RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES



Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie

Par :

DEMDOUME Sirine & ZOUBAIR Houria

Thème :

Apport de la télédétection dans le suivi des changements d'occupation de sol dans le bassin versant du Chéliff.

Soutenu publiquement le : 16 /09 /2020, Devant le jury composé de :

Mr BELHADJ H	MCB	UYEM	Président
Mr AIT HAMMOUDA T	MAA	UYEM	Examinateur
Mme KHOUDIR S	MAA	UYEM	Examinateur
Mme SAADI H	MAA	UYEM	Encadreur

Année universitaire 2019/2020

Résumé

Le bassin versant de Chéliff est l'un des plus grands bassins versants d'Algérie, il repose sur une superficie de 43750 km², il subit de plusieurs changements au cours de temps en raison de nombreuses causes. L'objectif de cette étude est de faire une évaluation spatio temporelle du suivi des changements d'occupation du sol dans le bassin versant du Chéliff à l'aide de la télédétection. Pour réaliser notre travail nous avons utilisé deux images LANDSAT de l'année 1987 et 2019, nous avons basé sur l'interprétation visuelle de l'image satellitaire et une carte d'occupation du sol des wilayas du nord pour orienter la classification supervisée dans le but d'extraire des cartes de changement d'occupation des terres de la zone d'étude . La comparaison entre les cartes des changements de l'occupation de sol de 1987 et 2019 résultante des traitements nous a conduit à conclure qu'il ya une augmentation importante dans le couvert végétal, l'urbanisation et les ressource d'eau.

Au final, nous avons constaté que l'utilisation de la télédétection permettait de déterminer l'évolution temporelle et spatiale de l'utilisation des sols dans le bassin versant de Chéliff sur une période de trente-deux ans (de 1987 à 2019).

Mot clé : Occupation du sol, Bassin versant, Télédétection, ENVI, NDVI, Classification supervisée, Classification non supervisée.

ملخص

تعتبر مستجمعات مياه الشلف من الأكبر في الجزائر ، و تقدر مساحتها 43750 كيلومتر مربع ، وبمرور الوقت خضعت لعدة تغييرات تعود لأسباب عديدة. الهدف من هذه الدراسة هو إجراء تقييم مكاني وزماني لرصد التغيرات في الغطاء الأرضي في مستجمعات مياه الشلف باستخدام الاستشعار عن بعد. للقيام بعملنا استخدمنا صورتين للقمر الصناعيLANDSAT لعامي 1987 و 2019، اعتمدنا على التفسير المرئي لصورة القمر الصناعي وخريطة الغطاء الأرضي للولايات الشمالية لتوجيه التصنيف الخاضع للإشراف بهدف استخراج خرائط تغير استخدامات الأراضي بالمنطقة المدروسة. أدت المقارنة بين خرائط التغيرات في استخدامات الأراضي بين عامي 1987 و 2019 الناتجة عن المعالجات لصورالقمرالصناعي إلى استنتاج أن هناك زيادة كبيرة في الغطاء النباتي والتحضر والموارد المائية.

في النهاية، خلصنا إلى أن استخدام الاستشعار عن بعد جعل من الممكن تحديد التطور الزمني والمكاني لاستخدام الأراضي في مستجمعات مياه الشلف على مدار اثنين وثلاثين عامًا (من 1987 إلى 2019).

الكلمات المفتاحية: غطاء أرضي، منطقة مستجمعات المياه، الاستشعار عن بعد، ENVI، NDVI، تصنيف خاضع للإشراف، تصنيف غير خاضع للإشراف.

Abstract

The Chéliff watershed is one of the largest watersheds in Algeria, it is based on an area of 43,750 km², it has undergone several changes over time due to many causes. The objective of this study is to make a spatio-temporal evaluation of the monitoring of changes in land cover in the Chéliff watershed using remote sensing. To carry out our work we used two LANDSAT images of the year 1987 and 2019, we based on the visual interpretation of the satellite image and a land cover map of the northern wilayas to guide the supervised classification in the goal of extracting land use change maps in the study area. The comparison between the maps of changes in land use from 1987 and 2019 resulting from the treatments, led us to conclude that there is a significant increase in vegetation cover, urbanization and water resources.

In the end, we concluded that the use of remote sensing made it possible to determine the temporal and spatial evolution of land use in the Chéliff watershed over a period of thirty-two years (from 1987 to 2019).

Keyword: Land cover, Catchment area, Remote sensing, ENVI, NDVI, Supervised classification, Unsupervised classification.

Remerciements

Avant tout, nous remercions « **ALLAH** », le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science, afin de réaliser ce modeste travail

- Nous adressons nos sincères remerciements et notre sincère gratitude à notre encadreur Mme **SAADI HASNA**, pour ses aides précieux, ses orientations et ses conseils.

Nous tenons particulièrement à remercier le Centre National des Techniques Spatiales qui ont bien accueilli pendant un mois.

- Nous remercierons vivement Dr **BENTKHICI NADJLA** et Mr **GHABI MOUHAMED** attachée de recherche au **CTS** étant responsable de stage et formateur pour ses orientations, ses précieux conseils pour les efforts qu'ils ont fournis pour notre formation et pour toutes les heures qu'ils ont consacré à diriger cette recherche.
- Nous remercions le Directeur du **CTS** M^{er} **MAHI** de nous avoir autorisé et facilité nos séjours et notre stage ainsi que toutes personnes du **CTS** qui ont contribué dans notre stage notamment le chef de département M^{er} **GAROUI SOUFIAN** M^{er} **ZEGRAR** et M^{er} **BOUHLALA AMINE**.

Ainsi que, toutes personnes ayant participé à la réalisation de notre mémoire et notamment ont aimerai adresser notre sincères remerciement à :

- Aux membres de jury qui nous ferons l'honneur de juger ce travail :

- Mr **BELHADJ** H
- Mr **AIT HAMMOUDA** T
- Mme **KHOUDIR** S

- L'ensemble des enseignants qui nous ont suivis durant notre cycle d'études.

Enfin, nous tiendrons à présenter nos remerciements à ceux qui ont contribué de près ou de loin que ce soit physiquement ou moralement par leurs connaissances dans les différents domaines à la réalisation de ce travail.

Merci à toute l'équipe pédagogique et administrative du SNV

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect

À ma mère, qui a toujours sacrifié pour mon éducation, qui m'a entouré par son amour et de son affection, je la remercie et je n'oublierai jamais son soutien moral dans les moments les plus difficiles, qu'Allah lui accorde la santé et le bonheur, et l'héberge dans son vaste paradis, et mon cher père.

À la mémoire de mon père, que Dieu le tout puissant l'accueille dans son vaste paradis

À mon marie Larbi Je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection et mon attachement en vous souhaitant beaucoup de bonheur, de santé et de réussite Que Dieu nous unisse pour toujours.

À mes chères sœurs Anfal, Khouloud et Ikram, ma tante Amel et son mari qui n'ont jamais été absents

À mon binôme et ma chère collègue Houria pour sa compréhension durant toutes les périodes et sa famille

À Mon grand-père Mohamed et ma grand-mère Malika, mes oncles, tantes , Cousins et cousines et Toutes les familles Mansour Boukertcahe et Benmerzeg

Sirine

Dédicace

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

À mes parents, Les deux êtres les plus chères au monde pour toute leur tendresse et leurs sacrifices consentis à mon éducation et ma formation et qui n'ont d'égal que le témoignage de la profonde reconnaissance.

À mon marie kamel pour ses encouragements permanents, et son soutien moral.

À mes chers frères mohamed, bilal, abdelraouf et À mes chères sœurs fatma, fatiha, hanane pour leurs appuis et leurs encouragements. Aussi À mes neveux Rania et imad.

À toute la famille zoubair, bedda, labidi.

À Mon binôme, et mon chère sœur, sirine pour sa foi durant toutes les périodes de réalisation de ce projet.

À mes cher(e)s ami(e)s : aziza, rebiha, besma, yasmina, asia, fouad, morad , yocef, rachid, amine, … avec qui j'ai partagé les meilleurs moments durant ces années d'études.

À mes chers camarades de la promo 2019/2020 écologie et environnement.

À mon collègue Fethi BELKACEM que Dieu lui fasse miséricorde.

Je dédie également ce travail à tous mes professeurs du cycle primaire, moyen, lycée et universitaire.

Houria

Sommaire

Introduction générale 1

I. Aperçu bibliographique sur la télédétection 3

I.1 Introduction 3

I.2 Définition 3

I.3 Objectif de la télédétection 3

I.4 Domaine d'application 4

I.5 Processus de la télédétection 4

I.6 Les bases physiques de la télédétection 5

I.6.1 Le rayonnement électromagnétique 5

I.6.2 Le spectre électromagnétique 6

I.7 Signatures spectrales des principales surfaces naturelles 7

I.8 Les vecteurs et les capteurs 8

I.8.1 Les vecteurs 8

I.8.2 Les Capteurs 9

I.9 Les satellites optiques à moyenne résolution 10

I.9.1 LANDSAT' (land satellite) 10

I.10 Image satellitaire 12

I.11 La Résolution 12

b) Résolution spectrale 13

c) Résolution temporelle 13

d) La résolution radiométrique 14

I.12 Traitements des données satellitaires 15

I.12.1 Prétraitement des images satellitaire 15

a)Corrections géométriques 15

b) Corrections radiométriques 15
I.13 Classification des données 16
I.13.1 Classification non supervisée 16
I.13.2 Classification supervisé 17
I.14 l'indice de végétation normalisé (NDVI) 19
I.15 Conclusion 19
II. Présentation de la zone d'étude 21
II.1 Introduction 21
II.2 Situation géographique du bassin Chéliff 21
II.3 Les Sous Bassins Chéliff 23
II.3.1 Bassin du Côtier Dahra 23
II.3.2 Bassin Bas Chéliff et Mina 24
II.3.3 Bassin Haut et Moyen Chéliff 24
II.3.4 Bassin du Chéliff-amont Boughezoul 25
II.4 Géomorphologie du Bassin Chéliff 25
II.5 La géologie du Bassin Chéliff 26
II.6 La Lithologie 27
II.7 Pédologie 29
II.8.1 Eaux superficielles 30
II.8.1.1 Barrages et Retenues collinaires 30
II.8.2 Eaux souterraines 31
II.8.2.1 Ressources en eau souterraine des principales unités hydrogéologiques 31
I.8.3 L'analyse du réseau hydrographique 31
II.9 L'occupation de sol 32
II.10 Climatologie 34
II.10.1 Introduction 34

II.10.2 Les précipitations 35
II.10.4.1 Précipitation moyennes annuelles 36
II.10.4.2 Précipitations moyennes mensuelles par décennie des trois stations 36
II.10.5. Température 38
II.10.3 L'humidité relative de l'air 40
II.10.4 Les vents 41
II.10.6 synthèse climatique 42
II.10.7 Diagramme Ombrothermique(BAGNOULS et GAUSSEN) 44
II.10.8 Climagramme de LOUIS EMBERGER 46
II.11 Conclusion 47
III. Matériels et méthodologies de travail 48
III.1 Introduction 48
III.2 Matériels utilisés 48
III.2.1 Les images satellitaires 48
III.2.1.1 Caractéristiques du capteur Landsat 5-TM 50
III.2.1.2 Caractéristiques du capteur Landsat 8-Oli 51
III.2.2 Les logiciels de traitement 52
III.2.2.1 ENVI 52
III.2.2.2 ArcGis 53
III.2.2.3 Mapinfo 53
III.3 Approche méthodologique 54
III.3.1 Acquisition des images satellites 56
III.3.2 Sélection des dates 56
III.3.3 Prétraitements 56
III.3.3.1 Correction atmosphérique 57

III.3.3.2 Composition colorée des images 58
III.3.4 Mosaickage des scènes couvrant la zone d'étude 58
III.3.5 Découpage de la zone d'étude 59
III.3.6 Calcul de l'indice de végétation NDVI 59
III.3.7 Méthodes de classification 59
III.3.7.1 Classification supervisée 60
III.3.7.2 Classification non supervisée 61
III.3.8 Réalisation des cartes de synthèses 61
III.4 Conclusion 62
IV. Résultats et discussions 63
IV.1 Introdution 63
IV.2 Traitement el analyses des images satellitaires 63
IV.2.1 Prétraitements et correction des images 63
IV.2.1.1 Analyse des résultats 63
IV.2.1.2 Signatures spectrales 64
IV.3 Composition colorée des images 65
IV.4 Mosaïque des images satellites 67
IV.5 Découpage des images selon les limites de la zone d'étude 68
IV.6 Classification des images satellitales multi dates 70
IV.6.1 Étapes de la classification supervisée de l'image prise en 1987 70
IV.6.1.1 Application du masque de la zone urbain et de la zone incendiée 70
IV.6.1.2 Sélection des échantillons d'apprentissage 70
IV.6.1.3 Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage 71
IV.6.1.4 Algorithme de la classification 72
IV.6.1.5 Evaluation de la qualité de la Classification 72

IV.6.1.6 Matrice de confusion 73

IV.6.1.7 Amélioration des rendus cartographiques des résultats 75

IV.6.2 Étapes de la classification supervise de l'image satellite Landsat 8 prise en 2019..... 76

IV.6.2.1 Application du masque du tissu urbain et des zones incendiées 76

IV.6.2.2 Sélection des échantillons d'apprentissage 76

IV.6.2.3 Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage 77

IV.6.2.4 Evaluation de la qualité de la Classification 78

IV.6.2.5 La matrice de confusion 79

IV.6.3 Résultat de la classification supervisée des images satellites 83

IV.6.3.1 Changements de l'occupation du sol en 1987 et 2019 85

IV.7 Classification non supervisée 87

IV.8 Evaluation des changements de la biomasse végétale entre 1987 et 2019 90

IV.9 Discussion générale 94

Conclusion générale 95

Références bibliographiques 97

Annexe..... 102

Liste des tableaux

Tableau N°1 : Caractéristiques des satellites LANDSAT..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°2 : Coordonnés géographiques des stations d'observation..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°3: Coordonnés géographiques des stations d'observation..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N° 4: les données des images satellitaires de bassin versant de Chéliff 1987. **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°5: les données des images satellitaires de bassin versant de Chéliff 2019. **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°6 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 5-TM.... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°7: Caractéristiques des bandes spectrales de LANDSAT 8-OLI..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°8: Matrice de confusion pour l'image classifiée de 1987 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°9: Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2019 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°10:Statistiques des différents thèmes d'occupation du sol de bassin versant du Chéliff..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°11: Superficies des différentes classes de l'occupation de sols **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°12: les classes du NDVI..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau N°13: Superficies de la densité de la biomasse végétale du bassin versant de Chéliff (1987-2019)..... **Erreur ! Signet non défini.**

