entre les objets de l'image. Toutefois, c'est au niveau du résultat numérique que la différence est plus claire. A titre d'exemple, la représentation graphique du spectre issu d'une parcelle agricole montre une discrimination plus importante dans la réponse spectrale entre les mêmes objets pour la même zone après la correction de l'image et la transformation des comptes numériques en

réflectances. C'est ainsi qu'on peut voir une augmentation dans la réponse de l'infrarouge montrant une différence élevée entre cette longueur d'onde et les réponses dans le visible.

Avant de réaliser notre classification, plusieurs compositions colorées ont été élaborées pour sélectionner celle qui offre plus de contrastes. Le rehaussement de celle-ci fait ressortir la végétation en rouge (en fonction de la densité et du stade phénologique du couvert végétal), les sols en nuances de blanc et l'eau en bleu.

2. Classification supervisée : Maximum de vraisemblance :

La classification supervisée par maximum de vraisemblance est la méthode de classification retenue, elle a été réalisée sur le logiciel de traitements des données satellitaires « ENVI ». Cette classification se base sur des méthodes probabilistes. Elle consiste, selon Omari (2005), en une affectation des pixels aux classes préalablement définies et qui semblent les plus proches selon une distance calculée, basée sur la probabilité qu'à un pixel d'appartenir à une classe donnée. Une restitution cartographique est donnée par l'algorithme du maximum de vraisemblance (Kermad, 1989).

D'après Bonn et Rochon (1993), le recours à cette méthode nécessite une connaissance des objets à classifier et par conséquent, les aires d'entraînement (Fig. 42) doivent être choisies avec beaucoup de soin de sorte à être les plus représentatifs possibles de la dynamique spectrale de chacun d'eux. Ces derniers doivent être caractérisés par une homogénéité radiométrique plus ou moins régulière. Chaque classe doit être représentée, selon Girard et Girard (1999), par au moins quatre zones d'apprentissage rassemblées, dont l'effectif total des pixels doit être supérieur ou égale à 200 pixels.

Omari (2005) note que l'algorithme du maximum de vraisemblance prend en considération la covariance des classes spectrales lors de l'affectation des pixels.

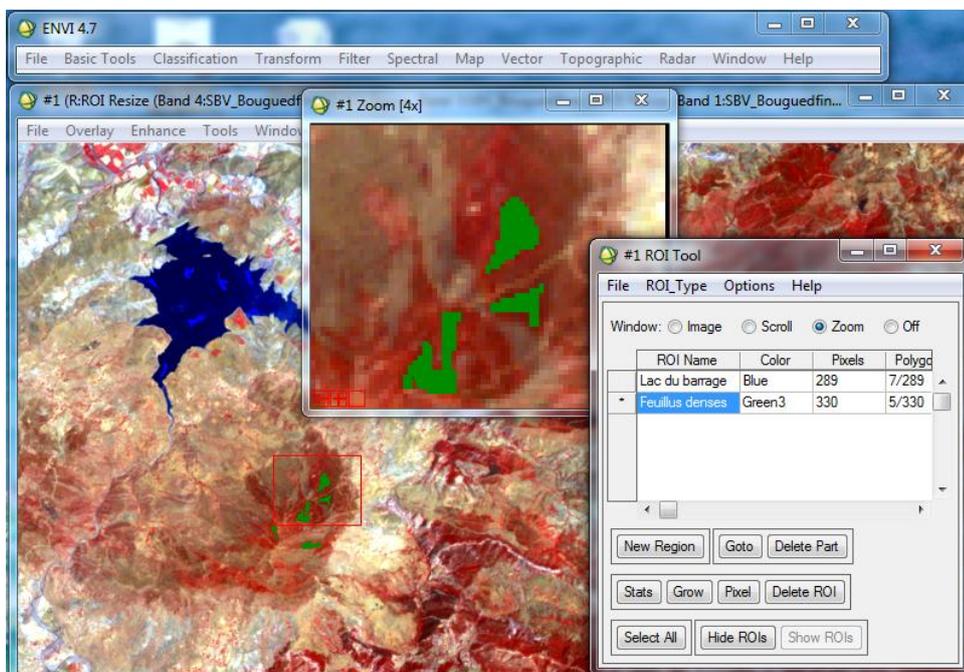


Figure 42 : Choix des aires d'entraînement (region of interest)

2.1. Détermination des classes :

Le croisement entre les cartes thématiques en particulier, la carte de végétation d'une part, et les informations acquises lors des prospections du terrain d'autre part, en plus des résultats issus de l'interprétation visuelle de l'image satellitaire, on a pu retenir huit (8) classes (Fig.43), à savoir :

2.1.1. Feuillus dense :

cette classe est représentée par la forêt de Saadia, se trouvant dans la partie Nord-Est de la zone d'étude, au sommet de Djbel Saadia, ces formations sont très localisées, elles sont caractérisées essentiellement par le chêne liège (*Quercus suber L.*) et le chêne zéen (*Quercus canariensis*).

2.1.2. Feuillus claire :

Juste au dessous de la classe précédente, à faible densité, sur Djbel Saadia, les espèces les plus répondu (strate arborée) sont : le chêne liège (*Quercus suber L.*) et le chêne zéen (*Quercus canariensis*), le Chêne kermès (*Quercus coccifera*) et le Chêne vert (*Quercus ilex*).

2.1.3. Résineux :

Formation végétale à base de Pin d'Alep (*Pinus halipensis*), couvre en majorité la partie sud du sous bassin de Bouguedfine (forêt de Kaaricha et forêt de Bousalah).

2.1.4. Maquis denses :

les maquis denses de la région en question constituent un domaine complexe, les espèces dominantes sont : Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus L.*), chêne vert (*Quercus ilex*), Genévrier (*Juniperus oxycedrus*), Olivier commun (*Olea europaea*), Asphodèle ramifié (*Asphodelus ramosus*), la Filaire (*Phillyrea angustifolia*), le Thym (*Thymus vulgaris*), le Romarin (*Rosmarinus officinalis*), les Cistes, la Lavande (*Lavandula angustifolia*), le Myrte (*Myrtus communis*) et la Bruyères arborescentes (*Erica arborea*).

2.1.5. Maquis ouvert :

Répartis sur la totalité de la zone, les maquis claires sont composés essentiellement par : Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus L.*), Calicotome épineux (*Calicotome spinosa*), Jujubier (*Ziziphus lotus*), L'asphodèle ramifié (*Asphodelus ramosus*), Palmier nain (*Chamaerops humilis L.*), Disse...ect.

2.1.6. Cultures :

les cultures (céréaliculture et culture maraîchère) avoisinent généralement les chenaux d'oueds alluvionnés, dans la région d'étude, elles sont implantées à proximité immédiate du lac de barrage de Sidi Yâakoub.

2.1.7. Sols nus :

Vu la saison de prise d'image, cette classe englobe les sols nus en toutes catégories, sol nu en jachère, dégradé ainsi que les Badlands. Ils sont plus abondants vers le Nord.

2.1.8. Lac du barrage :

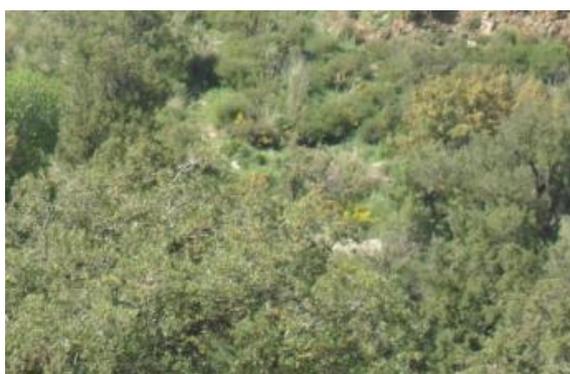
Surface d'eau du barrage de Sidi Yâakoub.



FD : Feuillus dense



FC : Feuillus claire



MD : Maquis denses



MO : Maquis Ouverts



RS : Résineux



CLT : Cultures



SN : Sols nus



LB : Lac du barrage

Figure 43 : Aperçu photographique des classes.

2.2. Résultat de la classification :

Pour les images classées (fig. 44, 45, 46) des années 1987, 1999 et 2011, les couleurs ont été attribuées pour représenter plus ou moins la réalité terrain d'une part et différencier visuellement les différentes classes d'autre part. Les images ainsi classées font ressortir les thèmes suivants : Feuillus denses, feuillus claires, résineux, maquis dense, maquis ouvert, cultures, sol nu et lac du barrage.

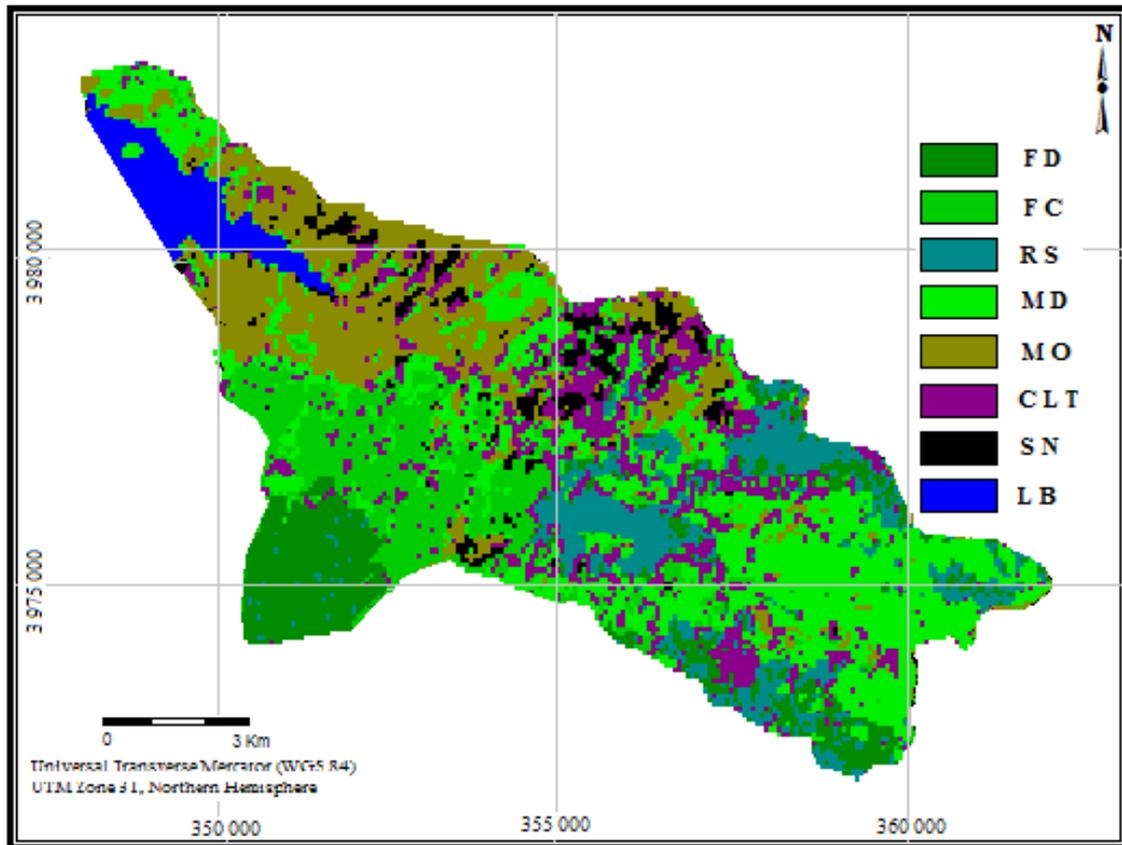


Figure 44 : Image classée retenue pour l'année 1987.