Liste des figures

Figure N°1: Les étapes couvrent le processus de la télédétection 6

Figure N°2: Rayonnement électromagnétique 7

Figure N°3: Représentation de spectre électromagnétique 8

Figure N°4: Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen 9

Figure N°5:Télédétection active et télédétection passive 10

Figure N°6: Les photos des satellites LANDSAT 11

Figure N°7: Représentation d'une image numérique satellite 13

Figure N°8:Résolution spatiale 14

Figure N°9:Résolution temporelle 15

Figure N°10:Résolution radiométrique 15

Figure N°11: Organigramme de la méthode de classification des images satellitales 19

Figure N°12: Situation géographique du Bassin versant Chéliff 22

Figure N°13: Les sous bassins versant de Chéliff 23

Figure N°14: Carte géologique du bassin versant Chéliff 27

Figure N°15: Carte lithologique du bassin versant Chéliff 30

Figure N°16: Carte des barrages du bassin versant Chéliff 31

Figure N°17: Carte des Retenues collinaires du bassin versant Chéliff 31

Figure N°18: Carte du Réseau Hydrographique du bassin versant Chéliff 33

Figure N°19: Cartographie de l'occupation du sol des wilayas du nord 34

Figure N°20: Histogramme de l'humidité relative des quatre stations (1980-2005) 36

Figure N°21: Histogramme des vitesses du vent des quatre stations (1980-2005) 37

Figure N°22: Des précipitations par les années des 3 stations (1980-2005) 38

Figure N°23: Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Tissemsilt par décennie (1980- 2015) 39

Figure N°24: Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la station Chéliff par décennie (1980- 2015) 39

Figure N°25: Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la station Ain defla par décennie (1980- 2015)..... 40

Figure N°26: Températures moyennes mensuelles par décennie de la station Miliana..... 41

Figure N°27: Températures moyennes mensuelles par décennie de la station de Tiaret..... 42

Figure N°28: Températures moyennes mensuelles par décennie de la station de Chéliff..... 42

Figure N°29: Carte bioclimatologie du bassin versant Chéliff..... 44

Figure N°30: Diagramme ombrothermique de la station de Chéliff dans la décennie 80 45

Figure N°31: Diagramme ombrothermique de la station de Chéliff dans la décennie 90 46

Figure N°32: Diagramme ombrothermique de la station de Chéliff dans la décennie 2000 ... 46

Figure N°33: Localisation des 2 stations sur le climagramme d'Emberger..... 48

Figure N°34:LANDSAT 5-TM..... 50

Figure N°35:LANDSAT 8-OLI 50

Figure N°36: Organigramme présente les étapes de l'approche méthodologique utilisé pour l'analyse et le traitement des données satellites 56

Figure N°37: Organigramme présente la chaine de traitement d'une image satellitaire 58

Figure N°38: Interface graphique du module FLAASH 59

Figure N°39: Classification de l'image..... 61

Figure N°40:À gauche : image avant traitement. À droite : image après traitement..... 65

Figure N°41: Comparaison des réponses spectrales d'un même pixel représentant la végétation 65

Figure N°42: Exemple de la signature spectrale de la végétation, du sol nu et l'eau sans correction atmosphérique la composition colorée produite à partir des bandes originales de l'image Landsat TM5 1987 sur le bassin versant de Chéliff..... 67

Figure N°43: Mosaïque des 6 images Landsat TM- 1987 de la zone d'étude 68

Figure N°44: Mosaïque des 5 images Landsat8- 2019 de la zone d'étude 68

Figure N°45: Les limites naturelles du Bassin versant du Chéliff 69

Figure N°46:Découpage de l'image Landsat TM 1987 du Bassin versant de Chéliff..... 70

Figure N°47:Découpage de l'image Landsat 8 2019 du Bassin versant de Chéliff..... 70

Figure N°48: Thèmes des échantillons d'apprentissage 1987 72

Figure N°49:Séparabilité entre les classes d'apprentissage 1987 73

Figure N°50: Thèmes des échantillons de validation..... 74

Figure N°51:Séparabilité entre les classes de validation 1987 74

Figure N°52: Carte d'occupation du sol du bassin versant de Chéliff en 1987 78

Figure N°53: Séparabilité entre les classes d'apprentissage 2019 78

Figure N°54: Thèmes des échantillons de validation2019..... 79

Figure N°55: séparabilité entre les classes de validation2019 80

Figure N°56: Carte d'occupation du sol du bassin versant de Chéliff en 1987 83

Figure N°57: Carte d'occupation du sol du bassin versant de Chéliff en 2019 83

Figure N°58: Superficies des différentes classes de l'occupation de sols 85

Figure N°59: Carte de changement de la classe agriculture du bassin versant Chéliff 1987 - 2019 87

Figure N°60: Carte des changements de la forêt du bassin versant Chéliff (1987 -2019)..... 87

Figure N°61: Carte des changements des plans d'eau du bassin versant Chéliff 1987 -2019 . 87

Figure N°62: Superficies des différentes classes de l'occupation de sols 89

Figure N°63: Classification non supervisée du bassin versant Chéliff 1987 90

Figure N°64: Classification non supervisée du bassin versant Chéliff 2019 90

Figure N°65: Carte de la densité de la biomasse végétale à partir de l' NDVI du bassin versant Chéliff (1987) 93

Figure N°66: Carte de la densité de la biomasse végétale à partir de l' NDVI du bassin versant Chéliff (2019) 93

Figure N°67: Superficies des différentes classes de NDVI(2019) 94

Liste des abréviations

ABH-CZ : Agence du Bassin Hydrographique Chéliff Zahrez

AEP : Alimentation en eau potable

A.N.R.H : agence nationale des ressources hydrauliques

CTS : centre des techniques spatial

DGF : direction générale des forêts

MAO: Mostaganem-Arzew-Oran.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

OLI: Operational Land Imager

ONM : Office Nationale Météorologique

RGPH : Recensement général de la population et de l'Habitat

SIG: Système d'information géographique

TM: Thematic Mapper

Introduction générale

Depuis plusieurs décennies, l'observation de la Terre permet de mieux comprendre notre planète. Au cœur des enjeux sur les changements globaux, la caractérisation des dynamiques liées aux transformations des surfaces continentales, consommation des surfaces agricoles, déforestation ou encore étalement urbain est essentiel. Dans ce contexte, la télédétection spatiale offre la possibilité de cartographie fréquemment l'ensemble de la planète. Plus spécifiquement, les images issues des acquisitions satellitaires permettent de produire des cartes qui donnent une représentation graphique relative aux surfaces terrestres comme l'occupation des sols.

Les études sur le changement dans l'occupation et l'utilisation du sol sont d'une grande importance car ils permettent de connaître les tendances actuelles dans les processus de l'étalement urbain, et la perte de la biodiversité d'une région déterminée. Il existe des facteurs naturels, comme le climat, le vent, la pluie etc, qui favorisent les variations de la couverture végétale. Néanmoins, pendant les dernières décennies, les activités humaines sont le principal déclencheur de la transformation des écosystèmes. Les conséquences les plus évidentes sont la perte du potentiel d'utilisation du sol pour le bien-être humain et la perte d'habitat en générale. La procédure la plus efficace pour mesurer le degré de changement de l'environnement est l'étude multi-date de la couverture végétale. (**DERDJINI, 2017)**

La télédétection offre une perspective unique avec des analyses multi temporelles sur la façon dont l'occupation des sols se développe. L'élément clé pour cartographier les changements d'occupation des sols, de Rurale à urbaine, est la capacité de distinguer entre les occupations rurales (l'agriculture, les pâturages, les forêts) et urbaines (résidentielle, commerciale, récréative). Les méthodes de télédétection peuvent être utilisées au-dessus de grandes régions pour effectuer la classification des types d'occupation du sol de façon pratique, économique et de manière répétitive. **(BONN, 1996)**

Le bassin du Chéliff est le plus vaste bassin hydrographique en Algérie, il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Chéliff avec une superficie de 43750 km².il est choisi comme une zone d'étude de notre travail en raison de sa vaste superficie qui nous permet d'étudier le changement de l'occupation des sols**.**

L'objectif de notre travail est le suivi et l'évaluation spatiotemporelle de l'occupation de sol du bassin versant du Chéliff par l'utilisation des images satellites Landsat de deux

dates: la première acquise en 1987 (Landsat 5-TM), et la deuxième en 2019 (Landsat 8-OLI) pour détecter l'ensemble des variations dans l'espace étudié.

Dans ce travail, ce mémoire est structuré comme suit:

- Une introduction générale.
- Chapitre I sera consacré à un aperçu bibliographique sur la télédétection.
- Chapitre II portera une présentation de la zone d'étude dans laquelle nous avons fait la description de bassin versant du Chéliff, et une synthèse climatique des paramètres météorologiques.
- Chapitre III sera consacré au matériel utilisé et à l'approche méthodologique.
- Chapitre IV, nous discuterons d'une manière synthétique l'ensemble des résultats obtenus.
- Enfin, nous terminerons par une conclusion générale où seront résumées les grandes lignes de ce travail et d'envisager quelques perspectives.

I. Aperçu bibliographique sur la télédétection

I.1 Introduction

La planification scientifique et la gestion conservatoire d'un écosystème terrestre nécessitent des connaissances approfondies de l'état antérieur et actuel de leur patrimoine écologique (eau, sol, couvert végétal….etc.). Cette connaissance exige le choix de méthodes d'étude adéquates. Parmi ces méthodes, on trouve la cartographie et la télédétection numérique qui constituent un moyen très avancé et recommandé dans la connaissance approfondie des ressources naturelles et de leurs évolutions spatiotemporelles. (**BELKAOUSSA, 2017)**

La télédétection est l'outil de prédilection pour la spatialisation de l'information et pour la mise à jour des cartes géographiques en particulier les cartes d'occupation du sol **(TUCKER, 1979)**. Dans ce chapitre nous allons donner une revue bibliographique sur tous ce qui a trait à la télédétection.

I.2 Définition

« 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 contact matériel avec ceux-ci ». (**KERGOMARD, 2004)**

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre. Elle englobe tout le processus qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculés 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,…). **(SOUDANI, 2005)**

I.3 Objectif de la télédétection

L'objectif principal de la télédétection est de cartographier les ressources terrestres et d'en effectuer le suivi. Par rapport aux techniques, la télédétection par satellite est précise et rentable, et permet d'obtenir des données en temps utile.

Le principal avantage est que les observations faites par télédétection contribuent à la gestion intégrée de l'environnement et des ressources naturelles, car l'environnement et tout ce qu'il renferme peuvent être observés comme un seul et même système. **(MIDEKOR. et al, 2013)**

I.4 Domaine d'application

En pratique la télédétection peut être utilisée pour faire des inventaires tels que la cartographie de l'occupation du sol, repérage du feu, etc.…, ou bien en modélisation ou bien simulation la déforestation, changement de climat, etc.…, et aussi dans l'aménagement de la circulation routière et les services d'intervention et de secours.

I.5 Processus de la télédétection

L'analyse des images de télédétection a pour but d'interpréter la nature et la fonction des objets positionnés. Le processus d'interprétation qui se fait visuellement ou automatiquement consiste à transformer les données de l'image satellitaire en éléments d'information spatialement localisés. Dans la plus part des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles **(Figure N°1)**. **(CCT, 2013)**

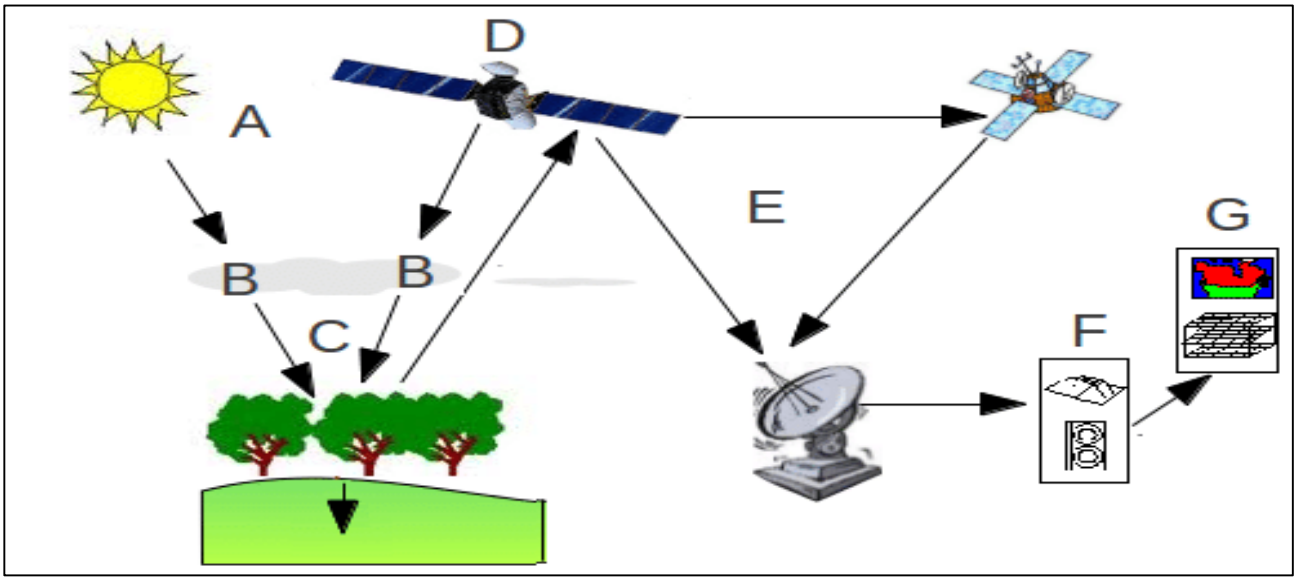


Figure N°1: Les étapes couvrent le processus de la télédétection **(CCT., 2013)**

1. Source d'énergie ou d'illumination (A) : À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.

2. Rayonnement et atmosphère (B) : Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

3. Interaction avec la cible (C) : Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.

4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) : Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

5. Transmission, réception et traitement (E) :L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

6. Interprétation et analyse (F) : Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

7. Application (G) : La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. **(SOUDANI, 2005)**

I.6 Les bases physiques de la télédétection

I.6.1 Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est une forme de propagation de l'énergie dans la nature, cette énergie constituée d'ondes électromagnétique est considérée comme le vecteur porteur d'informations relatives à l'objet étudié.