Où :

FD : Feuillus denses ; **FC** : Feuillus claires ; **RS** : Résineux ; **MD** : Maquis dense ; **MO** : maquis ouvert ; **CLT** : Cultures ; **SN** : Sol nu et **LB** : Lac du barrage.

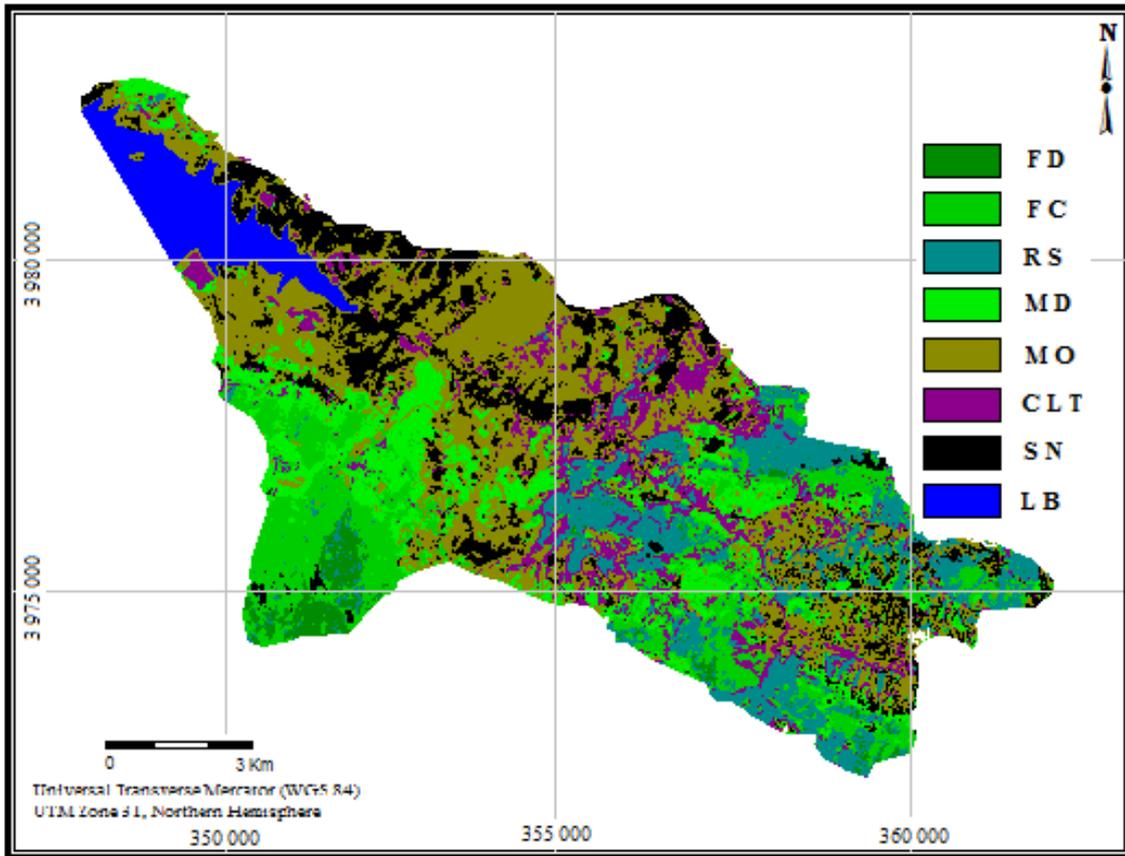


Figure 45 : Image classée retenue pour l'année 1999.

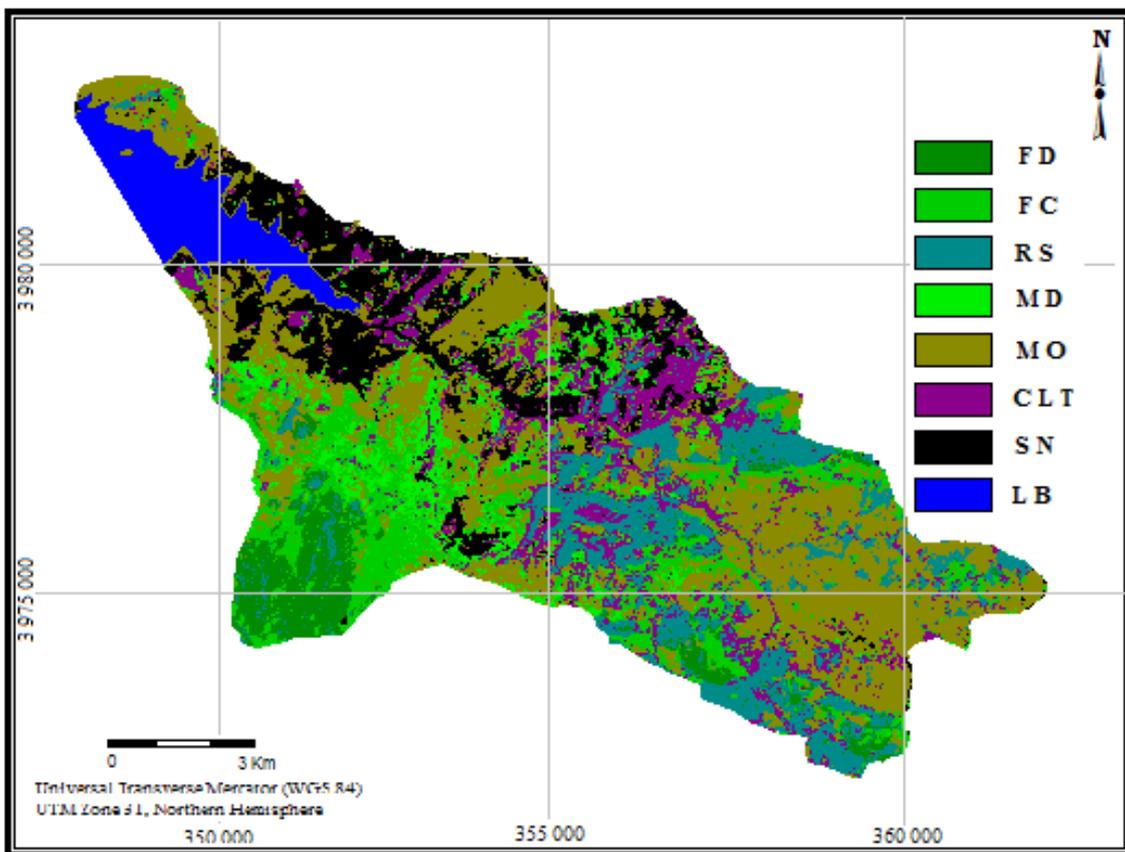


Figure 46 : Image classée retenue pour l'année 2011.

2.3. Validation de la classification par terrain :

L'évaluation de la classification peut être faite visuellement en comparant la classification à d'autres données externes (Girard et Girard, 1999 ; Robin, 2000). Pour notre part, une prospection de validation nous a permis de disposer de 32 points GPS contenant des informations exactes des sites échantillonnés, ces derniers sont projetés sur l'image classée (voir annexes 03).

2.4. Pertinence de classification :

A travers ce qui a été noté par Girard et Girard (1999), il n'est pas toujours évident d'affecter un pixel à une classe donnée ni d'associer sur le terrain un relevé à une classe précise, d'où la nécessité d'évaluer dans l'ensemble, l'efficacité de la classification. Pour définir la qualité de cette dernière, nous avons examiné successivement :

- La matrice de confusion ;
- L'analyse par le coefficient de KAPPA ;

2.4.1. Calcul de matrice de confusion :

Sur la matrice de confusion, la précision d'une classification correspond aux pourcentages des pixels bien classés traduits par les valeurs sur la diagonale (Tableau XXIII, XXIV et XXV). Les autres valeurs permettent d'analyser les proximités radiométriques entre les différentes classes et de juger ainsi de l'importance des confusions thématiques. Ces matrices permettent de juger de la pertinence de l'algorithme de classification (Brunet et al 1999 in Omari, 2005). L'idéal serait d'obtenir une matrice dont les valeurs sur la diagonale sont de 100%, ce qui signifierait que pour chaque classe, tous les pixels observés sur les sites d'entraînement ont été affectés à la bonne classe lors de la procédure de classification.

Tableau XXIII: Matrice de confusion établie pour les huit classes de l'image 1987.

Classes	FD	MO	CLT	SN	LB	RS	MD	FC
FD	94,52	0,00	0,00	0,00	0,00	<u>05,94</u>	0,23	0,00
MO	0,00	95,95	03,49	04,21	0,00	0,00	01,41	0,00
CL	0,00	0,81	91,86	0,38	0,00	01,55	01,87	01,86
SN	0,00	01,62	0,00	95,40	0,00	0,00	0,00	0,00
LB	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
RS	<u>04,94</u>	0,00	0,00	0,00	0,00	92,51	0,00	0,00
MD	0,00	01,62	02,33	0,00	0,00	0,00	91,57	<u>05,58</u>
FC	0,55	0,00	02,33	0,00	0,00	0,00	<u>04,92</u>	92,57
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A travers la matrice de confusion de l'image classée de l'année 1987, on peut dire que presque la totalité des pixels affectés à ces classes ont été bien classés. Les faibles confusions constatées ne dépassent pas les 06 % pour la majorité des classes.

Les confusions les plus élevées ont été retrouvées pour les classes RS, FD, FC et MD. La confusion de la classe RS est faite avec la classe FD, alors que la classe FC est confus avec la classe MD. La confusion entre les classes citées (RS – FD et FC - MD) peut être expliquée par une réponse spectrale très proche (forte activité chlorophyllienne).

Tableau XXIV: Matrice de confusion établie pour les huit classes de l'image 1999.

Les classes	FC	FD	LB	MD	MO	SN	RS	CLT
FC	98,97	03,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
FD	01,03	90,49	0,00	0,00	0,00	0,00	<u>07,60</u>	0,00
LB	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MD	0,00	0,00	0,00	99,51	03,52	0,00	0,00	0,00
MO	0,00	0,00	0,00	0,49	94,21	0,92	0,00	0,00
SN	0,00	0,00	0,00	0,00	02,16	99,08	0,00	0,00
RS	0,00	<u>06,44</u>	0,00	0,00	0,00	0,00	90,81	0,00
CLT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,67	100
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A travers la matrice de confusion de l'image classée de l'année 1999, on peut dire que presque la totalité des pixels affectés à ces classes ont été bien classés. Les faibles confusions constatées ne dépassent pas les 08 % pour la majorité des classes.

Les confusions les plus élevées ont été retrouvées pour les classes FD et RS. La confusion entre ces deux classes peut être expliquée par la densité du couvert végétal, par défaut leurs réponses spectrales seront très proches.

Tableau XXV: Matrice de confusion établie pour les huit classes de l'image 2011.

Les classes	FD	FC	RS	MD	MO	CLT	SN	LB
FD	95,21	0,16	03,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FC	01,53	95,56	0,27	<u>05,41</u>	03,29	0,32	0,00	0,00
RS	03,26	0,16	94,85	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
MD	0,00	03,29	0,00	88,92	<u>06,51</u>	02,21	0,00	0,00
MO	0,00	0,66	0,00	03,24	89,33	0,00	0,00	0,00
CLT	0,00	0,16	01,63	01,08	0,21	96,21	0,00	0,00
SN	0,00	0,00	0,00	01,35	0,57	01,26	100	0,00
LB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A travers la matrice de confusion de l'image classée de l'année 2011, on peut dire que presque la totalité des pixels affectés à ces classes ont été bien classés. Les faibles confusions constatées ne dépassent pas les 07 % pour la majorité des classes.

Les confusions les plus élevées ont été retrouvées pour les classes MD, MO et FC. Cette confusion se traduit par des réponses spectrales proches.

2.4.2. Coefficient de Kappa :

Le coefficient de Kappa a une valeur légèrement inférieure à la précision totale, Dos Santos (2001) ajoute que ce dernier exprime le taux d'erreurs à éviter et qui seraient obtenues lors de l'échantillonnage qui doit être complètement au hasard.

Les valeurs du coefficient de Kappa estimées dans notre cas sont : 93,41 %, 94,66 et 92,67 respectivement aux années 1987, 1999 et 2011, sachant que la valeur critique de ce dernier au-delà de laquelle une classification est jugée acceptable est de 75 % (Girard et Girard, 1999), on peut donc dire qu'il y a une très bonne correspondance entre la cartographie issue de la classification de données de la télédétection et les observations de terrain.

3. Application des indices :

Le calcul des différents indices donne de nouvelles images appelées néoimages. L'indice de végétation est calculé directement à partir d'un module dans l'ENVI, tandis que la formule de l'indice de brillance doit être injectée manuellement. Le résultat des traitements est un néocanal.

3.1. Indice de brillance des sols (IBC^2 , *Brightness Index*) :

Concernant le calcul de cet indice, le résultat donne une néoimage (Fig.47, 48, 49).

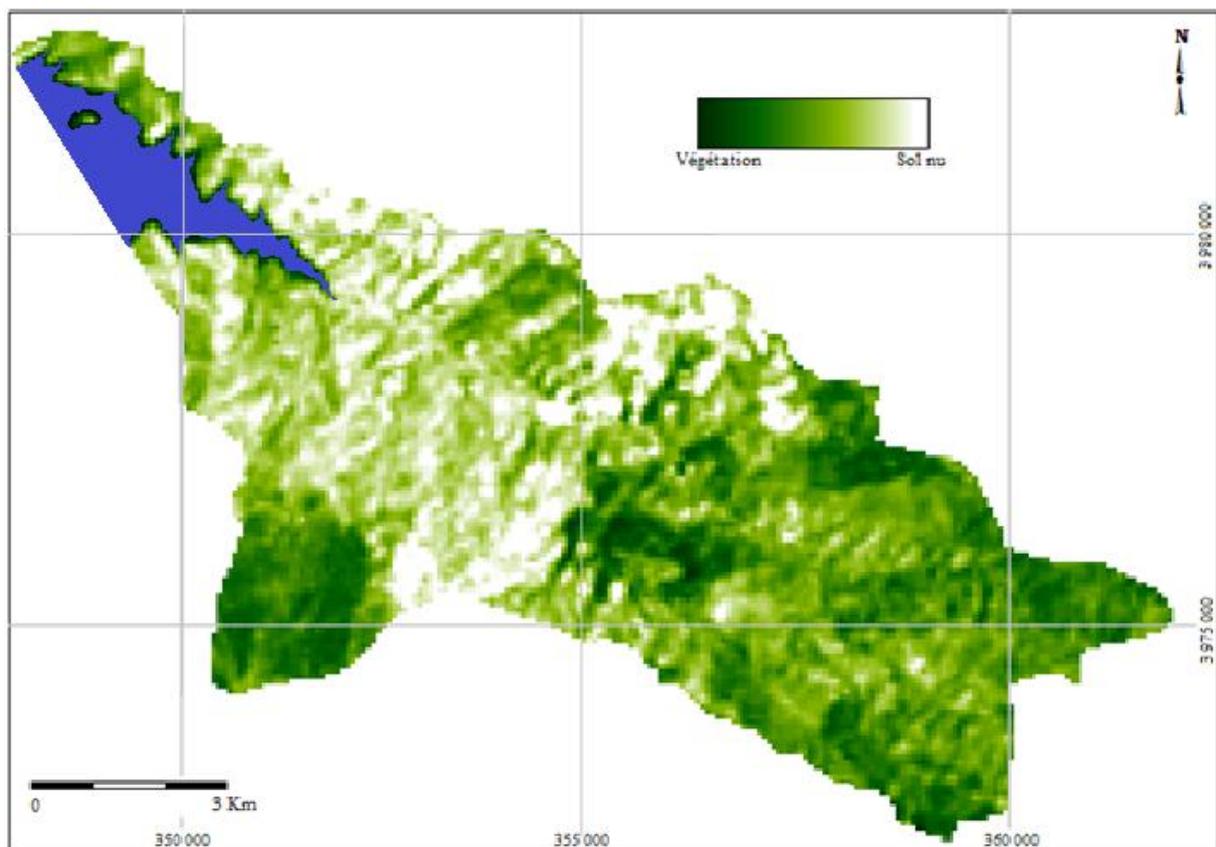


Figure 47 : Visualisation du néocanal "indice de brillance" pour l'année 1987.

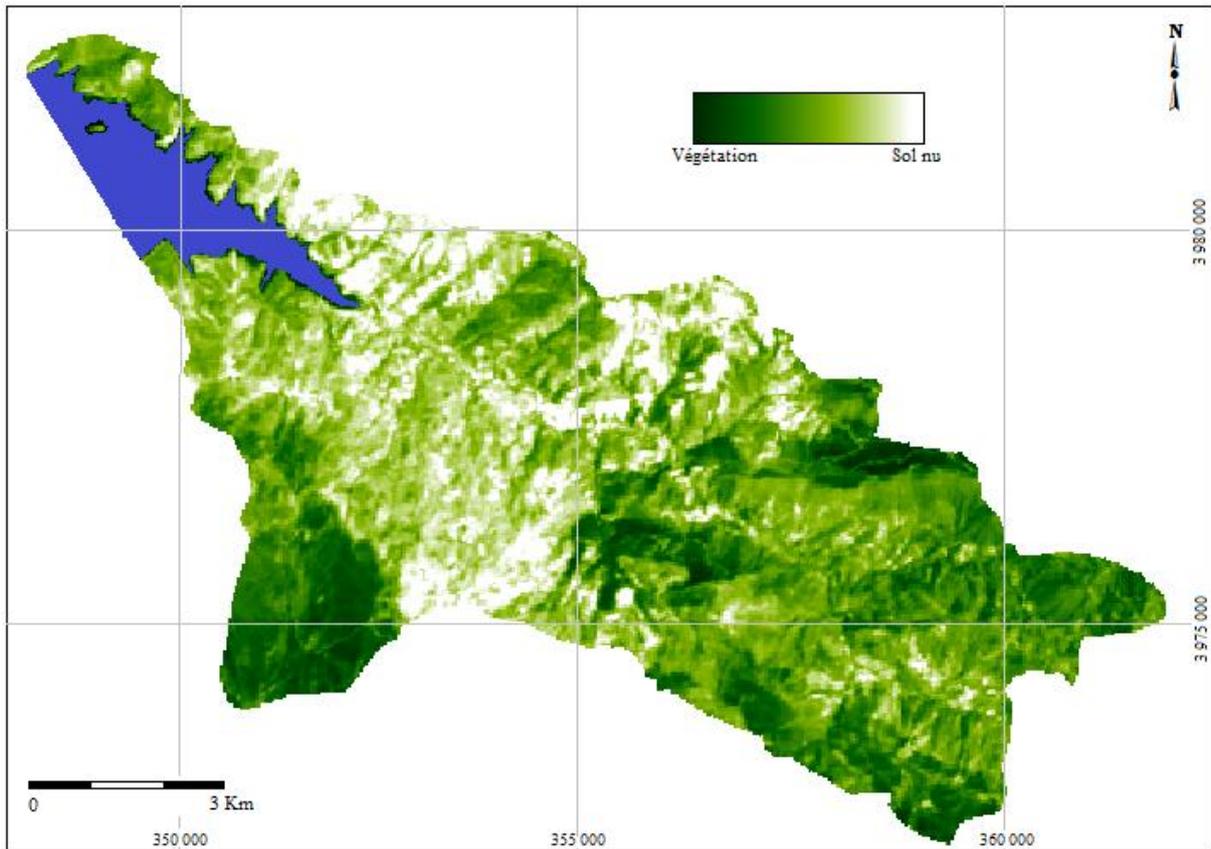


Figure 48 : Visualisation du néocanal "indice de brillance" pour l'année 1999.

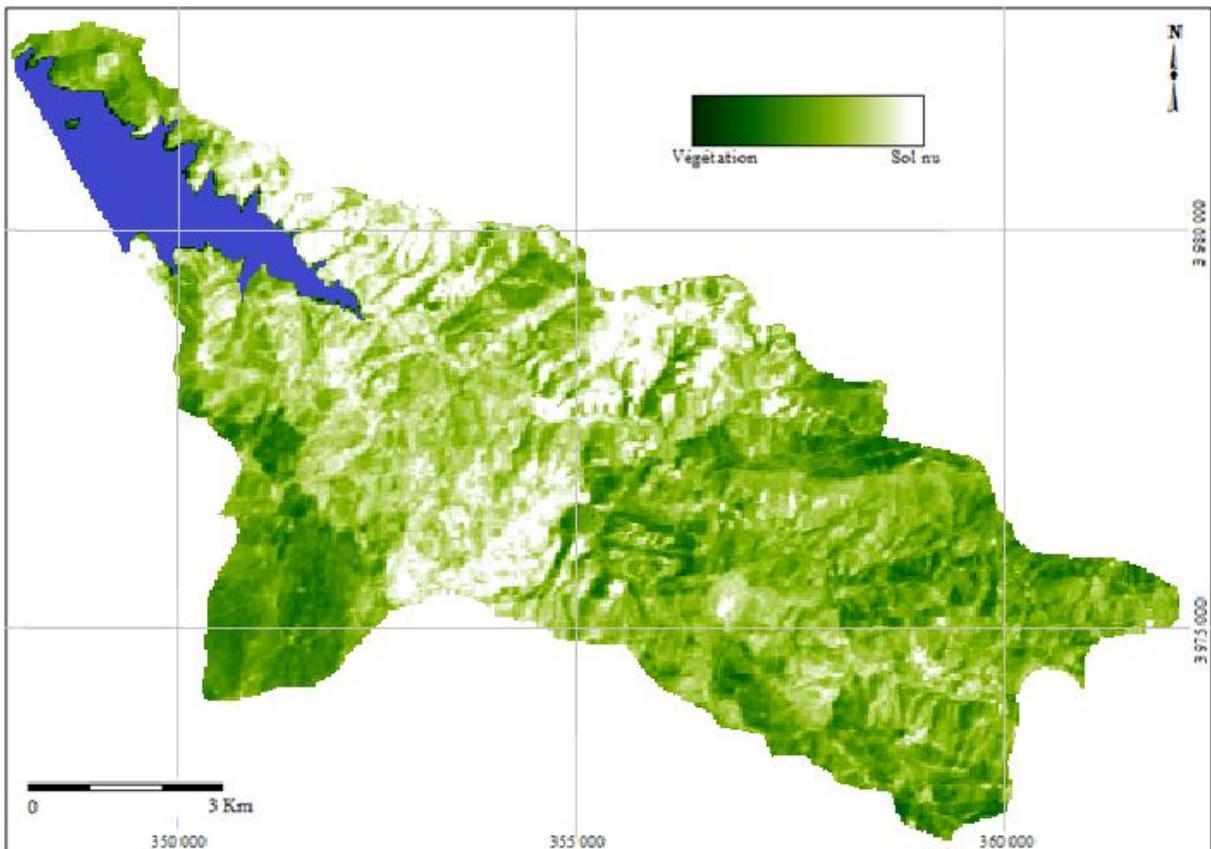


Figure 49 : Visualisation du néocanal "indice de brillance" pour l'année 2011.