Selon la théorie des ondes, tout rayonnement électromagnétique possède des propriétés fondamentales et se comporte de façon prévisible. Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M). Le

champ électrique varie en grandeur et est orienté de façon perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière (c) **(Figure N°2)**.

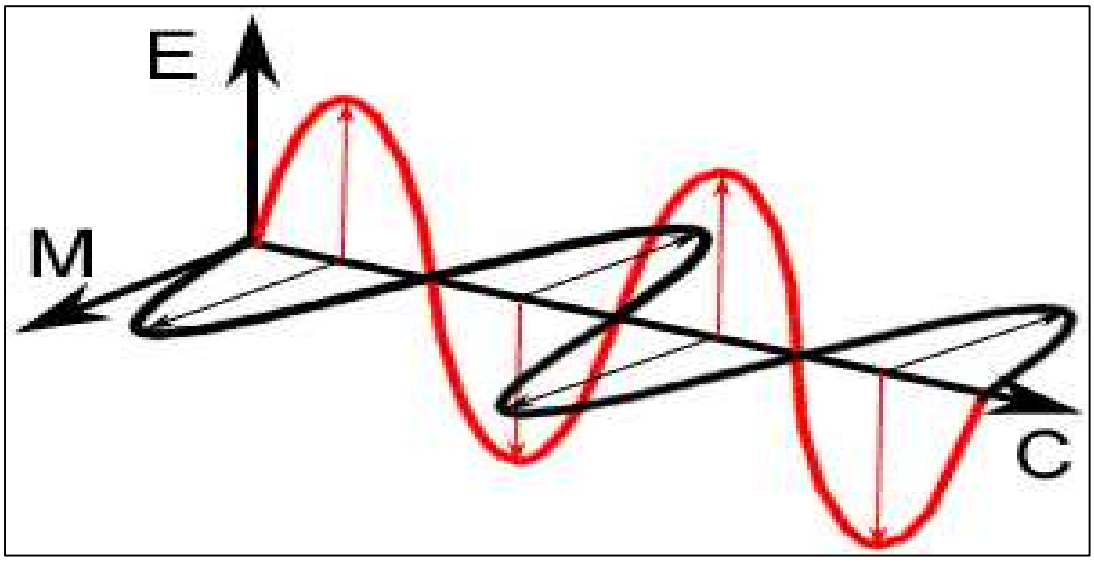


Figure N° 2: Rayonnement électromagnétique

I.6.2 Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio). La télédétection utilise plusieurs régions du spectre électromagnétique. L'ensemble des fenêtres de toutes les longueurs d'ondes est appelé : "spectre électromagnétiques"**(Figure N°3).**

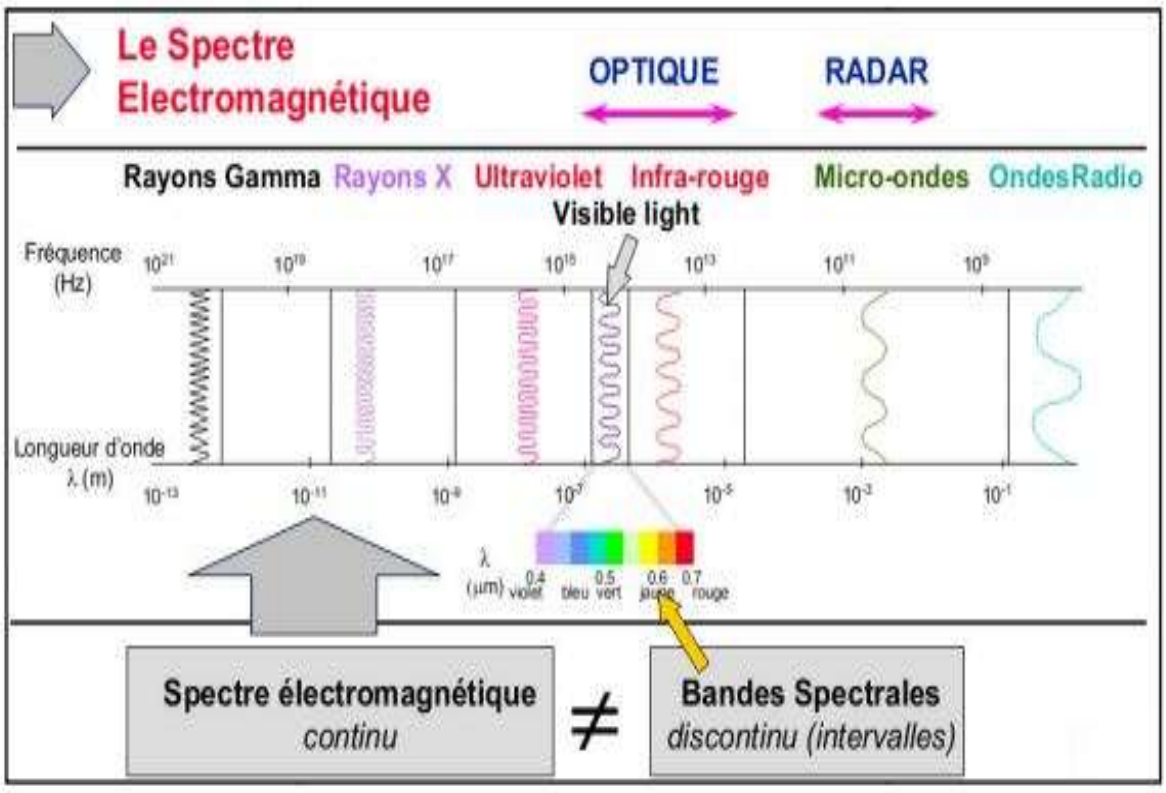


Figure N° 3: Représentation de spectre électromagnétique **(TONON, 2005)**

I.7 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 réfléchie en fonction de la longueur d'onde) qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires **(Figure N°4)**. **(UVED, 2008)**

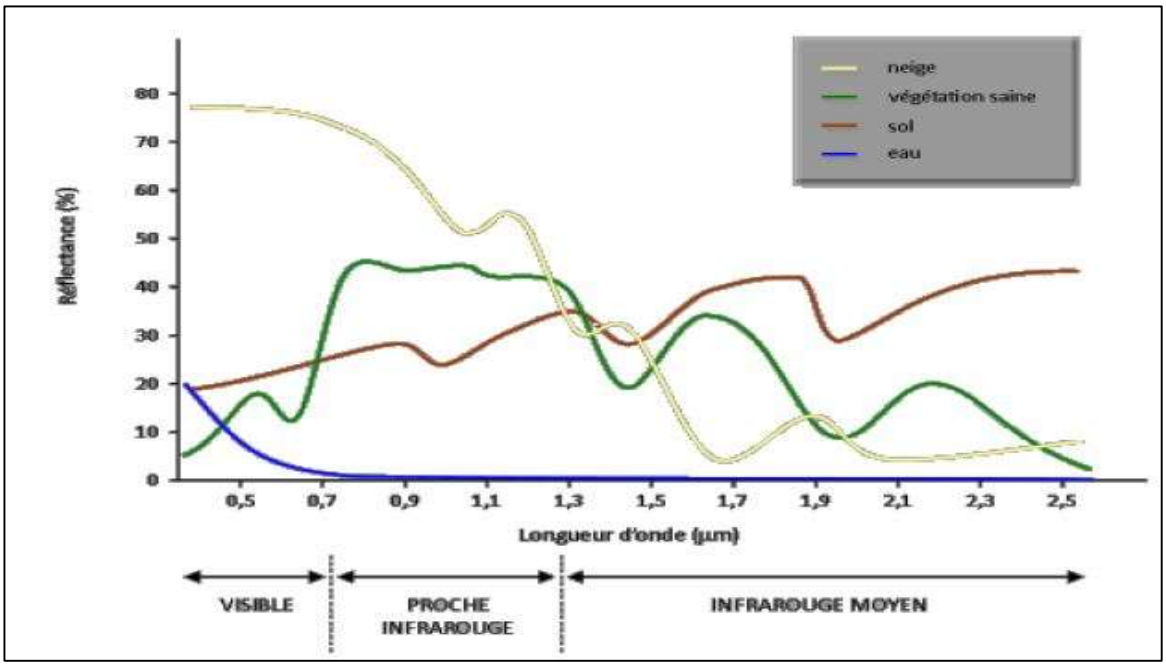


Figure N°4 : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (**UVED, 2008)**

I.8 Les vecteurs et les capteurs

I.8.1 Les vecteurs

Sont des objets artificiels placés en orbite autour de la terre pour les besoins de la télédétection, des communications et de la télémétrie. Grâce à leur orbite, les plates-formes spatiales permettent une couverture répétitive et continue de la surface de la terre. Le cout est souvent un facteur déterminant dans le choix des différentes plates-formes (**TADJEROUNI, 2002**). Les vecteurs en télédétection sont deux types :

a)Les satellites géostationnaires : Un satellite géostationnaire est un satellite artificiel qui se trouve sur une orbite géostationnaire. Sur cette orbite le satellite se déplace de manière exactement synchrone avec la planète et reste constamment au-dessus du même point de la surface. Cette caractéristique est très utile pour les télécommunications (satellite de télécommunications) et certaines applications dans le domaine de l'observation de la planète.

b) Les satellites à défilements : Un satellite à défilement est un satellite qui défile. C'est-à-dire qui ils sont en orbite basse et défilent rapidement (typiquement 1 h ou 1 h 30 pour faire le tour de la terre). Ce genre de satellite permet à toute personne équipée d'un

téléphone adéquat et quel que soit l'endroit du monde ou elle est de se relier directement au satellite pour téléphoner. Cela nécessite beaucoup de satellites pour que toute la surface de la terre soit couverte et qu'il y ait au moins deux satellites visibles à chaque instant en tout point.

I.8.2 Les Capteurs

Un capteur, dans le domaine de la télédétection spatiale, est un instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant et mesurable. Par assimilation et bien qu'elle ne délivre pas de signal électrique, on considère la chambre photographique comme un capteur. Le terme " capteur " est parfois utilisé à tort pour désigner le détecteur. Les différents types de capteurs utilisés dans le domaine de la télédétection spatiale, sont les suivants :

a) Capteur actif : peut seulement percevoir l'énergie réfléchie lorsque le soleil illumine la terre. Il n'y a donne pas d'énergie solaire réfléchie le soir, tandis que l'énergie dégagée naturellement (infrarouge thermique) peut être perçus le jour ou la nuit. **(CCT, 2013)**

b) Capteur passif : produit sa propre énergie pour illuminer la cible. Il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Il a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou la saison. La figure N°5 présente la télédétection active et télédétection passive.

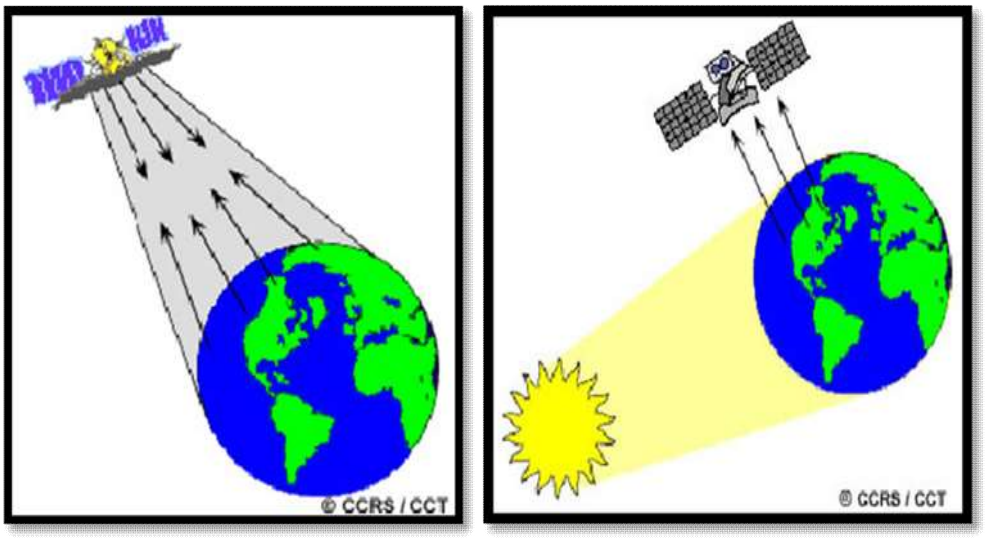


Figure N°5 : Télédétection active et télédétection passive

(CCT, 2013)

I.9 Les satellites optiques à moyenne résolution

I.9.1 LANDSAT' (land satellite)

Le programme **Landsat** est le premier programme spatial d'observation de la Terre destiné à des fins civiles. Il est développé par l'agence spatiale américaine, la NASA à l'instigation de l'Institut des études géologiques américain (USGS) et du département de l'agriculture au milieu des années 1960. Sept satellites Landsat sont lancés entre 1972 et 1999 et un huitième le 11 février 2013. Les instruments embarqués sur les satellites Landsat permettent de capturer plusieurs millions d'images. Celles-ci constituent des ressources uniques pour l'étude des changements climatiques, l'utilisation des sols, la cartographie, la gestion de l'habitat ; ainsi que pour de nombreuses autres applications dans les domaines de l'agriculture, la géologie, la sylviculture, l'éducation. La figure N°6 présente les photos des différents satellites LANDSAT et le tableau N°1 présente les caractéristiques de ses satellites LANDSAT.