Pour cet indice, les surfaces à tendance blanche représentent les sols nus, leurs surfaces varient d'une scène à l'autre, ils occupaient 4% en 1987 passant à 14% en 2011. Cette progression est traduite par la dégradation de la végétation naturelle par les différents facteurs.

3.2. Indice NDVI :

L'indice de végétation est calculé directement à partir d'un module dans l'ENVI. Le résultat est un néocanal (fig. 50, 51 et 52).

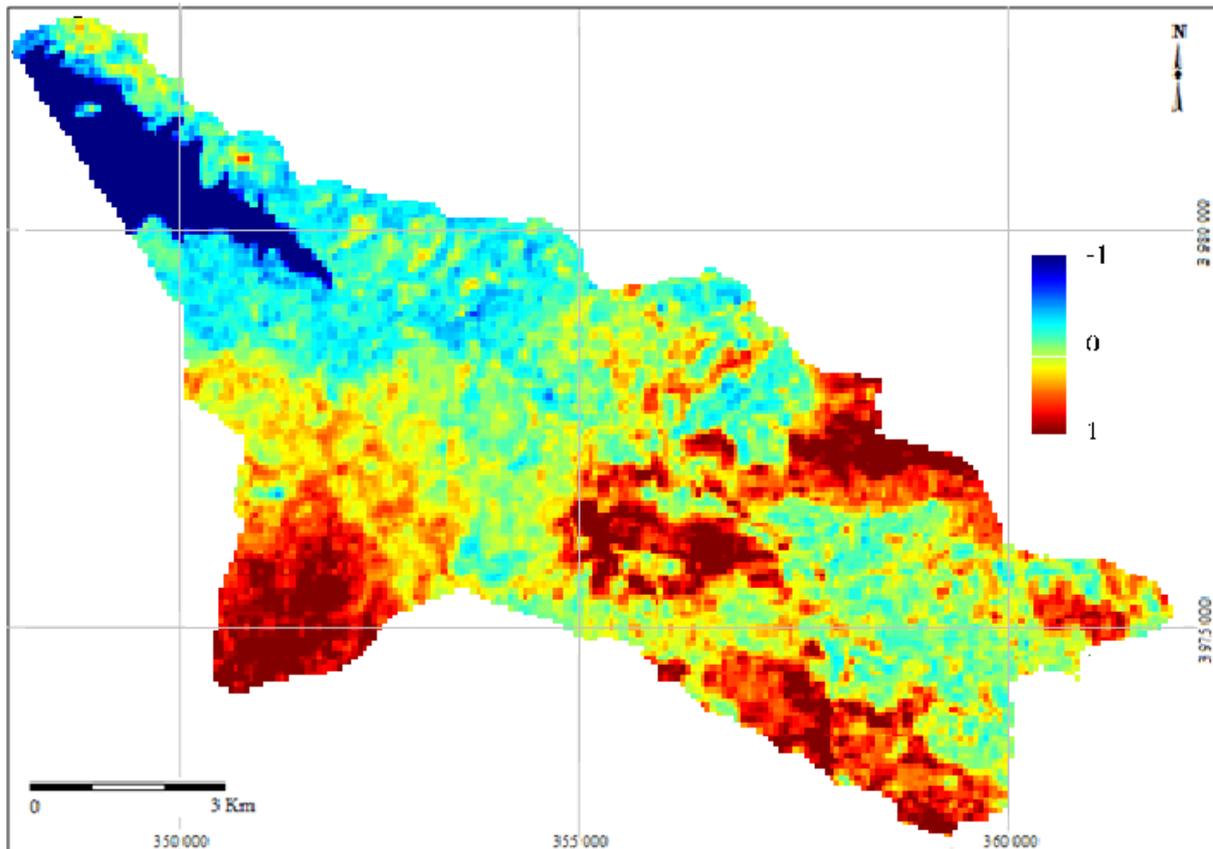


Figure 50 : Visualisation du néocanal "NDVI" pour l'année 1987.

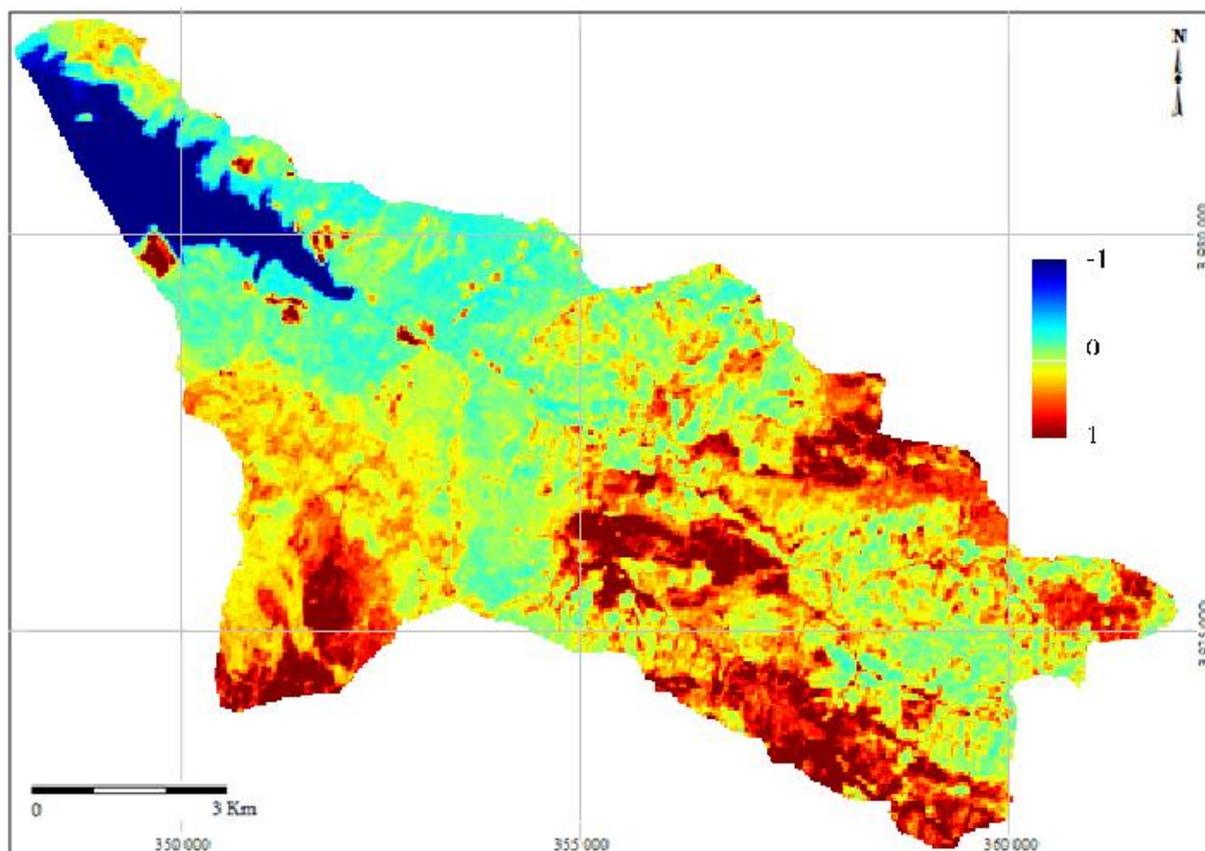


Figure 51 : Visualisation du néocanal "NDVI" pour l'année 1999.

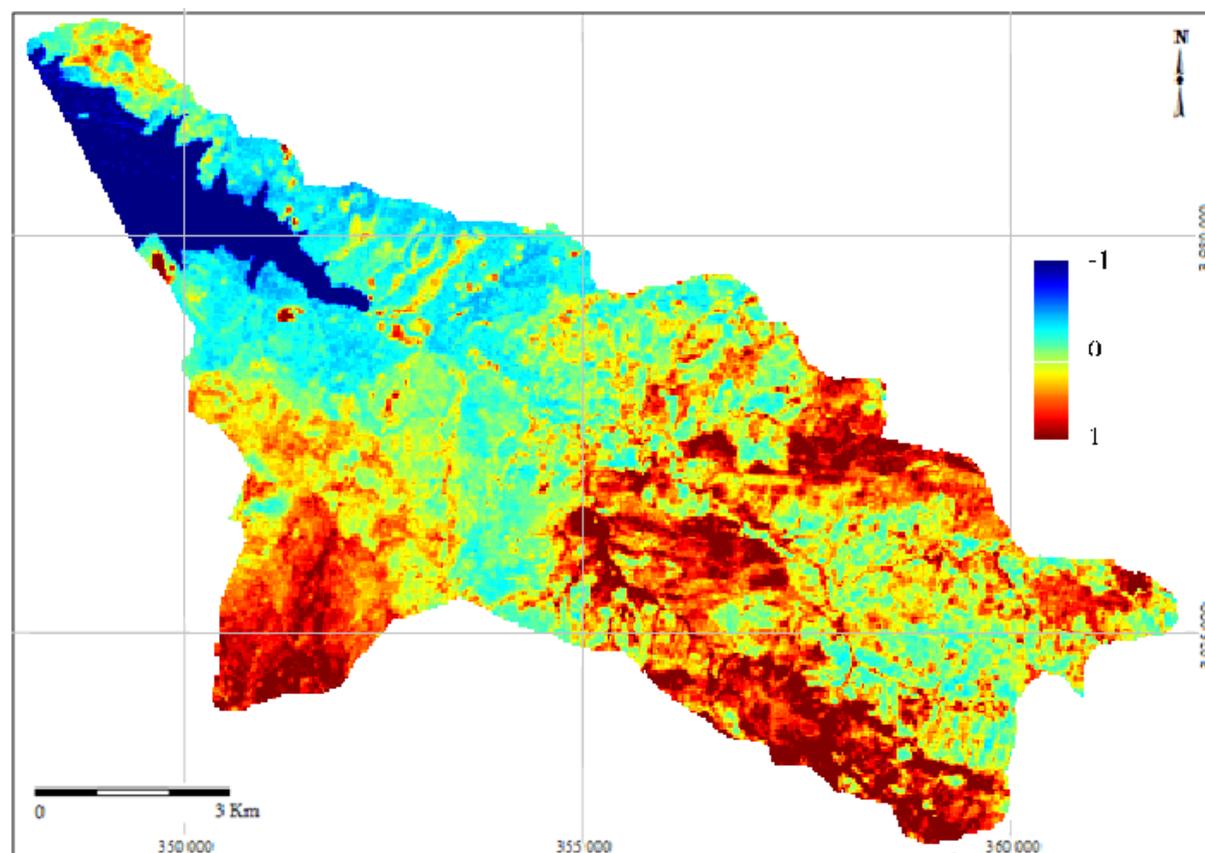


Figure 52 : Visualisation du néocanal "NDVI" pour l'année 2011.

Les fortes valeurs du NDVI reflètent une couverture végétale dense représentée sur la carte par une couleur blanchâtre.

D'une manière générale, pour les trois néocanaux d'indices de végétation NDVI analysés, on constate une tendance descendante du couvert végétal, d'où la végétation naturelle est en dégradation continue, leurs surfaces passent de 78,68 % (1987) à 68,36 % (2011).

4. Etats successifs du couvert végétal

Les résultats issus des classifications (1987,1999 et 2011) établis grâce à l'ENVI permettent de quantifier le couvert végétal et de mettre en évidence son emprise à différentes dates.

4.1. Dynamique du couvert végétal entre 1987 et 1999 :

La cartographie de l'occupation du sol en 1987 montre que le couvert végétal naturel (forêts et maquis) a une superficie de 4515,42 hectares, soit 78,68 % de l'ensemble de la zone cartographiée. Les maquis denses, avec 1594,29 hectares, est le type de couvert végétal le plus répandu. Au total, 08 classes sont mises en évidence. La figure 53 permet de comparer ces unités entre elles (1987 - 1999).

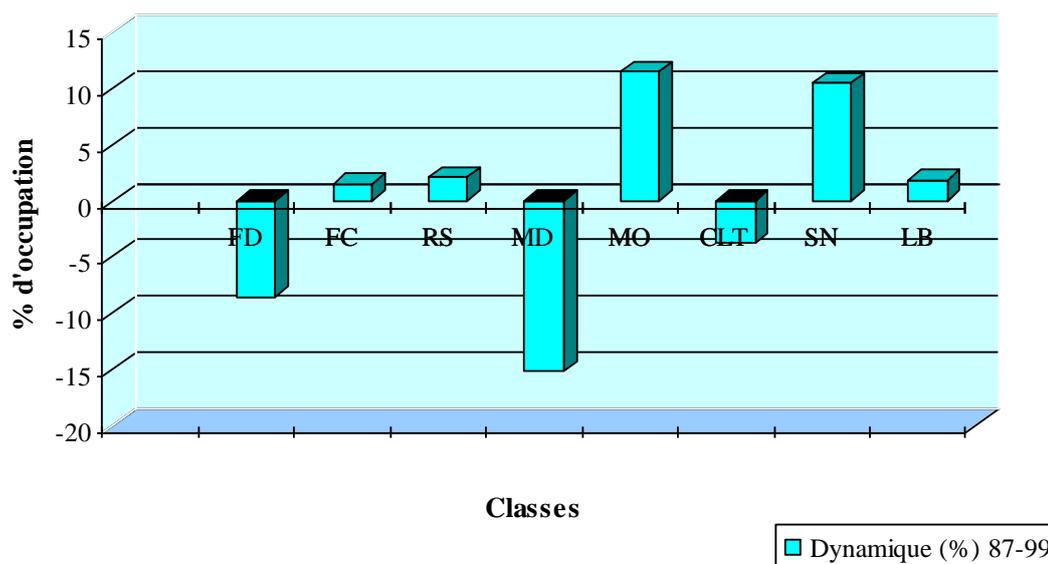


Figure 53 : Taux de dynamique du couvert végétal de la scène « 1987- 1999 » :

Les feuillus denses ont connu un recul considérable (dégradation) durant cette période (-08,54%). Les maquis denses ont perdu 15 % de leurs part, ils ont passé de 27 à 12 % (régression), alors que les maquis ouverts ont progressés (évolution de 11,45 %). Les sols nus ont gagné 10 % de plus (04 % en 1987 à 14,5 % en 1999). Les surfaces cultivées ont régressés de 03,75 % (13,38 % en 1987 à 09,63 % en 1999).

Les trois classes restantes (feuillus claires, résineux et lac du barrage) sont les éléments d'occupation qui étaient moins soumis aux changements durant cette période (légère progression).

4.2. Dynamique du couvert végétal entre 1999 et 2011 :

Avec 1656,27 hectares, les maquis ouverts sont le type de couvert qui domine en 1999 (fig. 54). Cette situation résulte des dégradations des maquis denses (surpâturage, incendies, coupes illicites et défrichement).

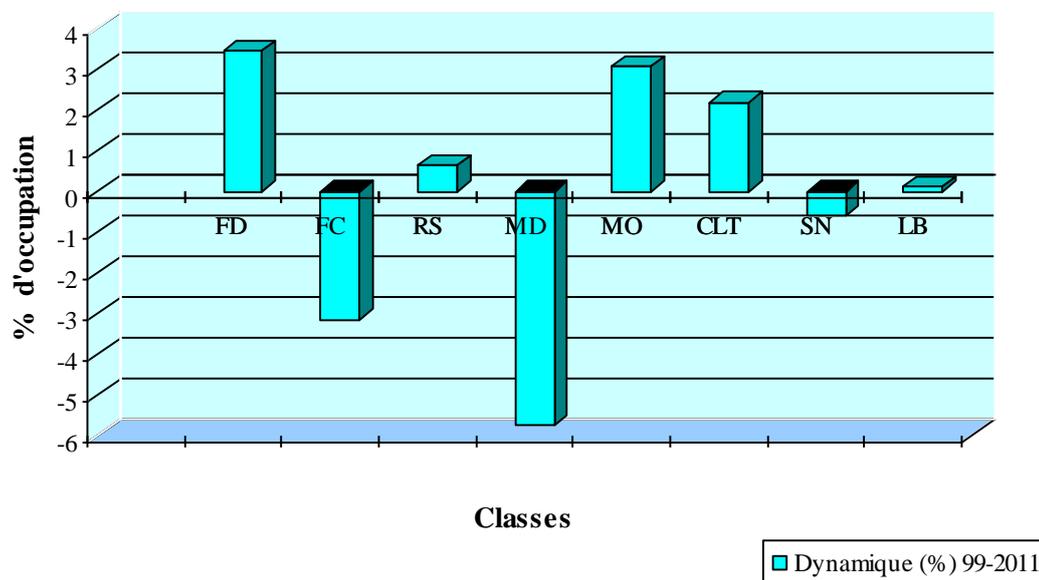


Figure 54 : Taux de dynamique du couvert végétal de la scène «1999 – 2011» :

Cette période se caractérise par une progression des surfaces des feuillus denses (+03,45%), maquis ouverts (+ 03,06%) et terres agricoles (+ 02,19 %), et une dégradation des feuillus claires (perte de 03,14 %) et maquis denses (transformation de 05,74 % en maquis ouverts et terres défrichées).

5. Comparaison des superficies :

L'ensemble des changements de superficies est caractérisé par une dynamique générale de conversion et dégradation des espaces forestiers et de la végétation naturelle (maquis claires et ouverts) (fig. 55).

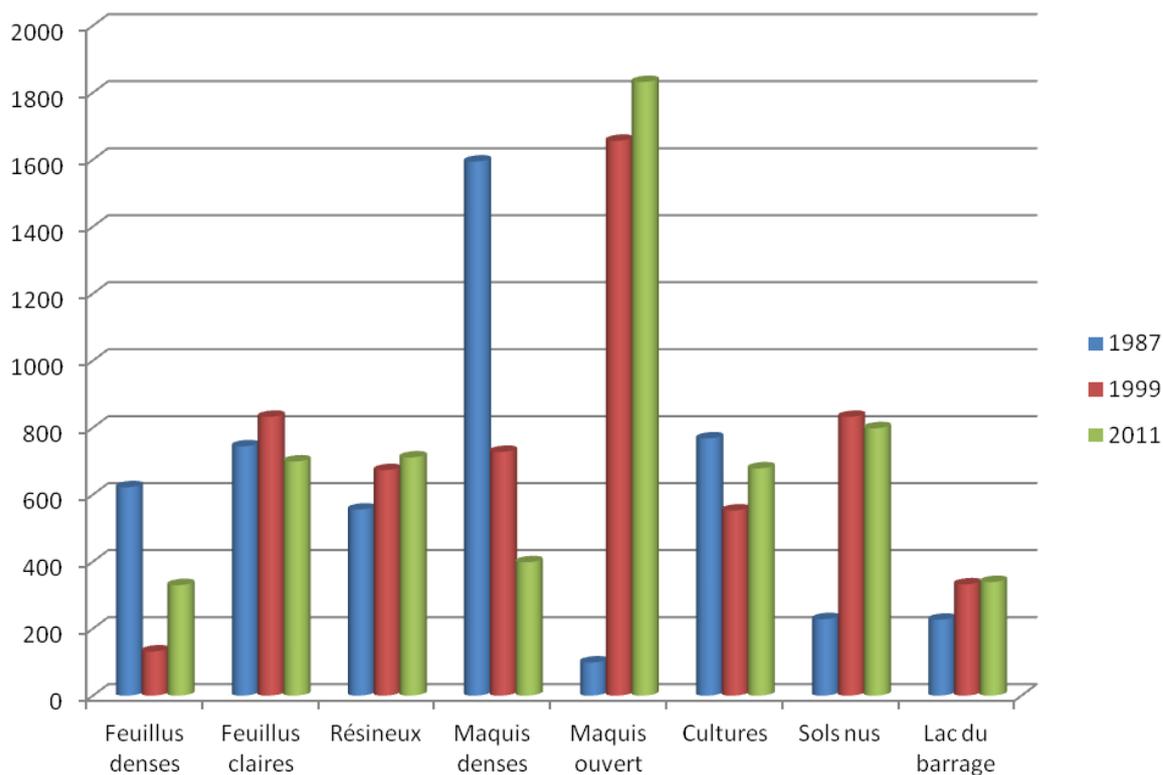


Figure 55 : Histogramme des superficies par classes.

Une dynamique de régression des feuillus denses est constatée, elle est due principalement aux incendies répétitifs qui ont balayés la forêt de Saadia durant la période 1992 – 1999, qui a passé de 10 à 05 % de 1987 à 2011 (622,10 ha en 1987 à 330 ha en 2011), ce qui a permis d'augmenter légèrement la surface des feuillus claires (passage des feuillus denses en feuillus claires). Cette dégradation s'accompagne avec une expansion des superficies des résineux (Pin d'Alep) grâce aux programmes de reboisement lancés par la direction de la conservation des forêts depuis 1997 dans la région (Annexes 04 : Bilan des aménagements 2006).

Les superficies couvertes par les maquis denses sont régressées d'une façon alarmante (de 1594,29 ha en 1987 à 398,28 ha en 2011) permettant l'installation des maquis ouvert (milieu dégradé des maquis denses) où leurs superficies ont doublées (999,16 ha en 1987 à 1831,88 ha en 2011).

Les surfaces agricoles sont réduites de 767,88 à 552,66 ha entre 1987 et 1999, influencées par l'exode rural causé par l'absence de sécurité dans le S/BV, durant cette période. Ce type de couvert végétal a repris grâce au retour de la population dans la région (552,66 ha en 1999 à 678,29 ha en 2011).

Les sols nus ont subis une progression issue des défrichements, surpâturage et incendies répétitifs, ils sont passés de 228,41 à 798,29 ha. Cette accélération des dégradations s'est produite globalement durant la période 1987-1999 (228,41 à 832,15 ha).

La représentation graphique des taux de dynamique de superficie des usages (fig. 56) montre une régression nette de la couverture végétale naturelle (forêts et maquis). Cette régression atteint des taux très élevés pour les feuillus denses et les maquis denses durant les 12 premières années de la série (- 05,09 % pour les forêts denses et - 20,84 % pour les maquis denses). Cette régression s'est produite principalement durant la période 1987-1999.