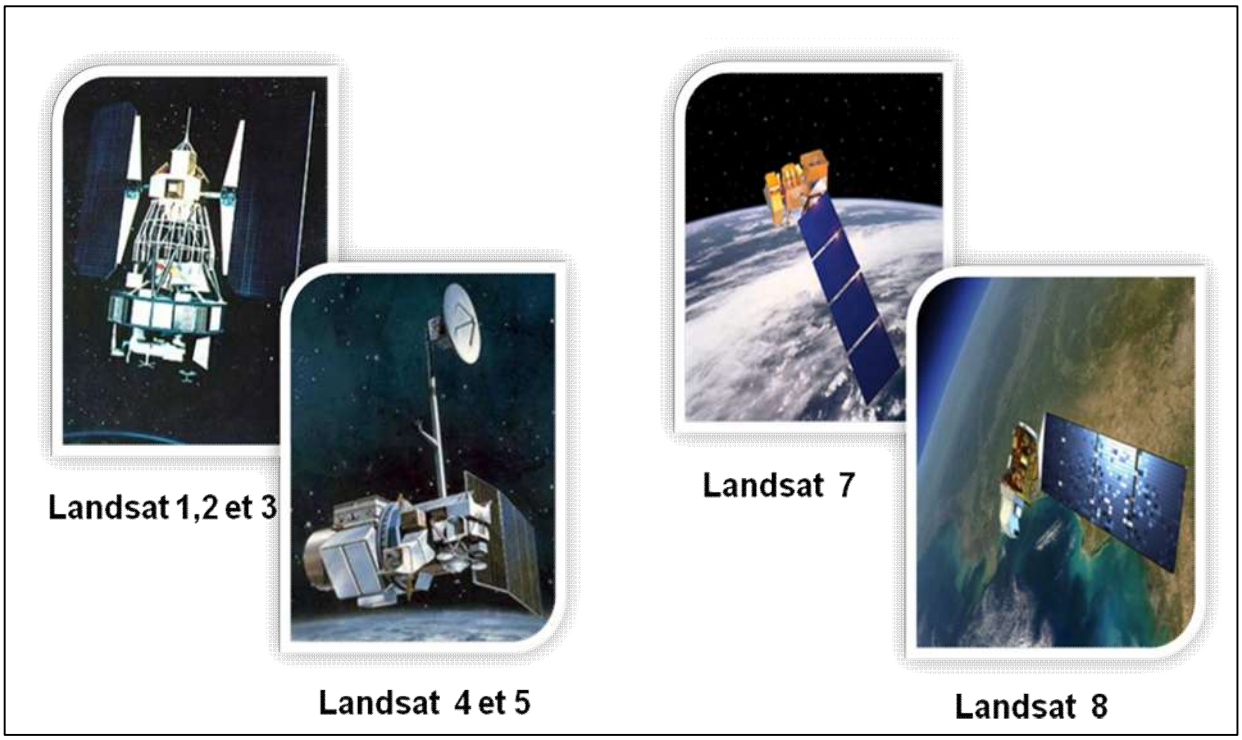


Figure N°6 : Les photos des satellites LANDSAT

Tableau N°1 : Caractéristiques des satellites LANDSAT

Caractéristiques	Landsat-1 ,2et 3	Landsat-4 et 5	Landsat-7	Landsat 8
Début et fin de mission	Landsat-1 : 1972-1978 Landsat-2 : 1975-1981 Landsat-3 : 1978-1983	Landsat-4 : 1982-1993 Landsat-5 : 1984-2013	1999	2013
Statut satellite	Mission terminée	Mission terminée	Opérationnel	Opérationnel
Masse	816–960 kg	1 938–1 961 kg	2 200 kg	2 600 kg
Instruments	MSS : radiomètre RVB : caméra vidéo	MSS et TM : radiomètre	ETM+ : radiomètre	OLI et TIRS : radiomètre
Bandes spectrales	V(0,5-0,6µm) R(0,6-0,7µm) IR(0,7-0,8µm) IR(0,8-1,1 µm)	B(0,45-0,52µm) V(0,52-0,6µm) R(0,63-0,69µm) IR(0,76-0,9µm) MIR(1,55-1,75µm) MIR(2,08-2,35 µm)	B(0,45-0,52µm) V(0,53-0,61µm) R(0,63-0,69µm) IR(0,78-0,9µm) MIR(1,55-1,75µm) MIR(2,09-2,35 µm)	aérosol(0,433-0,453µm) B(0,45-0,515µm) V(0,525-0,6µm) R(0,63-0,68µm) IR(0,845-0,885µm) MIR(1,56-1,66µm) CIRRUS(1,36-1,39µm) MIR(2,1-2,3 µm)
Infrarouge thermique	-	10,4-12,5 µm	10,4-12,5 µm	10,3-11,3 µm 11,5-12,5 µm
Panchromatique	-	-	0,52-0,9 µm	0,5-0,68 µm
Résolution	Générale : 79 m	Générale :30 m Infrarougethermique :120 m	Générale :30 m Panchromatique :15 m Infrarouge thermique : 60 m	Générale :30 m Panchromatique :15 m Infrarouge thermique : 100 m
Application	Occupation du sol et de végétation	Occupation du sol et de végétation	Occupation du sol et de végétation	Occupation du sol et de végétation
Orbite	Altitude : 907–915 km cycle :18jours heure : 9 h 45	Altitude :705 km cycle :16jours heure : 9 h 30-10 h	Altitude :705 km cycle :16jours heure : 10 h-10 h 15	Altitude :705 km cycle :16jours heure : 10 h

I.10 Image satellitaire

Une image satellitaire est une représentation graphique, en vue du dessus, d'une zone assez vaste de la Terre. La particularité de cette image est quelle est prise par un satellite placé en orbite autour de la planète. Contrairement aux images obtenues à l'aide d'un appareil photo, ou dessinées sur du papier, une image satellitaire est une image numérique, traitée par outil informatique, élaborée à partir des signaux transmis par un satellite.

Les données de télédétection sont le plus souvent fournies en format d'images numériques. L'image correspond à une matrice de pixel. La taille du pixel correspond à la résolution spatiale et son contenu correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi ou émis. Cette intensité est exprimée en niveaux de gris (0-255) **(Figure N° 7)**.

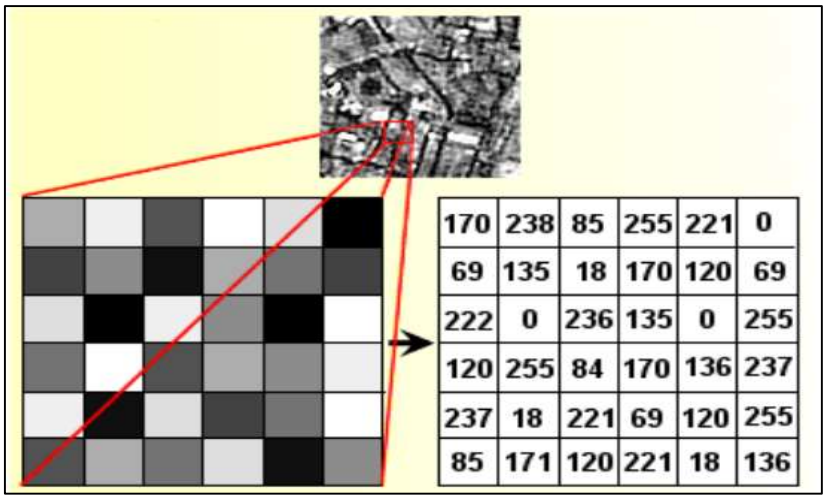


Figure N° 7: Représentation d'une image numérique satellite

(CCT, 2013)

I.11 La Résolution

La résolution est une mesure de la capacité d'un système optique de séparer des signaux proches spatialement et/ou spectralement. La capacité de mesurer une information par télédétection exige la considération prudente de quatre types de résolution : spatiale, spectrale, temporelle et radiométrique. **(TADJEROUNI, 2002)**

a)Résolution spatiale

Elle donne une indication de la taille du pixel de l'image avec une faible séparation entre les objets qui peuvent être résolus par le capteur (Figure N°8).

- Haut résolution spatiale : 0.5-4m.
- Moyenne résolution spatiale : 4-30m.
- Faible résolution spatiale : 30-1000m. **(DERDJINI, 2017)**

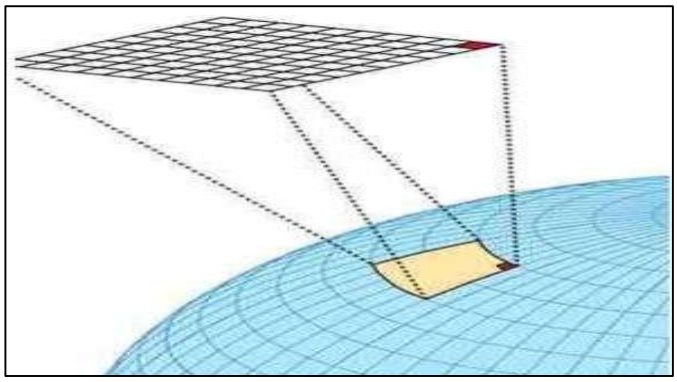


Figure N°8 : Résolution spatiale

b) Résolution spectrale

La résolution spectrale indique le nombre de bandes spectrales dans lesquelles le capteur peut capturer des radiations. Cependant le nombre de bandes n'est pas le seul aspect important de la résolution spectrale, la position des bandes dans le spectre électromagnétique est aussi un aspect clé. **(DERDJINI, 2017)**

c) Résolution temporelle

La résolution temporelle précise la fréquence de révision du satellite pour un emplacement spécifique **(Figure N°9)**.

Le facteur temps est important lorsque :

- Les nuages persistants offrent une vue directe limitée de la surface de la terre.
- Les phénomènes à court terme (inondations, marées noires, etc.).
- Les phénomènes qui changent rapidement (atmosphérique).

Les différents intervalles de la résolution temporelle se regroupent ainsi :

- Haut résolution temporelle : <1-3 jours.
- Moyenne résolution temporelle : 4-16 jours.
- Faible résolution temporelle : >16 jours.

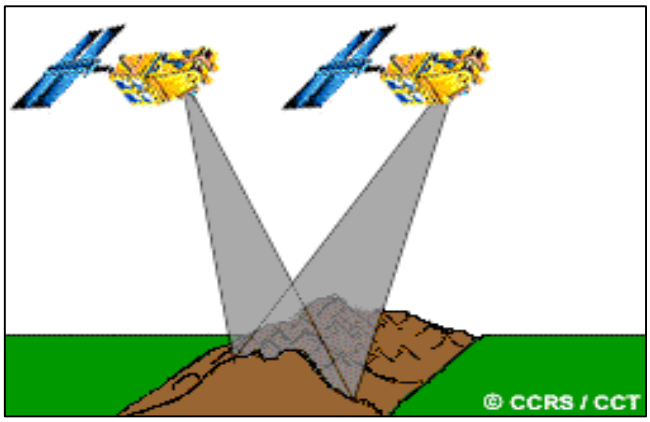


Figure N°9: Résolution temporelle **(CCT, 2013)**

d) La résolution radiométrique

Elle correspond la capacité d'un système d'acquisition à distinguer entre deux niveaux d'énergie voisins. Le rayonnement réfléchi par les cibles au sol et enregistré par le capteur est codé en format numérique binaire et l'image résultante est en niveaux de gris **(Figure N°10)**. **(SOUDANI, 2005)**

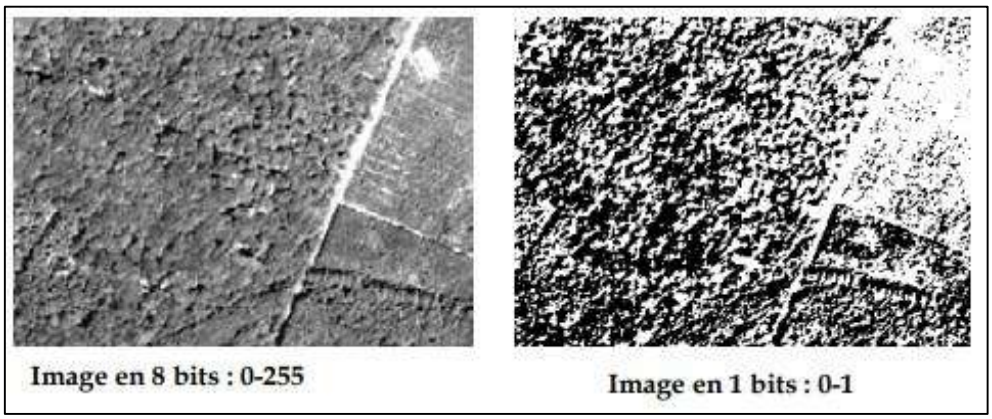


Figure N°10: Résolution radiométrique **(SOUDANI, 2005)**

I.12 Traitements des données satellitaires

I.12.1 Prétraitement des images satellitaire

a)Corrections géométriques

Les images acquises par les systèmes d'observation de la terre ne peuvent être directement superposées à des cartes parce qu'elles sont affectées de déformations géométriques. Ces déformations sont dues à des erreurs de positionnement du satellite sur son orbite, au fait que la terre tourne sur son axe durant l'enregistrement de l'image, aux effets du relief terrestre, etc. Elles sont encore amplifiées par le fait que certains satellites prennent des images en oblique. Certaines déformations, comme l'effet de rotation de la terre ou l'effet de visée oblique, sont prévisibles et il est possible d'en calculer l'effet, et donc d'appliquer des corrections systématiques. Les satellites ont également à leur bord des systèmes sophistiqués permettant d'enregistrer de très faibles mouvements affectant le satellite. Ces informations sont principalement utilisées pour corriger la position du satellite, mais ils peuvent également servir à corriger géométriquement les images.

b) Corrections radiométriques

Un système d'observation de la terre idéal serait équipé d'un spectro-radiomètre parfait, mesurant de manière précise et uniforme la quantité d'énergie réfléchie par les objets situés à la surface de la terre. Malheureusement, la lumière solaire qui éclaire les objets est perturbée par sa traversée de l'atmosphère et n'éclaire pas tous les objets sous un même angle. De plus, la lumière réfléchie par les objets doit également traverser l'atmosphère avant d'être analysée par le capteur du satellite et cette traversée perturbe également le signal. Ces perturbations sont dues à la présence de gaz et de poussières qui peuvent absorber et/ou réfléchir certaines longueurs d'ondes, modifiant ainsi les propriétés spectrales du rayonnement.

Le traitement électronique du rayonnement reçu par les capteurs s'accompagne lui aussi de certaines perturbations. En conséquence, il est finalement assez difficile de retrouver les valeurs radiométriques précises à partir des données enregistrées par les satellites d'observation de la terre. Or, il est parfois très utile de pouvoir calibrer de manière précise ces données, par exemple pour comparer des données enregistrées par des satellites différents ou

enregistrées par un même satellite à des moments différents, il existe plusieurs solutions pour tenter de corriger ces défauts. Certaines sont basées sur des modèles mathématiques complexes décrivant les interactions principales. Ces modèles sont efficaces, mais leur application suppose que l'on connaisse les valeurs de certains paramètres (telle la composition de l'atmosphère) lors et au lieu de la prise de vue, ce qui est rarement possible. D'autres méthodes de correction radiométriques se basent sur l'observation de cibles de référence dont on connaît la radiométrie. Des surfaces d'eau libre, des calottes glaciaires et des étendues de sables désertiques sont souvent utilisées, mais ici aussi, on comprendra que la mise en œuvre pratique de ces corrections est souvent mal aisée. En fait, une très grande majorité des recherches en télédétection s'effectue sur des données dont la radiométrie n'a pas été corrigée.

I.13 Classification des données

L'opération de classification est utilisée pour identifier et classifier numériquement des pixels sur une image. Les méthodes de classifications les plus communs peuvent être séparés en deux grandes catégories :

✓ La méthode de classification non supervisée.

✓ La méthode de classification supervisée.

I.13.1 Classification non supervisée

Les classes spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes sont ensuite associées, par un analyste, à des classes d'information utile. Des programmes appelés algorithmes de classification sont utilisés pour déterminer les groupes statistiques naturels ou les structures des données. Habituellement, l'analyste spécifie le nombre de groupes ou classes qui seront formées avec les données. De plus, l'analyste peut spécifier certains paramètres relatifs à la distance entre les classes et la variance à l'intérieur même d'une classe. Le résultat final de ce processus de classification itératif peut créer des classes que l'analyste voudra combiner, ou des classes qui devraient être séparées de nouveau. Chacune de ces étapes nécessite une nouvelle application de l'algorithme

L'intervention humaine n'est donc pas totalement exempte de la classification non supervisée. Cependant, cette méthode ne commence pas avec un ensemble prédéterminé de classes comme pour la classification supervisée. **(GIRARD, 1999)**

I.13.2 Classification supervisé

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque 14 Classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes.

Plusieurs algorithmes différents sont possibles. Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités. Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent. **(GIRARD, 1999)**

La **Figure N°11** présente un organigramme de la méthode de classification supervisée et de la classification non supervisée des images satellitales.

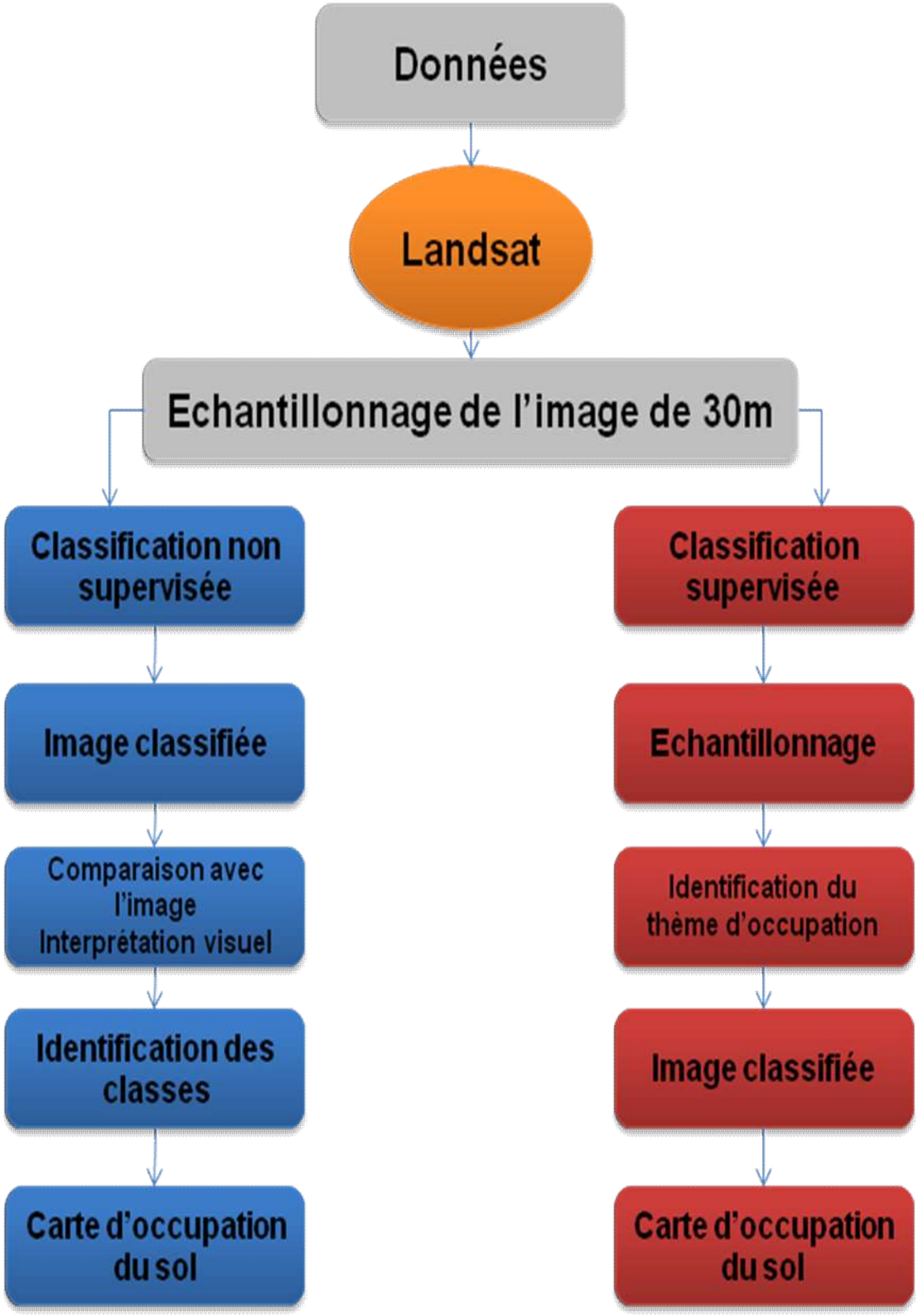


Figure N°11: Organigramme de la méthode de classification des images satellitales **(ZOUBAIR et DEMDOUM, 2020)**

I.14 l'indice de végétation normalisé (NDVI)

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. L'indice de végétation le plus connu et le plus utilisé est l'indice par différence normalisée ou indice de Tucher (NDVI) **(ROUSE et *al*, 1973)**. Son expression est la suivante:

$$NDVI=PIR-R/PIR+R$$

R: le canal rouge=Band 4.

PIR : le canal proche-infrarouge = Band 5.

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quel que 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 **(TUCKER, 1979)**. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

I.15 Conclusion

Malgré les inconvénients que présente la télédétection en termes de résolution spatiale et interaction des données avec l'atmosphère, elle nous offre aujourd'hui un panorama radicalement différent de celui de ses origines. Ainsi elle a connu un développement spectaculaire jusqu'à la sophistication moderne des capteurs embarqués à bord des satellites autour de la terre qui échantillonnent presque toutes les régions du spectre électromagnétique possibles. De cette façon, la télédétection spatiale permet actuellement l'étude de notre planète

car elle nous offre une vision synoptique et répétitive qui facilite l'obtention de données dans une courte période du temps. **(DERDJINI, 2017)**

II. Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction

Le Chéliff est une exception notable parmi les oueds Nord-Africains, c'est le seul oued en Algérie qui draine une partie des hauts plateaux, il possède le cours le plus long et le débit le plus important et le bassin versant de Chéliff c'est le plus grand bassin de l'Algérie Le bassin versant de Chéliff répond à notre objectif en raison de son lieu stratégique et son importance hydrologique et biologique. Le but de ce chapitre est de faire une étude sur le milieu physique de notre région du bassin versant de Chéliff, la localisation géographique, les caractéristiques climatiques et la géomorphologie.

Le terme bassin versant désigne le territoire sur lequel toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire du bassin versant (**BANTON et BANGOY, 1997)**.Il est délimité par une ligne de crête, appelée aussi ligne de partage des eaux, au-delà de laquelle celles-ci sont drainées vers d'autres milieux aquatiques **(POURRIOT et *al*, 1995)**. La connaissance d'un bassin versant est fondamentale dans toute étude hydrologique et/ou de risque naturel ou de vulnérabilité de la ressource en eau. Le bassin versant est le cadre général des études d'hydrauliques urbain. **(FURUSHO, 2008)**

II.2 Situation géographique du bassin Chéliff

Le bassin versant **Chéliff** Située au centre Ouest de l'Algérie du Nord, il s'étend sur une superficie d'environ 43 750 km^2, en longitude entre 0°Est et 3°30' Est et en latitude entre 34° et 36° Nord. Il est limité au Nord par la Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Oranais, au Sud par les hautes plaines et à l'Est par le bassin algérois. Il prend sa source sur la limite du Tell et du Sahara dans l'Atlas Saharien, plus précisément dans le Djebel Amour culminant à 1 937 m, près d'Aflou. Il commence par couler du Sud vers le Nord, pour rejoindre la Méditerranée à Mostaganem. Nous avons établi la carte suivante **(Figure N°12) :**

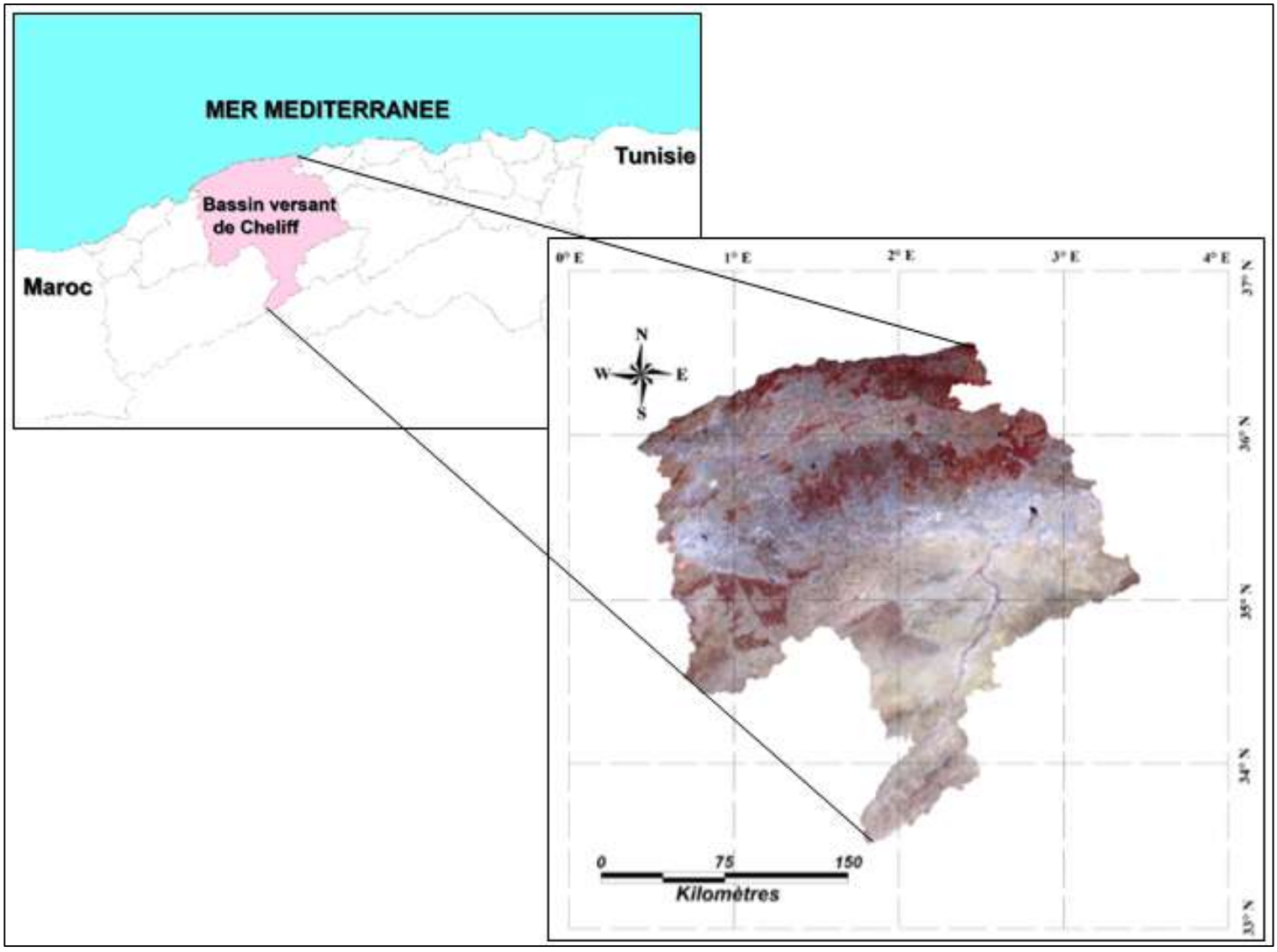


Figure N°12 : Situation géographique du Bassin versant Chéliff **(ZOUBAIR et DEMDOUM et SAADI, 2020)**

Le bassin versant **Chéliff** regroupe 4 grand bassin (Bas Chéliff et Mina, Haut et moyen Chéliff, 'Aval de Boughzoul', Chéliff Amant de Boughzoul, Côtier Dahra) et 36 sous bassins versants et compte 5 468 km d'oueds permanents et 18 495 km d'oueds temporaires et son cours d'eau principal mesure 725 km. Ces Principaux affluents : Oued Chéliff, Oued Deurdeur,Rouïna, Oued Fodda, Oued Ebda et Oued Mina.Nous avons établi la carte suivante **(Figure N°13) .**