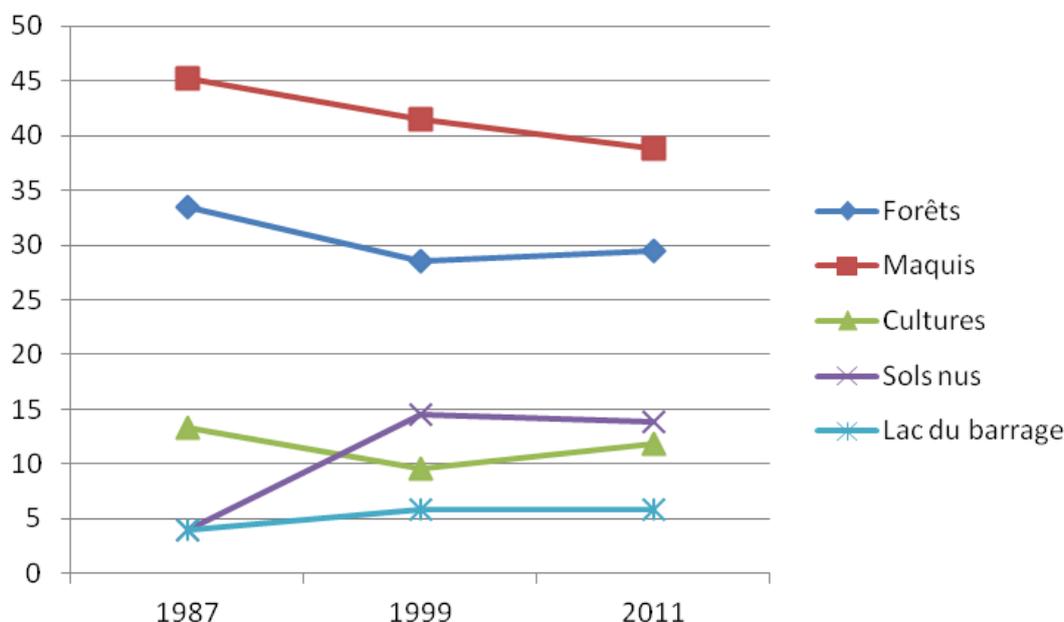


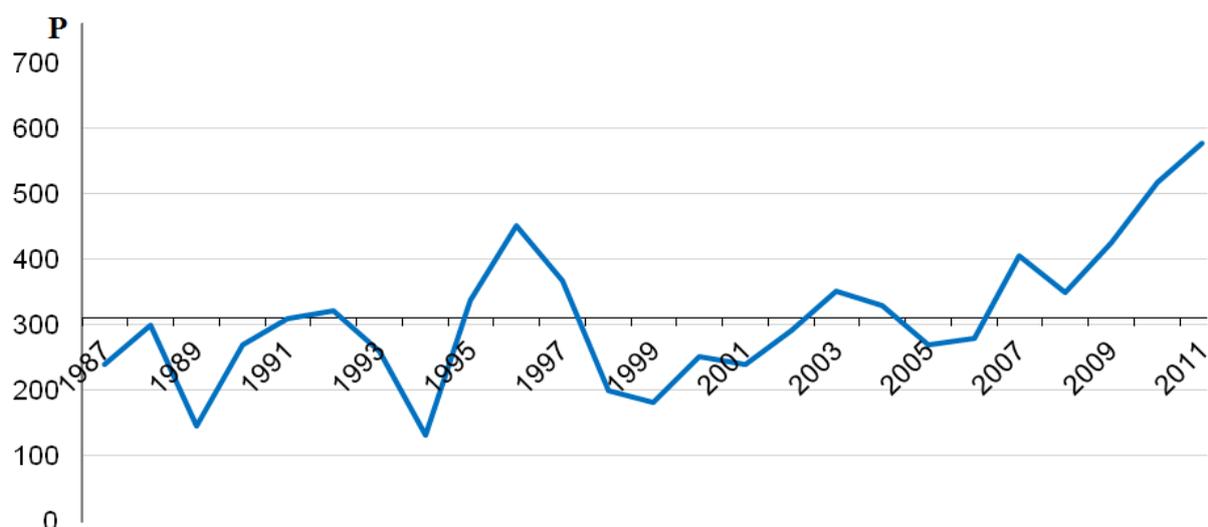
Figure 56 : Taux de dynamique des superficies du couvert végétal dans le S/BV de l'oued Bouguedfine (1987-2011)

Les dégradations produites ont conduit à l'extension des sols nus. Cette extension s'est produite à un taux de + 10 % (1987-1999). Entre 1987 et 1999, les cultures ont connu une diminution des taux qui va de 13 à 09%, puis une reprise de 02 % (1999-2011). Par ailleurs, le changement positif de la superficie du lac du barrage de Sidi Yâakoub est lié à la disponibilité des précipitations collectées et drainées par le réseau hydrographique du S/BV.

Ces résultats montrent que le couvert végétal fluctue dans l'espace et dans le temps. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces fluctuations, notamment la pression anthropique (incendies, surpâturage, braconnage, coupes de bois et défrichements), l'application de techniques inappropriées, les attaques parasitaires (chenille processionnaire des pins) ainsi que la fréquence des périodes sèches.

6. Impacts déterminés par l'évolution des conditions climatiques

La figure 57 donne l'évolution de la pluviométrie entre 1987 et 2011 pour le S/BV de l'oued Bouguedfine.



Les années négatives correspondent aux années où la pluviométrie est inférieure à la moyenne 311 mm pour la période (1987-2011).

Figure 57 : Evolution de la pluviométrie dans le S/BV de l'oued Bouguedfine (1987-2011).

Le S/BV de l'oued Bouguedfine est caractérisé par d'importantes variations interannuelles de la pluviométrie, avec une alternance des années déficitaires et des années excédentaires. Ces variations ont pour conséquence l'apparition de périodes de sécheresse dont les plus mémorables sont celles des années 1987 – 1994 et 1998 -2002, favorisant le déclenchement des incendies menant à la disparition de plusieurs espèces pérennes (Annexes 05).

Au cours de cette période de 24 ans, la pluviométrie varie avec une tendance générale à l'augmentation. Le déficit pluviométrique qui en résulte entraîne la rareté, voire la disparition, des espèces pérennes (réduction de la densité du couvert végétal), tandis que le surplus pluviométrique mène à la régénération de la végétation perdu par les incendies et les différentes formes de dégradation.

7. Dynamique du couvert végétal

Les résultats du suivi des changements de recouvrement global de la végétation au niveau des différents observatoires et durant les périodes étudiées sont reportés au tableau XXVI.

Tableau XXVI : Taux de variation de l'occupation du sol dans le S/BV de oued Bouguedfine en fonction du temps.

Classes / années :	1987	1999	2011	% de variation (1987-2011)
Feuillus denses (FD)	10,84	02,30	05,75	-05,09
Feuillus claires (FC)	12,97	14,50	11,36	-01,61
Résineux (RS)	09,68	11,73	12,39	+02,71
Maquis denses (MD)	27,78	12,68	06,94	-20,84
Maquis ouvert (MC)	17,41	28,86	31,92	+14,51
Cultures (CLT)	13,38	09,63	11,82	-01,56
Sols nus (SN)	03,98	14,50	13,91	+09,93
Lac du barrage (LB)	03,96	05,8	05,91	-01,95
TOTAL	100	100	100	/

De manière générale, l'étude diachronique effectuée permet de constater que le couvert végétal du S/BV de l'oued Bouguedfine est soumis à une perturbation forte et continue (anthropique et climatique) qui cause sa dégradation. Il faut cependant signaler que les vitesses de dégradation et de régénération de la végétation sont toujours dépendantes de l'état du couvert végétal (âge, état sanitaire et composition floristique), du facteur de dégradation et des conditions climatiques de la région.

Ces données montrent qu'il existe une proportionnalité entre le taux de recouvrement de la végétation et son taux de recul vers des classes plus "dégradées", désignant un recouvrement moins important. En effet, plus le taux de recouvrement est faible, plus la végétation sera sujette aux méfaits de la pression anthropozoïque (piétinement par les troupeaux, broutage, éradication, défrichage,...) et sera, par conséquent, exposée aux différents processus de l'érosion hydrique puisqu'elle ne peut pas assurer son "autoprotection" ; ce qui diminue dans un premier temps sa capacité à se protéger, mais aussi sa capacité de se régénérer.

Dans le S/BV de l'oued Bouguedfine, les terres à vocation forestière ont subi, depuis plusieurs années, de fortes pressions d'origines diverses, entraînant différentes formes de dégradation des ressources naturelles. Cette dégradation, due essentiellement à l'acquisition de nouvelles surfaces agricoles, au surpâturage, aux incendies et aux défrichements sous différents prétextes, concerne tous les ensembles morphologiques.

Cette étude a permis d'étudier, par SIG et télédétection, la dynamique du couvert végétal du S/BV de l'oued Bouguedfine, à travers une classification dirigée des trois images satellites Landsat (MSS et ETM+), une analyse multodate (1987,1999 et 2011) couplée aux données cartographiques et aux données de terrain a été faite pour mettre en évidence les états successifs du couvert végétal afin de discriminer son évolution entre 1987 et 2011. Ces analyses (dégradation ou évolution du milieu naturel) ont été menées essentiellement à partir d'interprétations visuelles et confirmées par des traitements numériques appropriés.

Le suivi diachronique du couvert végétal au sien de notre S/BV à partir d'une série d'images satellites multi spectrales et multidates sur une période de 24 ans a montré des localisations préférentielles de dégradation du couvert végétal, l'analyse des données de télédétection révèle une modification de l'espace naturel avec :

- Réduction de zones forestières (forêts denses et claires) (- 07 %) ;
- Régression des surfaces couvertes par les maquis denses (-21%) ;
- Progression des maquis ouverts (+14,5%) ;
- Extension des sols nus (+ 10 %) ;
- Accroissement des surfaces agricoles (+ 02 %) ;
- Les surfaces occupées par le lac du barrage de Sidi Yâakoub n'ont pas subies de changement significatif.

En dépit de la double contrainte démographique et climatique à laquelle est soumis le S/BV de l'oued Bouguedfine, l'état de son couvert végétal et son évolution semblent alarmants, notre zone d'étude a perdu 750 ha de végétation naturelle (20% de la surface couverte par la végétation) durant le dernier quart de siècle, ce changement renseigne sur les différentes mutations qu'a connues cette région.

La base cartographique mise en place constitue un outil de gestion des unités de conservation et de suivi de l'évolution des couverts végétaux et de l'occupation du sol. Couplée aux systèmes d'informations géographiques (SIG), la télédétection apparaît comme un outil efficace à mettre à la disposition des gestionnaires, dans ce domaine le travail réalisé constitue une première approche. Il a pour objectif de faire un suivi de l'évolution du couvert végétal dans le S/BV de l'oued Bouguedfine.

Au-delà de l'aspect pratique de cette étude, elle ouvre des pistes pour mener des projets d'aménagement et de réhabilitation du couvert végétal. Les données de télédétection exploitées dans le cadre de ce travail se sont avérées bien appropriées à la problématique abordée.

En termes de perspectives, il serait intéressant d'utiliser des images satellitaires à des résolutions plus élevées pour faire une analyse plus détaillée de la dynamique du couvert végétal afin de mieux discriminer les zones de dégradation.

Cette étude a montré les possibilités d'analyser la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant de l'Oued Bouguedfine. Nous espérons, à travers ce travail, avoir montré l'état de dégradation de la végétation dans notre zone d'étude et avoir mis l'accent sur les principaux facteurs qui en sont responsables, ce qui tire la sonnette d'alarme pour une meilleure prise en charge de ces problèmes et tout particulièrement celui des incendies de forêts.

Aafi A., 2004 : L'aménagement des forêts de genévrier thurifère : Cas des principales thuriféraires du Moyen Atlas. *Revue du Muséum d'Histoire Naturelle de Marrakech, Naturalia Maroccana*, Vol.2, n°1-2 : 149-152.

Abdelguerfi A et Ramdane M. S. A., 2003. FEM/PNUD, Projet ALG/97/G31, Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité, TOME VII, Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie, bilans des expertises.157 p, 2003.

Aidoud A., 1998. Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. Conférences 3. Laboratoire d'Écologie Végétale. Université de Rennes 1. 50 p.

Ammar Khoudja M., 1986. Etude de la dynamique de la végétation du maquis dans la région de MECHTRAS (Grande Kabylie), mémoire ingénieur, ENSA, El Harrach, Algérie, 71 p.

Arfa Azzedine M. T., 2008. Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion, Mémoire magistère, Univ. Mentouri Constantine, 124pp.

Bannari A, Morin D, Huete A.R. et Bonn F., 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, n°13, 95-120.