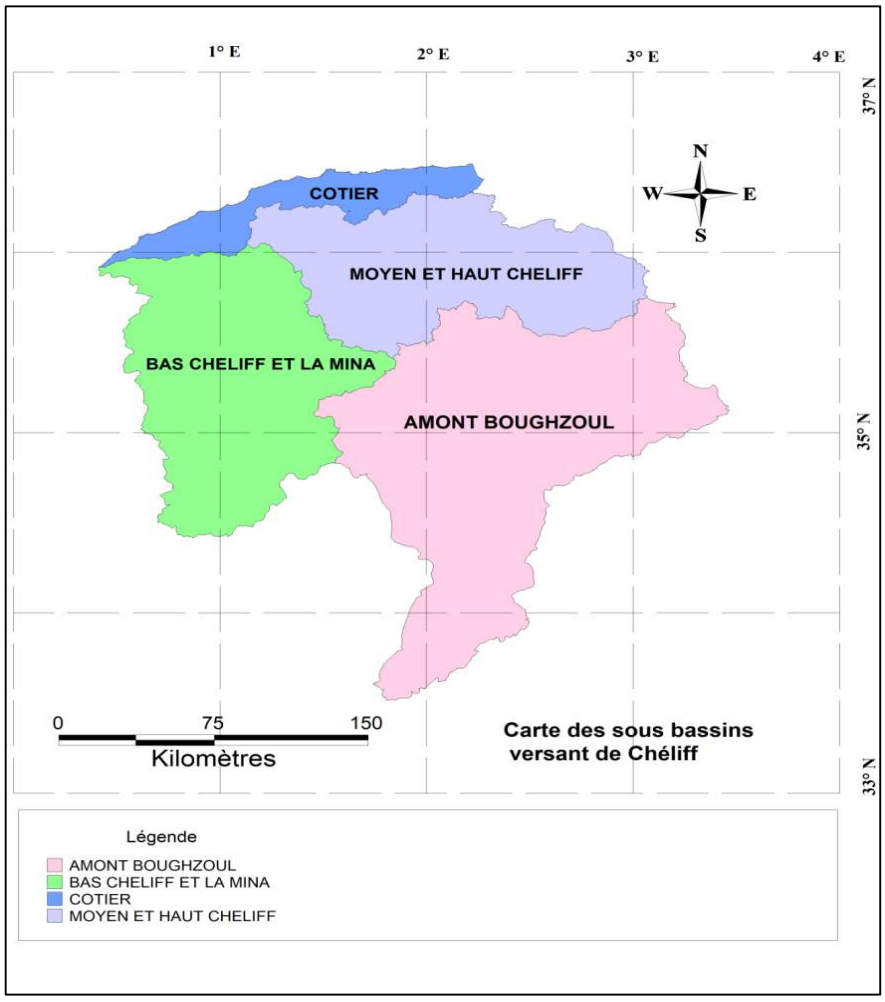


Figure N°13 : Les sous bassins versant de Chéliff (**ZOUBAIR et DEMDOUM et SAADI, 2020)**

II.3 Les Sous Bassins Chéliff

II.3.1 Bassin du Côtier Dahra

Le bassin versant du **Côtier Dahra** fait partie du bassin versent **Chéliff** qui s'étend sur la superficie d'environ de **3 201 km,** il couvrait 33 communes de 05 wilaya dont 09 communes sent de la wilaya de Tipaza et 74 agglomérations, 01 commune de la wilaya de Ain Dafla, 12 communes de la wilaya de Chleff, 02 communes de la wilaya de Relizan et 09 communes de la wilaya de Mostaganem, le bassin de Côtier Dahra contienent 04 barrage importons (Kramis, Kef Eddir, Taourira, Tarzout). La population totale 511 358. **(RGPH, 1998)**

Les principales cultures pratiques dons ce bassin sent les grandes cultures, les cultures maraîchères, l'arboriculture fruitière et les cultures industrielles.

Le bassin versent de Côtier Dahra se compose de plusieurs sous bassins individuels dont les plus importants sont :

- Le Sous Bassin de l'Oued Damous,
- Le Sous Bassin de l'Oued Kramis,
- Le Sous Bassin de l'Oued Allalah,

Agriculture : Dans le bassin du Cotier-Dahra, les principales cultures pratiquées sont les grandes cultures maraîchères, l'arboriculture fruitière et les cultures industrielles. **(ABH, 2007)**

II.3.2 Bassin Bas Chéliff et Mina

Le bassin versant **Bas Chéliff et Mina** qui est nommé aussi par **Aval du barrage de Boughzoul** font partie du bassin versent Chéliff à l'Aval du barrage de Boughzoul qui s'étend sur la superficie d'environ de 13 150 km, il couver 80 communes de 7 wilaya, dont 03 communes de la wilaya de Chéliff, 22 communes de la wilaya de Tiaret, 09 communes de la wilaya de Mascara, 34 communes de la wilaya de Relizan, 01 commune de la wilaya de Saïda, 03 communes de la wilaya de Tissemsilt et 08 communes de la wilaya de Mostaganem, 147 Agglomérations , la population totale : 878 582 habitants. **(RGPH, 1998)**

Agriculture : C'est une région à vocation agricole,les principales spéculations qui sont pratiquées dont ce bassin sont les céréales, les cultures maraîchères, les fourrages, les cultures industrielles l'arboriculture fruitière et les légumes secs. **(ABH, 2004)**

II.3.3 Bassin Haut et Moyen Chéliff

Le bassin versant **Haut et Moyen Chéliff** fait partie du bassin versent Chéliff situé à l'Aval du barrage de Boughzoul qui s'étend sur la superficie d'environ de 10 930 km, il couver 93 communes de 05 wilaya, dont 22 communes de la wilaya de Médéa, 31 communes de la wilaya de Ain Defla, 22 communes de la wilaya de Chleff, 02 communes de la wilaya de Relizan et 16 communes de la wilaya de Tissemsilt et 221 agglomérations, la population totale :1 566 763 habitants. **(RGPH, 1998)**

Agriculture : C'est une région à vocation agricole, les principales spéculations qui sont pratiquées dont ce bassin sont les céréales, les cultures maraîchères, les fourrages, les cultures industrielles l'arboriculture fruitière et les légumes secs. **(ABH, 2004)**

II.3.4 Bassin du Chéliff-amont Boughezoul

Le bassin versant Chéliff-amont Boughezoul fait partie du bassin versent Chéliff situé à l'amont du barrage de Boughzoul qui s'étend sur la superficie d'environ de 19 979 km, il couver 40 communes de 05 wilaya, dont 08 communes de la wilaya de Laghouat, 08 communes de la wilaya de Djelfa, 15 communes de la wilaya de Tiaret, 03 communes de la wilaya de Tissemsilt et 06 communes de la wilaya de Médéa et 61 agglomérations, la population totale : 706 740 habitants. **(RGPH, 1998)**

Agriculture : les principales spéculations qui sont pratiquées dont ce bassin sont les grandes cultures, les cultures maraîchères, les cultures industrielles l'arboriculture fruitière. **(ABH, 2007)**

II.4 Géomorphologie du Bassin Chéliff

Le cadre physique de la zone d'étude est caractérisé par l'hétérogénéité des grandes unités naturelles :

Les reliefs littoraux : Ils sont formés par les collines de 300 à 600 m d'altitude, les crêtes atteignent 800 m, on y trouve des monts avec des altitudes dépassant 1000 mètres comme Djebel Bou-Maad (1415 m) et Djebel Zaccar (1579 m).

Les plaines et les bassins intérieurs : Les bassins intérieurs sont éloignés de la mer de 20 à 70 km. Les plaines du Chéliff forment une véritable gouttière de 190 km de long. On trouve les bassins du haut Chéliff entre 250 et 300 mètres d'altitude, le bassin du moyen Chéliff entre 150 et 200 mètres d'altitude et le bassin du bas Chéliff entre 60 et 150 mètres d'altitude.

Les montagnes et plateaux : Les régions montagneuses présentent deux aspects différents avec des chaînes plissées plus ou moins parallèles au littoral et des plateaux au sud. Les chaînes de montagnes ont une assez forte diversité morphologique et présentent une série de pics dont l'altitude est de 700 à 1200 mètres et peut atteindre les 1983 mètres au niveau de Kef-Sidi-Ammar.

Les plateaux Telliens : Ils sont développés au sud du haut bassin de la Mina jusqu'aux frontières marocaines. Ces plateaux hauts de 900 à 1600 mètres et s'inclinent vers les Hautes Steppes.

Les hautes plaines : Ils sont représentés par le plateau de Sersou qui est l'unique région Tellienne des Hautes Plaines. Elle est présentée par la cuvette de Tissemsilt au Nord de l'oued le Nahr Ouassel et le plateau du Sersou au Sud du même oued.

II.5 La géologie du Bassin Chéliff

Le bassin du Chéliff appartient aux bassins sédimentaires sublittoraux allongés Est - Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle.

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

Au sud, le bassin du Chéliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes.

Une phase infra-crétacé, compressive donne des plis NE-SW ; Une phase à composante tangentielle intervient après le Sénonien et le Paléocène et serait en partie responsable de l'épi métamorphisme Une phase datée Aquitano-Burdigalienne, compressive et profonde génératrice d'un nouvel épi métamorphisme.

Pendant que les nappes telliennes achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce marqué par une transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quaternaire. Parallèlement, le bassin du Cheliff est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique principalement distensive pour certains auteurs : Y. Gourinard, A.Perrodon, B.Fenet et polyphasée pour G.Thomas. Cette tectonique continue jusqu'à l'actuel comme en témoigne l'intense activité séismique de la région. Nous avons établi la carte suivante **(Figure N°14) :**

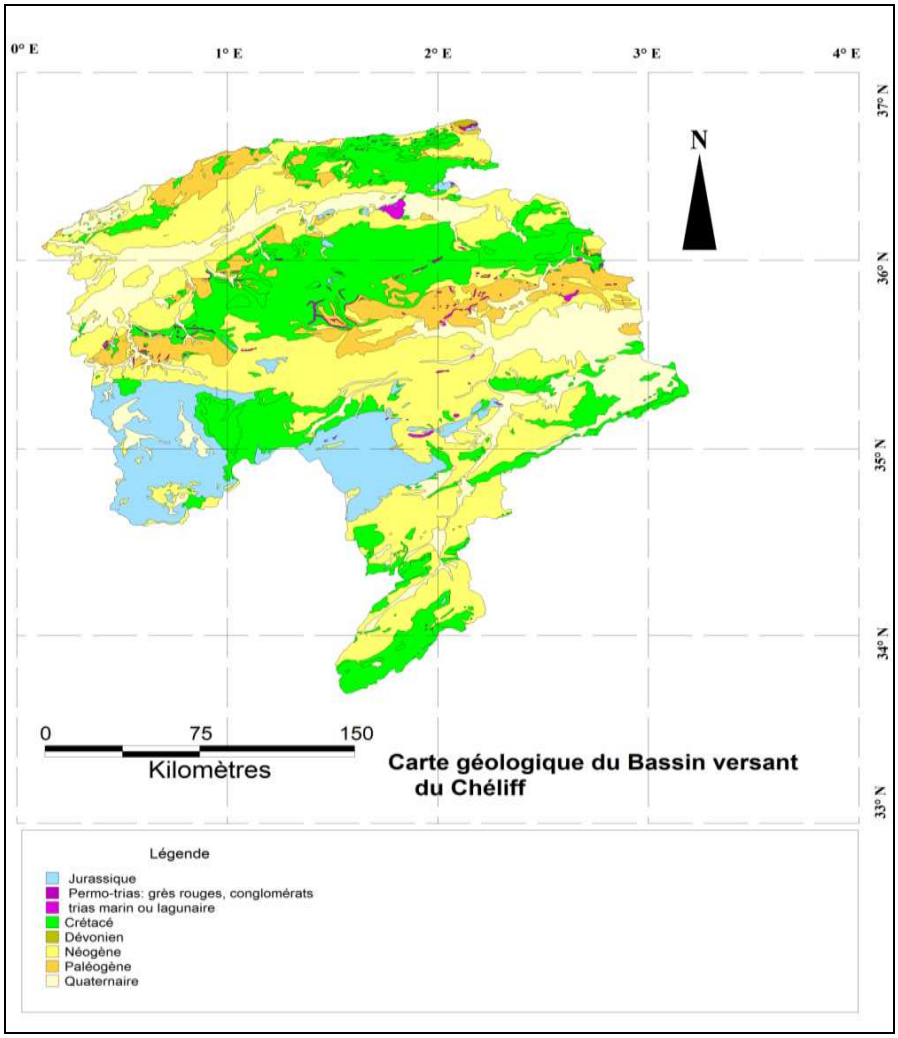


Figure N°14 : Carte géologique du bassin versant Chéliff (**ZOUBAIR et DEMDOUM et SAADI, 2020)**

II.6 La Lithologie

Le bassin de Chéliff appartient aux bassins sédimentaires sublittoraux allongés Est-Ouest et mis en place après la dernière phase alpine tectonique tangentielle. Le bassin versant de Chéliff comprend des parties distinctes du point de vue géologique et lithologique:

-La partie méridionale, de roches d'âge jurassique, composées de calcaire et marnes armées de nombreux bancs de calcaire et de grès; ceux-ci limitent l'incision des ravins. Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formes essentiellement des terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massif épi-métamorphiques et schistosités de Doui, Rouina et Temoulga).

-La partie septentrionale au nord avec une extension au sud dans la partie aval de l'Oued Haddad, est constituée de roches d'âge tertiaire (Eocène, Oligocène et Miocène): il s'agit d'épaisses masses de marnes, souvent chlorurées dans lesquelles les calcaires et les grès sont épisodiques. Les ravinements peuvent s'y développer librement sans obstacles lithologiques **(KOURI et *al*, 1993)**. Au sud, le bassin du Chéliff est limité par le tell Méridional représenté par le substratum y est principalement marno calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes **(BOUZADA, 2013).** Nous avons établi la carte suivante **(Figure N°15) :**

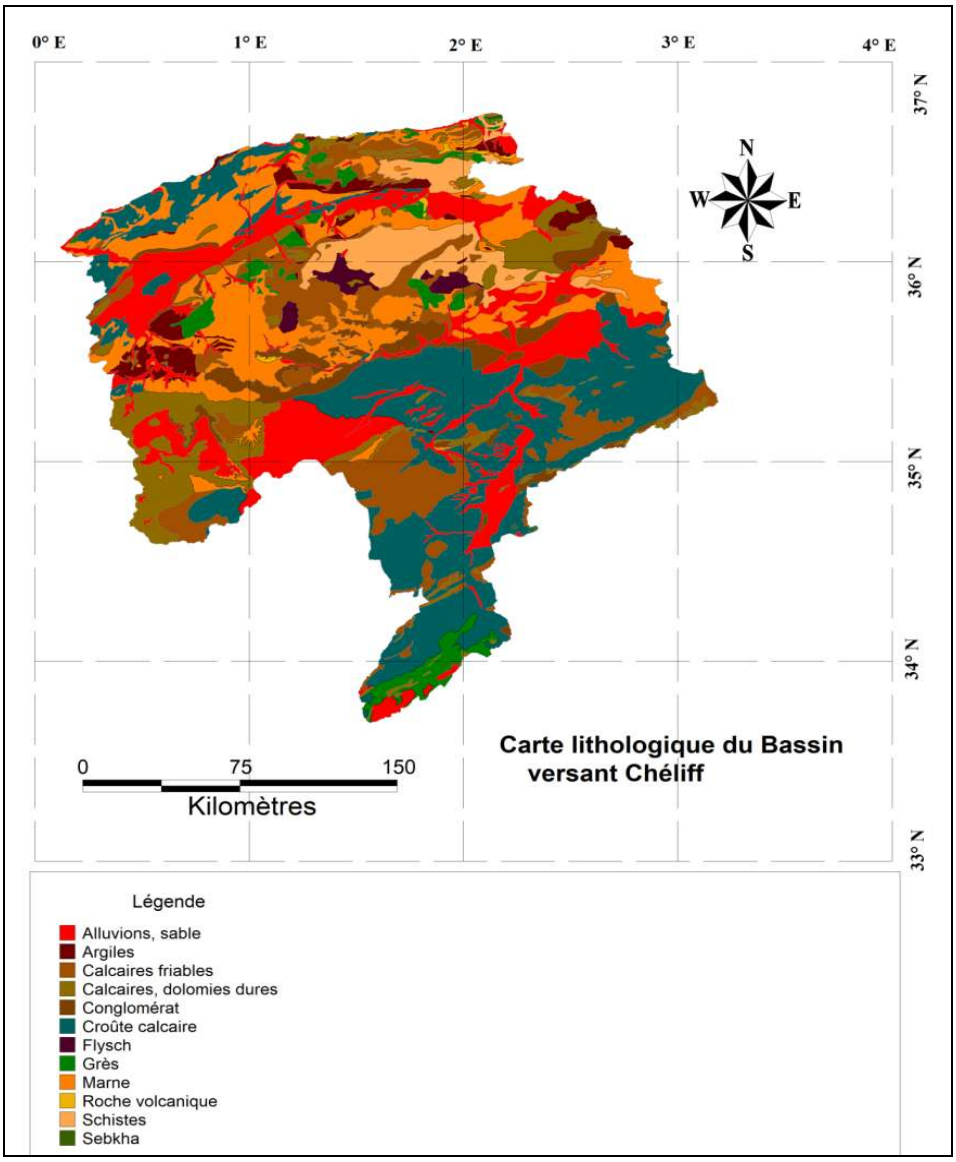


Figure N°15 : Carte lithologique du bassin versant Chéliff (**ZOUBAIR et DEMDOUM et SAADI, 2020)**

II.7 Pédologie

Les sols du haut Chéliff ont été cartographie par **BOULAINE J** en 1957, ils comprennent de :

a. Les sols des bordures des plaines.

b. Les sols centraux de la plaine : ils comprennent six classes à savoir :

1. Sols alluviaux non évolués : les caractéristiques physico-chimique ces sols sont très variées, sols alluviaux non évoluent des dépôts sableux du lit majeur des oueds par texture sableux fine et limoneux plus ou moins sableux, profond et très perméable, sols alluviaux non évoluent des dépôts sableux du bourrelet des oueds par texture sable fin et limoneux plus ou moins sableux, peu épais et moins perméable.

2. Sols calciques : les sols calciques, plus ou moins différenciés et présentent parfois des accumulations calcaires, et les caractéristiques physicochimiques du ces sols sont, texture limons et moins perméable.

3. Sols alluviaux évoluent : sont des sols alluviaux des sols présentant un début de décalcification et une accumulation du calcaire et sulfates, est caractérisé par texture limons et limons argileux, riche, profond, perméable, ces sols existent surtout dans les terrasses récentes des oueds.

4. Sols colluviaux et sols alluviaux des affluents mineurs : sont des sols très varié selon des massifs existants, ces sols caractérisés par des sols jeunes, légère moyenne limon sableux et limons parfois plus argileux.

5. Sols très évoluent : sont des sols dont l'évolution plus ou moins élevée par l'influence partiellement décalcifiés et insaturés avec accumulation progressive du calcaire, est caractérisée par texture limons et limons argileux, et l'accumulation de calcaire en profondeur sous forme nodules.

6. Sols hydro morphes : sont des sols engorgés par des eaux en réseau d'écoulement d'eaux superficie au bien des eaux à couvert temporaire et ont nappe phréatique non salés et parfois par des eaux d'inondation temporaire hivernales, est caractérisés par texture humifère argileuse à très argileux. **(BOULAINE, 1957)**

- Les sols alluviaux peu évolués ont des caractères qui dépendent essentiellement des modes d'alluvionnement. Les caractères qui sont déterminés par la nature des alluvions sont relativement constants, les roches mères étant réparties de façon assez homogène dans les bassins versants. **(NAMOUS, 2012)**

-Les sols salés se localisent dans la partie Ouest du périmètre, surtout dans la région de Bled Souala. **(BOUZADA, 2013)**

II.8 Ressources en eau

II.8.1 Eaux superficielles

II.8.1.1 Barrages et Retenues collinaires

La région d'étude est riche en ressources d'eau, Il y a 25 barrages dans le bassin du Chéliff dont 16 en exploitations de capacité de 2 199,9 hm3 dont 01 barrage est situé dans le bassin de Côtier, 08 barrages dans le Moyen et Haut Chéliff, 04 situés dans le Bas Chéliff et Mina, et enfin 03 barrages dans l'amont Boughazoul.

Actuellement, trois barrages sont en construction, il s'agit de Kef-Eddir et le barrage Kerrada et Chéliff (Système **MAO**) avec une capacité totale de 236 hm3. En plus, il existe seize barrages en projet avec une capacité de 204 hm3. L'état d'envasement des barrages en exploitation varie entre 3 et 63 % avec un taux d'envasement moyen de 25 %. Globalement les ressources en eau mobilisées (Volume régularisable total des barrages en exploitation au niveau de la région du Chéliff) sont évaluées à près de 554,60 hm3/ans, (172,50 hm3/ans destinées à l'AEP et 382,10 hm3/ans pour l'irrigation) avec une capacité totale de 2 200 hm3 **(Figure N°16)**. Il existe 168 retenues collinaires destinées à l'irrigation des terres agricoles et l'alimentation en eau potable, dont 35 retenues seulement sont en exploitation, 86 retenues sont envasées, 06 au cours de réalisation, 02 dans l'état d'étude d'une capacité de 9,57 hm^3. Les ressources en eau superficielles disponibles, par les retenues collinaires, sont de 28 hm^3. Il est à noter que 52.77 % des retenues collinaires de la région sont envasées Nous avons établi la carte suivante **(Figure N°16-17) :**

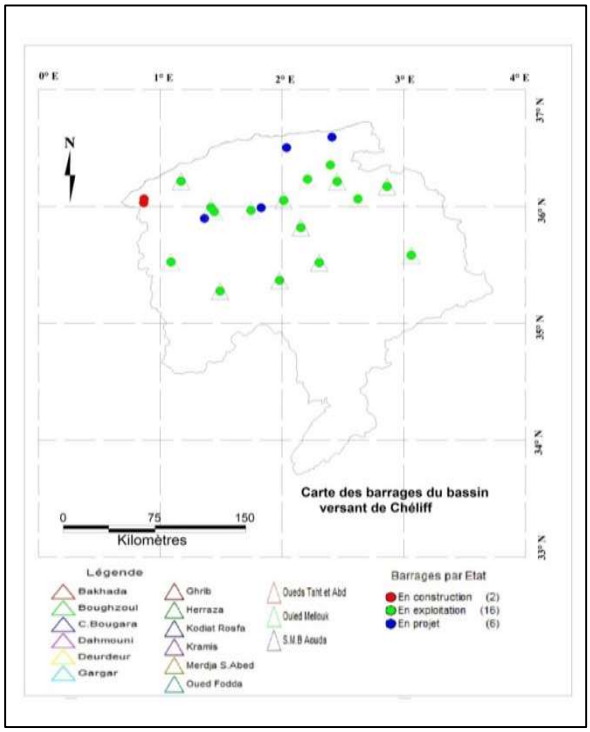


Figure N°16 : Carte des barrages du bassin versant Chéliff

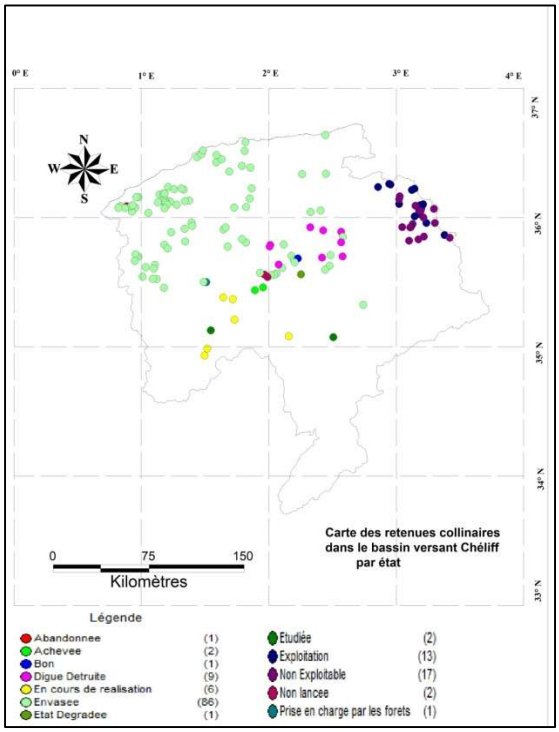


Figure N°17 : Carte des Retenues collinaires du bassin versant Chéliff

II.8.2 Eaux souterraines

Les ressources en eaux souterraines de la Région du Chéliff Zahrez ont été évaluées dans le cadre du plan national de l'eau. Le nombre d'unités hydrogéologiques, dans la région, est de 42 unités, dont les potentialités en eaux souterraines sont estimées à 298 hm3.

II.8.2.1 Ressources en eau souterraine des principales unités hydrogéologiques

Pour une lame d'eau moyenne de 346,5 mm précipités à l'échelle du bassin du Chéliff, soit un volume d'eau de 16 381,9 hm3, les potentialités en eau souterraines sont estimées à 299 hm3/ans, réparties sur les différents aquifères du bassin du Chéliff.

I.8.3 L'analyse du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels et artificiels, permanents ou temporaires qui participent à l'écoulement **(VINCENT et *al*, 1995).**Nous avons établi la carte suivante **(Figure N°18) :**

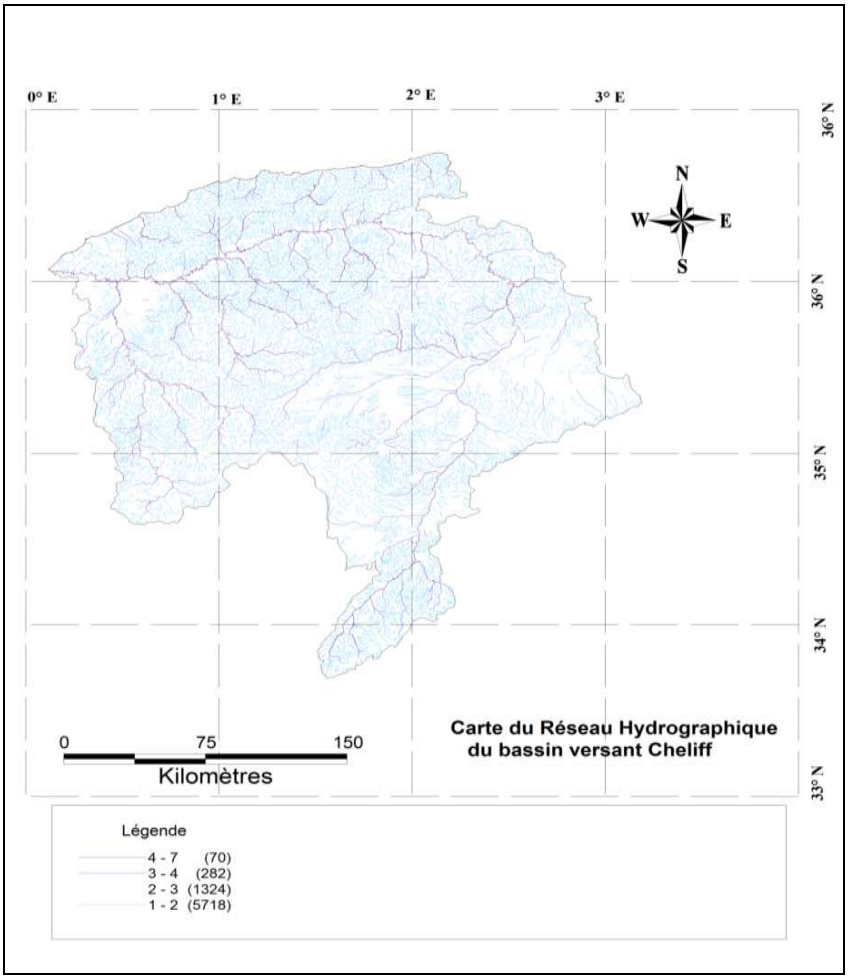


Figure N°18 : Carte du Réseau Hydrographique du bassin versant Chéliff (**ZOUBAIR et DEMDOUM et SAADI , 2020)**

II.9 L'occupation de sol

D'après la carte d'occupation du sol des wilayas du nord **(DGF, 2009)** on a constaté que le bassin versant de Chéliff a plusieurs types d'occupation :

- Le Nord du bassin versant Chéliff est occupé par une végétation agricole est naturel. La plus grande partie est constituée de forêts. Les cultures principales sont les cultures maraîchères et l'arboriculture et les reboisements, cultures industrielles occupent en plaine, et dans les zones de montagnes, occupent par les cultures en sec (céréales et fourrages) el l'élevage ovin et caprin et les parcours.
- Le sud du bassin versant Chéliff est occupé par des roches, de sol nu, des parcours steppiques, de l'alfa et de l'alfa associé et des parcours. c'est une des classes les

plus nombreuses de tout le territoire de l'étude. Elle représente toutes les zones de roches nues, ainsi que toutes les surfaces érodées ou dont la couverture végétale est très dégradée. **(AISSAOUI et MESSAOUDI , 2015)**

- Nord Est du bassin versant Chéliff nous constatons une abondance des forêts et il y a aussi de l'agriculture, de l'oléiculture, des maquis arborés et des reboisements.
- Nord-Ouest du bassin versant Chéliff est caractérisé par une végétation moins dense. nous trouvons des parcours, des maquis et les cultures principales sont les céréales, les cultures maraîchères (notamment les artichauts), l'arboriculture (les oliviers et les agrumes), et les cultures fourragères.