Benabdeli K., 1996. Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers faces à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya. Algérie occidentale. Thèse de doctorat Es-sciences. UDL., 356p.

Benabid A., 2002. Le Rif et le Moyen-Atlas (Maroc): Biodiversite, Menaces, Preservation. Mountains High Summit Conference for Africa. UNEP/Nairobi, May 2002.

Benkrid E., 2008. Etude de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la plaine du Bas Chélif (Algérie). Thèse de Master, Université de Montpellier 2, 54 p.

Bensaid A, Smahi Z, Iftene T et Benzineh S., 2003. Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques. *Télédétection*, 2003, vol. 3, n° 5, p. 387-402.

Bonn F et Rochon G., 1992. Précis de télédétection, Vol I. Principes et méthodes, presses de l'Université de Québec. AUPELF, 485 p.

Bouabdellah H., 1992. Dégradation du couvert végétal steppique de la zone du Sud-ouest oranais, cas d'El Aricha. Thèse de Magister En géographie. IGAT, 222p.

Bougherara A., 2010. Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la wilaya d'El Tarf (Algérie) à partir des images Landsat, Spot et Aster. *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 3-4, p. 225-243

Boulerie P., 2008. Introduction à la télédétection, d'après le cours de « Olivier Joinville », ENSG. 5p.

Bouazza M., 1990. Quelques réflexions sur le zonage écologique et l'importance des facteurs édaphiques des peuplements steppiques. Communication séminaire Maghrébin, Tlemcen- Algérie.

Caloz R et Puech C., 1996. Hydrologie et imagerie satellitaire in Précis de télédétection. Volume 2 : Applications thématiques. *Presses de l'Université du Québec UREF / AUPELF*. 159-196.

Cherifi K et Bouzidi M A., 2008. Approche préliminaire d'étude d'impact du surpâturage dans les Monts de Tessala (Wilaya de Sidi Bel Abbes), Université Djillali Liabes, Sidi Bel Abbes, Algérie, Colloque international « *Développement durable des productions animales: enjeux, évaluation et perspectives* », Alger, 20-21 Avril 2008.

CPS., 2011. Guide d'initiation à la télédétection appliquée à la pêche hauturière de thonidés. Section développement de la pêche côtière et secrétariat général de la Communauté du Pacifique. Nouméa (Nouvelle-Calédonie).22p.

Deshayes M et Maurel P., 1990. L'image spatiale et son contenu. CIHEAM-Options méditerranéennes, Ser. A, 4-La télédétection en agriculture, 20 p.

DGF., 1999. Organe National de Coordination. Rapport national relatif à la mise en œuvre de la convention des nations unies sur la lutte contre la désertification, 23p.

DGF., 2004. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Direction Générale des Forêts. Programme d'Action National sur la lutte contre la Désertification. 104 p.

Dos Santos G., 2001. Rapport de stage; classification automatique, carte d'occupation des sols dans la vallée de Biriadou ; télédétection ; Internet.

Duchaufour P., 1977. Pédologie et classification. Ed. Masson, Paris, 471 p.

Duchaufour P., 1998. Abrégé de pédologie, sol, végétation et environnement. Ed. Masson, paris, 271 p.

Duminil. T., 2007. Exploitation de données de télédétection en vue d'étudier la mise en place de l'écotourisme dans la région de Andavadoaka (Madagascar). Rapport de stage deuxième année SUPAGRO, Montpellier, 19 p.

FAO., 2002. Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Algérie, 60 p.

FAO., 2010. Evaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport principal. ÉTUDE FAO: FORÊTS 163. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 2010. 377 p.

FAO., 2011. Evaluation des ressources forestières mondiales 2010, Rapport national « Algérie », Département des forêts, FRA2010/003, Rome, 57 p.

Fensholt R., 2003. Assessment of primary production in a semi - arid environment from satellite data: exploiting capabilities of new sensors. Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark. 270p. – PhD

Ferchichi A., 1999. Les parcours de la Tunisie présaharienne : Potentialités, état de désertification et problématique d'aménagement. *Options Méditerranéennes* 1999 ; 39 : 137-41.

Ferka Zazou N., 2006. Impact de l'occupation spacio-temporelle des espaces sur la conservation de l'écosystème forestier, cas de la commune de Tessala, Wilaya de Sidi Bel Abbas, Algérie. Mémoire de magistère. Université Aboubekr Belkaïd. Tlemcen, 164 p.

Fikri Benbrahim K, Ismaili M, Fikri Benbrahim S et Tribak A., 2004. Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc, *Sécheresse* 2004 ; 15 (4) : 307-20

Galtie J.F., 1997. Information géographique numérique pour l'environnement. Approche hiérarchique, modélisation et gestion prévisionnelle du risque incendie en région méditerranéenne. Thèse de Doctorat. URF de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse II- Le Mirail, 296p.

Gausson H., 1952. Le dynamisme des biocénoses végétales. Colloques internationaux CNRS XXXIII, Ecologie, (Année biologique, Ser ; III, 27 (2)) : 9-22.

Gilbert M.A, González-Piqueras J, García-Haro F.J et Meliá J. A., 2002. Generalized soil - adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, n°82, 303-310.

Girard M. C., et Girard, C. M., 1989. Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales. (2 ed.), Paris, Masson, 260 p.

Girard M.C. et Girard C.M., 1999. Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 p. + CD-ROM.

Gower, J.F.R., Borstadt, G.A., Gray, L.H. et Edell, H.R., 1988. The Fluorescence Line Imager : High-Resolution Imaging Spectroscopy Over Water and Land. *Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, 273-278 p. France.

Guyot G., 1984. Caractérisation spectrale des couverts végétaux dans le visible et le proche infrarouge, application à la télédétection. *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, n°95, pp 5-14.

Haddouche I., Mederbal K., Bouazza M. et Benhanifia K., 2004. Utilisation de la télédétection pour l'étude de la deforestation. Cas de la région de Djelfa. Colloque Méditerranéen sur la gestion Durable des espaces Montagnars. Dept. Sc. De la terre et Agronomie, Univ. Tlemcen, 10-11 Oct. 2004. 10p.

Hammoudi A et Amokrane F., 2001. Aménagement expérimental d'un bassin versant dans l'oued Bouguedfine (BV de oued Sly). Troisièmes journées scientifique de l'I.N.R.A., Bejaia, Algérie, pp. 243 – 253.

Hirche A., 1995. Contribution à l'étude de l'apport de l'image satellitaire à l'inventaire cartographique et phytoécologique d'une zone pré-saharienne, cas de Ouled- Djellal. Thèse Mag. USTHB, 230 p.

- Huete A.R., 1989.** Soil influences in remotely sensed vegetation canopy spectra. Theory and application of optical remote sensing, 107-141. - G. Asrar Ed., New York.
- Jensen J.R., 2000.** Remote sensing of the environment: *an Earth resource perspective*. Upper Saddle River : NJ: Prentice Hall. 544p.
- Kemmouche A, Mering C et Sansal B., 2008.** Cartographie de la densité du couvert ligneux dans les zones arides et semi-arides à l'aide de l'imagerie satellitaire. Article scientifique. *Sécheresse* 2008 ; 19 (2) : 129-35.
- Kermad, M., 1989.** Apport de l'imagerie satellitaire à moyenne résolution spatiale à la perception des ressources naturelles renouvelables en zones arides méditerranéenne (hauts plateaux Sud oranais). *Mém.D.E.A., Univ. Nice*, 37p.
- Khader M, Benabdeli K, Mederbal K, Fekir Y, Gueddin R et Mekkous B., 2009.** Etude du risque incendie à l'aide de la géomatique : cas de la forêt de Nesmoth (Algérie), *MEDITERRANEA SERIE DE ESTUDIOS BIOLÓGICOS*, Universidad de Alicante, Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias, Época II, N° 20, 39 p.
- Khatib A., 1995.** Etude de la monographie du district de O.B.A.E.K., conservation des forêts de chlef, 36 p
- Le Houerou H.N., 1969.** La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues d'Algérie, Lybie et Maroc). *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunis*, 42(5) : 561p
- Le Houerou H.N., 1980.** L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne. *Rev. For. Méd.* II (1-2) : pp : 31 – 35 et 115 – 174.
- Legrain M., 2002.** Dictionnaire encyclopédique. Ed. Larousse, France, pp. 325, 1119, 1253.
- Lescomplekt., 1983.** Etude et projet pour la mise en valeur des terres, aménagement des forêts et parcs nationaux dans le massif Ouarsenis, Schéma directeur d'aménagement. Rapport, vol. I, Bulgarie, 342 p.
- Lillesand T., Kiefer R. W & J. W Chipman., 2004.** Remote Sensing and Image Interpretation . 5th edition : John Wiley and Sons, New York, USA. 763p
- Manière R., Bassisty E., Celles J. C et Melzi S., 1993.** Utilisation de la télédétection spatiale (données XS de Spot) pour la cartographie de l'occupation du sol en zones arides méditerranéennes : exemple d'Aïn Oussera(Algérie). *Cah. Orstom, ser. Pédol.*, vol. XXVIII, 1, 67-80.
- MATE., 2003.** Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (2003). Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. 465 p.
- Mattauer M., 1958.** Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Publications du service de la carte géologique de l'Algérie, N° 17.

Meddour-Sahar O, Meddour R et Derridj A., 2008. Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long 1876-2007, Les notes d'analyse du CIHEAM. N° 39, 11p.

Merlet. N., 2007. Cartographie dynamique de la propagation des incendies de forêts à l'usage des acteurs de la lutte et de l'aménagement, approche basée sur le couplage de données d'observations aériennes et sol, et intégration opérationnelle sous SIG. Mem. Mas. Université de Toulouse - Le Mirail. 102p.

MICLE., 1997. Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Environnement, Secrétariat d'Etat Chargé de l'Environnement (Décembre 1997). Elaboration de la stratégie nationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. 27p.

Missoumi A et Tadjerouni K., 2003. SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt, Algérie, 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003, 14p.

Moquet A., 2003. Apports de la télédétection pour la cartographie d'habitats terrestres en zones humides méditerranéennes, application aux habitats de la Réserve Nationale de Camargue. PFE d'Ingénieur Agronome. École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Nancy. 64p.

Montero G et Canellas I., 1998. Salviculturay gestion soslenible de sistemas forestales. Actas de Los Primeros Encuentos Cientificos del parque natural de Penalara, 29-31 Mai. Conserjeria de Medio Ambienté de Madrid.

NASA, 2011 : http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_1.html).

Omari L., 2005. Contribution à l'étude d'un écosystème a Artemesia herba alba dans le Sud- Oranais ; Diagnose phytoécologique et cartographique par télédétection spatiale. Mémoire de magister, Université USTHB, écologie et environnement, 152 p+Annexes.

Peduzzi. P., 2009. Initiation à la télédétection. Notes du cours « satellites et applications ». Université de Genève.

PNAE-DD., 2002. Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. 128 p.

Polveche J., 1960. Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis oranais. T. 1-2, N°24.

Provencher L et Dubois J M., 2007. Précis de télédétection, vol. 4 Méthodes de photointerpétation et d'interprétation d'image PU QUEBEC. 540 p.

Quezel P. et Barbero M., 1990. Les forêts méditerranéennes, problème posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. Acta botanica Malacitana, n°15, pp 145-178.

Randall, D., Sellers, P. and Berry, J., 1996. A revised land surface parameterisation (SiB2) for atmospheric GCMs. Part III: The greening of the Colorado State, University General Circulation Model. Journal of Climate, n°9, 738-763.

- Robin, M., 2002.** La télédétection : des satellites aux systèmes géographiques, 57 : 2 – 7p.
- Rouse, J.W. et Haas, R.H., 1973.** Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. Third ERTS Symposium, 1, 309-317. - Washington DC: NASA.
- Rouse J. W., Hass R. H., Shell J. A., Deering D. W., Harlan J. C., 1974.** Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 p.
- Saidi N., 1984.** Dynamique de la végétation du maquis dans les chaînes de Dj Zerouela et de Dj Bou-Zegra (Atlas tellien), mémoire ingénieur, ENSA, El Harrach, Algérie, 131 p + Annexes.
- Sanda Gonda H., 2010.** Cartographie de la dynamique de l'occupation des sols et de l'érosion dans la ville de Niamey et sa périphérie, UNIVERSITE ABDOU MOUMOUNI DE NIAMEY, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie (MESS/RS), Mémoire de Maîtrise, 62p.
- Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Travaux de l'institut de météorologie et de physique du sol. Université d'Alger. 219p.
- Song, C., Woodcock C.E., Seto K.C., Lenney M.P., et Macomber S.A., 2001.** Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effect, *Remote Sensing of Environment*, 75:230–244.
- Soudani. K., 2005.** Cours rédigé de télédétection. Introduction générale à la télédétection. ECOII Version 1.2 – Séries -Version PDF. . Univ. Paris Sud XI. 26 p.
- Soudani, K., 2006.** Corrections atmosphériques, géométriques et classification des images de télédétection sous ENVI. Travaux Dirigés en télédétection, Version PDF. Univ Paris Sud XI 18p.
- Stewart P., 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du nord ; Alger, 59 : 14.
- Tabopda G. W. et Fotsing J. M., 2010.** Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale. Article de recherche. Sécheresse 2010 ; 21 (3) : 169-78
- Tarhouni, M., Ouled Belgacem, A., Neffati, M. et Chaieb, M., 2007.** Dynamique des groupements végétaux dans une aire protégée de Tunisie méridionale. Cahiers Agriculture, 16 (1), 7.
- Tecsult., 2006.** Etude de protection du B.V du barrage de sidi Yâakoub. Tecsalt, Quebec, CANADA, 110 P.
- Thabet. S., 2008.** Etude bioclimatique et Analyse des tendances climatiques en Algérie orientale entre 1885 et 2008 – Réflexion en termes de conséquences sur la végétation. Thèse doctorat. Département de biologie végétale. Université Mentouri Constantine. Algérie.

Thomas D., Maraston C., Bender R et Mendes de Oliveira C., 2005. The Epochs of Early Type Galaxy Formation as a Function of Environment. *The Astrophysical Journal* 2005, p. 621 - 673 (T05).

Tsayem-Demaze M., Polidori L et Fotsing J.M., 2001. Caractérisation multi-échelle et multi-capteur de la déforestation tropicale amazonienne. *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, n° 161, pp. 74-84.

Tucker, C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of the Environment*, 8, 127–150.

UNIGE., 2004. Cours de télédétection, Dép. de géographie, Université de Genève, 13 p.

UVED., 2008. ENVCAL - Suivi de l'environnement par télédétection, Cours en ligne. Université Paris I, Panthéon-Sorbonne.

Vallauri D., 1997. Restauration, conservation et gestion durable des forêts dans les préalpes sud occidentales français. Contexte écologique de la problématique forestière. Mémoire volontaire présenté au onzième congré forestier mondial, Antalya (Turquie) en Octobre 1997, 6p.

Walker, B. and Steffen, W., 1996. Global Change and Terrestrial Ecosystems. IGBP Book Series No. 2. Cambridge : Cambridge University Press, 619p.

Walter H., 1979. Vegetation of the earth, 2d ed. Springer-Verlag, Berlin, 274 p.

Whittaker, R. et Levin, S.A., 1977. The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theor. Pop. Biol.* 12 : 117-139.

www.georezo.net

www.googleearth.com

www.usgs.gov.us

Annexe 01 :

Pour mener à bien la tâche d'inventaire des données, d'importants efforts ont été déployés. Ceci a permis de recueillir diverses informations et documentations (plans, rapports, données statistiques ...) de plusieurs sources, citons :

- Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H), d'Alger et de Chlef ;
- Agence Nationale des Barrages et du Transfert (A.N.B.T) d'Alger ;
- Agence Spatiale Algérienne (A.S.A.L) d'Alger ;
- Agence du Bassin Hydrographique Zahrez Chlef (A.B.H) ;
- Algérienne des Eaux (A.D.E) de la wilaya de Chlef ;
- Assemblée Populaire Communale (A.P.C) de Ouled Ben Abdelkader ;
- Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (BNEDER), Alger ;
- Conservation des Forêts de Chlef ;
- Direction Générale des Forêts (D.G.F) d'Alger ;
- Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Chlef (D.H.W) ;
- Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire de Chlef (D.P.A.T) ;
- Direction des Travaux Publics de Chlef (D.T.P) ;
- Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach ;
- Institut National de Recherche Forestière (I.N.R.F), la station de Ténès ;
- Institut National de Recherche Agricole (I.N.R.A) d'Alger ;
- Institut National de Cartographie et de Télédétection (I.N.C.T) d'Alger ;
- Office National de Géologie Minière (O.N.G.M) d'Alger ;
- Office National de Météorologie (O.N.M) de Dar El Baïdha et la station de Chlef ;
- Université de Hassiba Ben Bouali (Chlef) ;
- Université de Houari Boumediene (U.S.T.H.B) Bab El Zouar, Alger.

La plupart des données recueillies sont des données cartographiques prises à partir des plans de différentes échelles représentant le sous bassin versant de Bouguedfine complétés par les informations techniques les plus importantes.

Annexe 02 :

Ajoutant aux difficultés citées, les nombreuses lacunes enregistrées au niveau de la cartographie du sous bassin versant, dont nous avons récapitulé les plus importantes :

- Absence de légende récapitulant les signes conventionnels relatifs au sous bassin versant ;
- Plans anciens non actualisés ;
- Echelle différente d'un plan à l'autre ;
- Système de projection non mentionné sur les plans ;
- La confrontation des plans montre parfois une certaine contradiction ;
- Date d'établissement et date de mise à jour des plans non mentionnées ;
- Absence d'orientation de certaines cartes ;
- Inexistence des points géodésiques qui permettent le rattachement des coupures cartographiques à un système général ;
- Pas de carroyage matérialisant un repère planimétrique permettant la détermination des coordonnées planimétriques.

Pour que le support cartographique soit exploité, on était obligé à remédier à certains manques :

- Equiper en points de calage, chaque coupure cartographique (04 points au minimum), cette opération recèle une grande importance pour la phase de numérisation ;
- Corriger les contradictions que présentent les plans par confrontation et croisement de ces derniers ;
- Corriger certaines traces en plans non conformes aux documents retenus ;
- Compléter les informations manquantes de certains plans à partir des documents jugés fiables.

Annexe 03 :

<i>Numéro du point</i>	X	Y	Classes
1	X= 354 491	Y= 3 982 035	Feuillus denses
2	X= 349 365	Y= 3 980 203	//
3	X= 349 393	Y= 3 980 020	//
4	X= 349 099	Y= 3 979 124	//
5	X= 349 698	Y= 3 976 342	Feuillus claires
6	X= 351 737	Y= 3 975 345	//
7	X= 351 435	Y= 3 975 133	//
8	X= 350 530	Y= 3 974 206	//
9	X= 351 319	Y= 3 975 737	Résineux
10	X= 351 494	Y= 3 975 463	//
11	X= 350 205	Y= 3 975 018	//
12	X= 349 936	Y= 3 973 425	//
13	X= 348 735	Y= 3 981 670	Maquis denses
14	X= 348 553	Y= 3 981 582	//
15	X= 348 581	Y= 3 981 315	//
16	X= 351 250	Y= 3 97 9847	//
17	X= 352 695	Y= 3 975 312	Maquis ouverts
18	X= 352 844	Y= 3 975 225	//
19	X= 353 083	Y= 3 975 103	//
20	X= 352 845	Y= 3 974 412	//
21	X= 348 468	Y= 3 982 873	Cultures
22	X= 348 105	Y= 3 982 755	//
23	X= 353 747	Y= 3 980 021	//
24	X= 360 133	Y= 3 973 275	//
25	X= 345 735	Y= 3 978 523	Sols nus
26	X= 355 813	Y= 3 978 825	//
27	X= 356 445	Y= 3 978 160	//
28	X= 356 155	Y= 3 980 203	//
29	X= 348 703	Y= 3 981 554	Lac du barrage
30	X= 348 288	Y= 3 982 158	//
31	X= 349 367	Y= 3 981 438	//
32	X= 351 190	Y= 3 979 965	//

Annexe 04 :

Bilan des travaux réalisés dans le S/BV de oued Bouguedfine durant la période 1999 - 2006

Années	Programmes	Types d'aménagement	Volume théorique	Volume réalisé
1999	Grands travaux	Reboisement (Pin d'Alep)	200 ha	200 ha
		Fixation des berges	50 ha	50 ha
		Correction torrentielle (gabion)	2500 m ³	2500 m ³
		Plantation fruitière	30 ha	30 ha
2001	Programme De traitement des BV	Correction torrentielle (gabion)	1000 m ³	1000 m ³
	Programme de relance rurale	Correction torrentielle (gabion)	2000 m ³	2000 m ³
2002	Programme de traitement des BV	Correction torrentielle (gabion)	2000 m ³	2000 m ³
		Plantation fruitière	100 ha	100 ha
2005	Projet d'emploi rural II (première année 2004)	Plantation fruitière	70 ha	70 ha
		Correction torrentielle (gabion)	4000 m ³	4000 m ³
	Projet d'emploi rural II (deuxième année 2005)	Fixation des berges	50 ha	27 ha
		Repeuplement (Pin d'Alep)	25 ha	19 ha
		Reboisement (Cyprès vert)	50 ha	19 ha
2006	Programme complémentaire de soutien au développement	Reboisement (Acacia)	50 ha	50 ha

Annexes 05 : Bilan des incendies depuis 1999 dans le S/BV de l'oued Bouguedfine.

Année	Forêts	Surface (ha)	Dates d'incendies	Espèces	X1	X2
1999	Néant					
2000	Kaaricha	/	2000	Pin d'Alep		
	Saadia	/	2000	Pin d'Alep		
	Saadia	/	2000	Chêne liège + Chêne vert		
	Sfielt	/	2000	Pin d'Alep		
	Bousalah	/	2000	Pin d'Alep		
	Kaaricha	/	2000	Pin d'Alep		
	Saadia	/	2000	Chêne liège + Chêne vert		
	Saadia	/	2000	Maquis		
	Sfielt	/	2000	Pin d'Alep + Maquis		
	Bousalah	/	2000	Pin d'Alep		
2001	Bousalah	/	2001	Pin d'Alep		
	Saadia	/	2001	Maquis + Chêne liège		
	Saadia	/	2001	Maquis		
	Saadia	/	2001	Maquis		
2002	Néant					
2003	Sfielt	/	2003	Maquis + Pin d'Alep		
	Sfielt	/	2003	Maquis		
2004	Bousalah	/	2004	Pin d'Alep		
	Kaaricha	/	2004	(01ha)Pin d'Alep + (04ha) Pistachier		
2005	Sfielt	/	2005	Pin d'Alep		
	Saadia	/	2005	(50 ha) Maquis + (90 ha) Chêne liège		
2006	Saadia	/	2006	Chêne liège		
	Kaaricha	/	2006	Pin d'Alep + Pistachier		
2007	Saadia	/	2007	Pistachier		
	Saadia	/	2007	Maquis		
2008	Néant					
2009	Kaaricha	/	2009	Maquis		
2010	Néant					