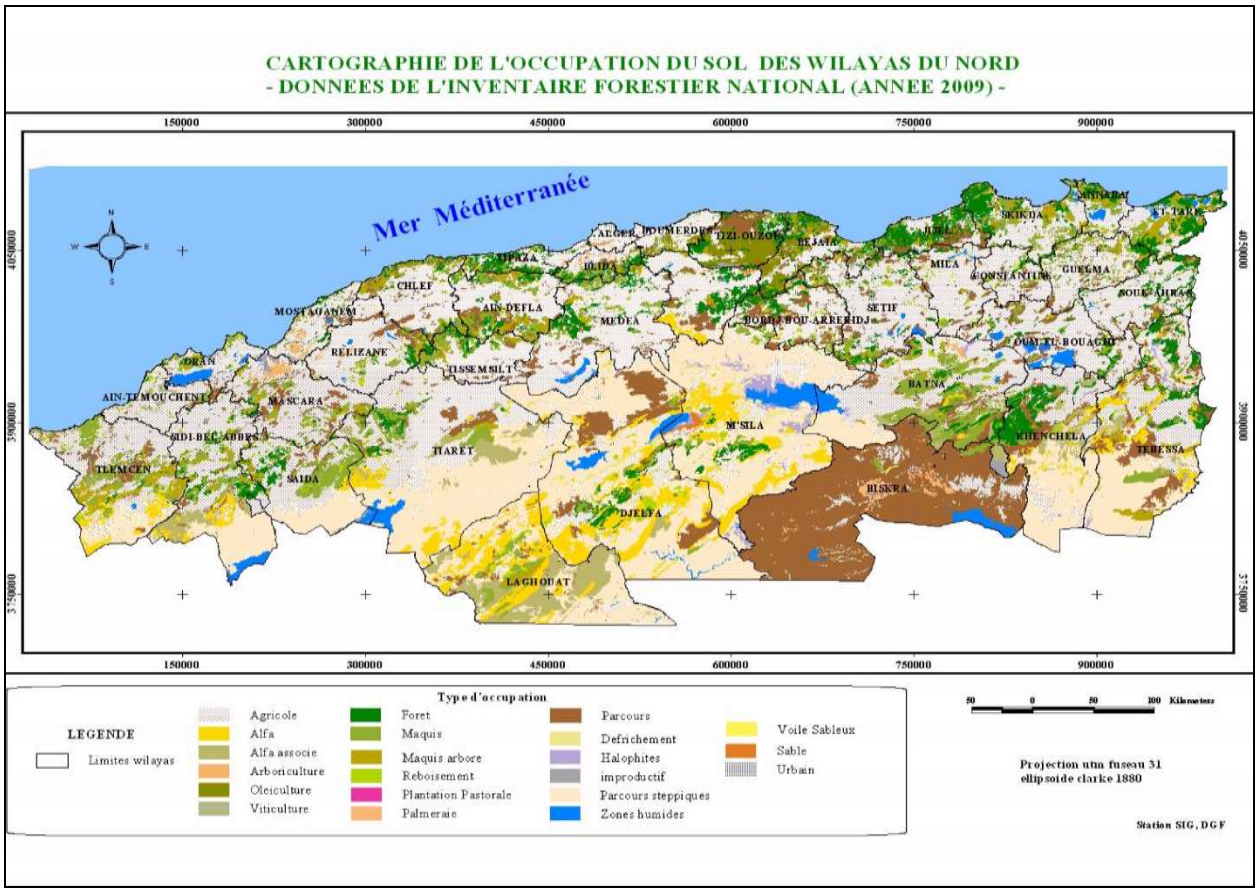


Figure N°19 : Cartographie de l'occupation du sol des wilayas du nord

II.10 Climatologie

II.10.1 Introduction

Le climat est défini par l'ensemble des actions de l'atmosphère (précipitation, température, etc..). Le climat peut agir directement sur les ressources hydriques puisqu'il modifie le régime des cours d'eau, le volume des nappes ainsi que le niveau d'eau des aquifères. L'étude climatologique :

- ✓ déterminer le type de climatologique de la région d'étude ;
- ✓ voir les caractéristiques climatiques (température et précipitation) du climat de cette région.

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-Africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest), il est du type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas Tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaine de l'atlas saharien.

Pour décrire le climat du bassin versant de Chéliff, nous disposant des moyennes mensuelles des précipitations et des températures des stations météorologique appartenant a l'**ONM**. Les données climatiques obtenues s'étalent sur une période de 25 ans, allant de 1980 à 2005 pour les températures les vents et l'humidité et pour les précipitations (1980-2015) une période de35 ans.

Pour l'étude du régime climatique du bassin versant Cheliff on s'est basé sur trois stations d'étude (**Tableau N°2)**. En effet, nous avons pris quatre périodes d'observation avec chronicité des données dans le temps selon leur disponibilité auprès des services de l'A.N.R.H.

Tableau N°2 : Coordonnés géographiques des stations d'observation

Stations	longitude	Latitude	Altitude
Ain Defla	342.95	427.2	1078
Chéliff	297.2	290.85	230
Tissemsilt	285.65	439.8	1150

Les paramètres climatiques sont les suivants :

II.10.2 Les précipitations

Les brules constituent l'un des éléments les plus importants qui définissent le climat d'un lieu donné. Étant donné que la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride ils ont été au cours des dernières années à des périodes illimitées de sécheresse **(RATTA, 2010).** Représentent les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et/ou solide (Neige, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,). Elles correspondent à différents mécanismes d'ascendance (formation des nuages) et présentent des caractéristiques d'intensité et de durée diverses. La pluie est un phénomène associé aux systèmes nuageux précipitants, qui dépend de la microphysique des nuages mais aussi des mouvements atmosphériques à grande échelle. **(BERNE, 2002**).

Pour l'étude du régime climatique du bassin versant Chéliff on s'est basé sur trois stations d'étude :

II.10.4.1 Précipitation moyennes annuelles

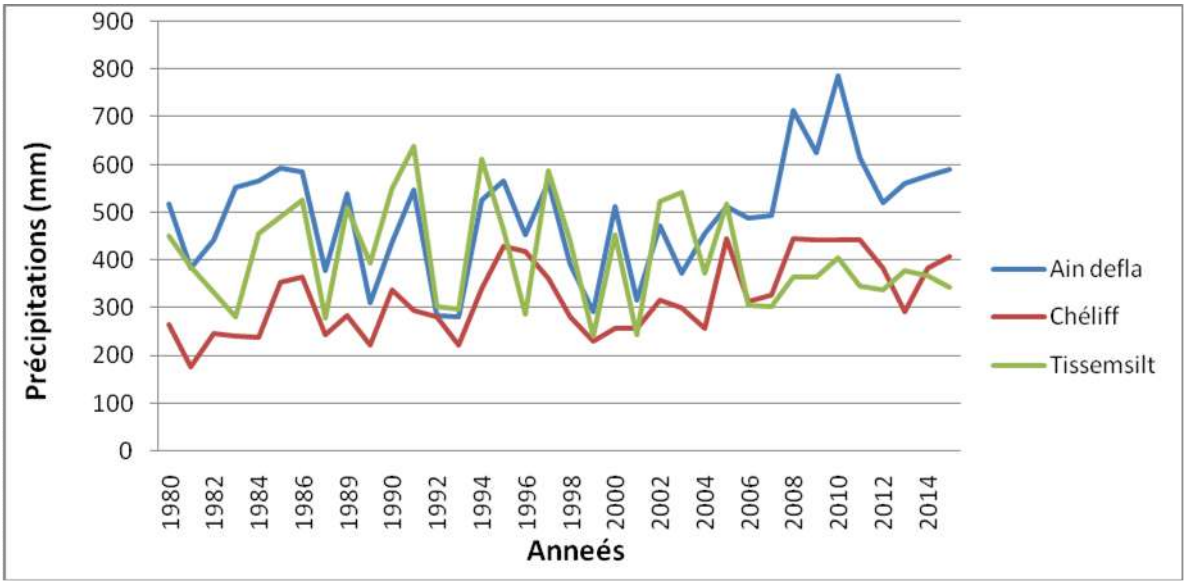


Figure N°22 : Un graphe des précipitations par les années des 3 stations (1980-2015)

D'après la **Figure N°22** qui montre la variabilité des précipitations par les années, les précipitations varient d'une année à l'autre avec un régime irrégulier, on constate que l'année 2010(Ain Defla) est la plus pluvieuse (786 mm), en revanche l'année 1981 est la plus séchée marquant un taux le plus bas qui atteint les 177.6 mm/an dans la station de Chéliff, donc les précipitations accusent une grande variabilité annuelle.

On constate que la station d'Ain Defla est la plus arrosée et reçoit un maximum de recharge (2006-2015). Tandis que pour les autres stations (Chéliff et Tissemsilt) une diminution nette de la pluie donne cette période marquant un effet régional vers le Sud du bassin du Cheliff (climat semi-aride à aride).

II.10.4.2 Précipitations moyennes mensuelles par décennie des trois stations

D'après le graphe ci-dessous **(Figure N°23**), on remarque que les maximums des précipitations mensuelles dans la station, correspondent à la décennie 1990-1999 avec un taux de (80.85 mm) par contre la décennie 2010-2015 enregistre le taux le plus bas (0.7mm) qu'elle correspond à la décennie la plus sèche.

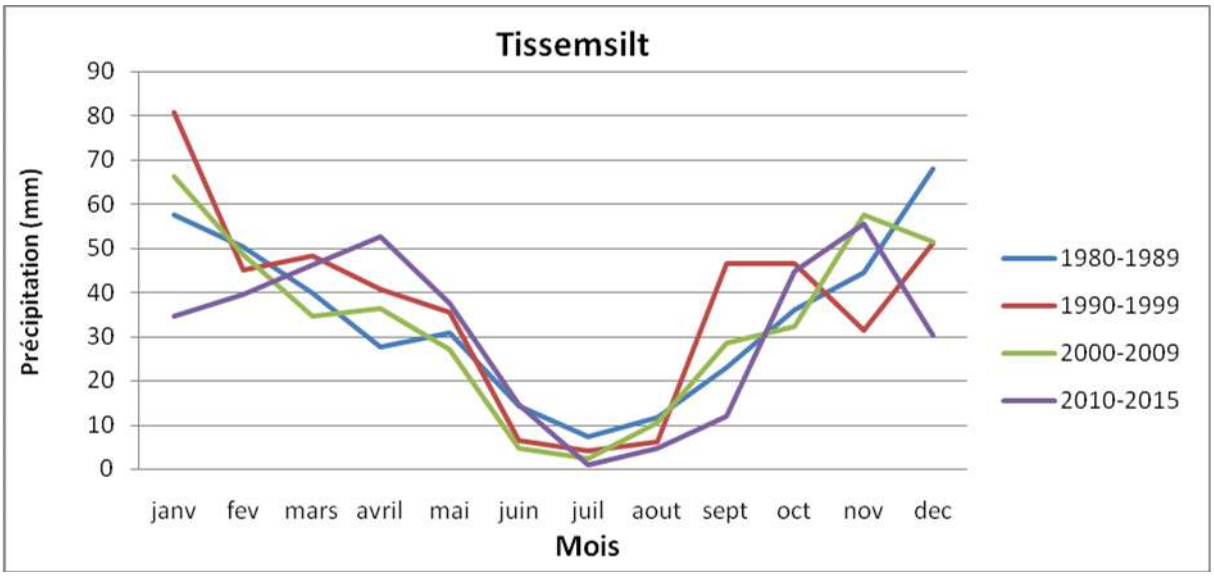


Figure N°23 : Graphe des précipitations moyennes mensuelles de la station de Tissemsilt par décennie (1980- 2015)

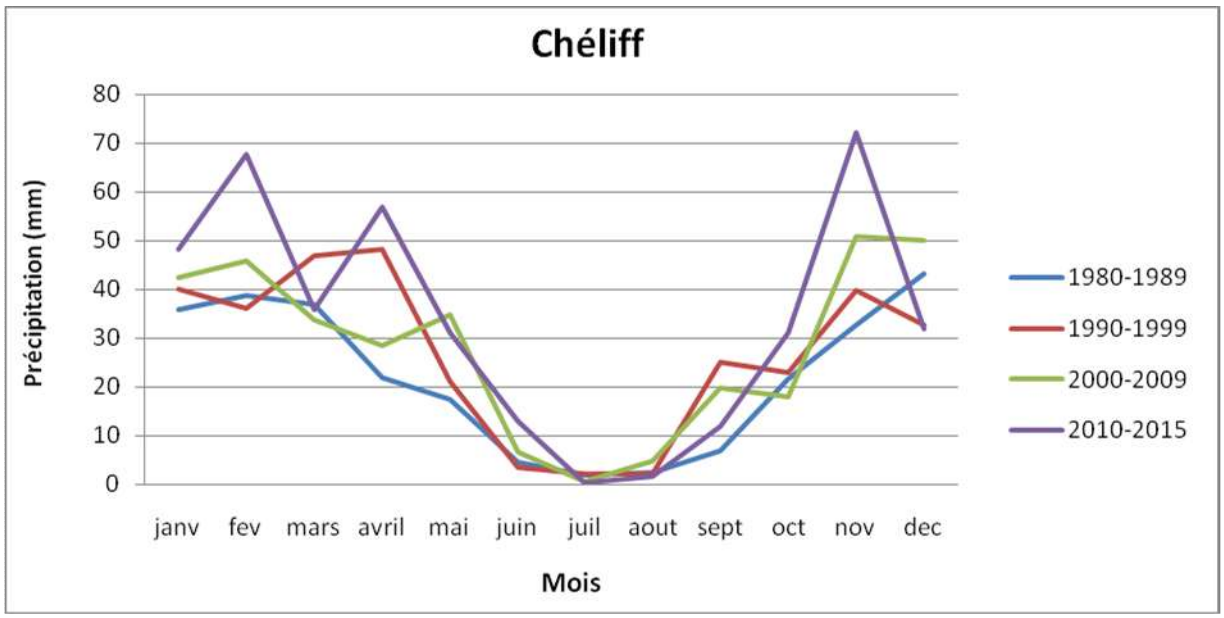


Figure N°24 : Graphe des précipitations moyennes mensuelles de la station Chéliff par décennie (1980- 2015)

D'après le graphe ci-dessous **(Figure N°24)**, on remarque que les analysent des pluies moyennes mensuelles observées par la station de Chéliff , après les analyses des précipitations

moyennes annuelles montrées que la décennie la plus pluvieuse est celle de (2010-2015) avec des valeurs 72.13 mm et aussi c'est la décennie la plus sèche avec des valeurs non dépasse pas 0.32 mm dans la station utilisée.

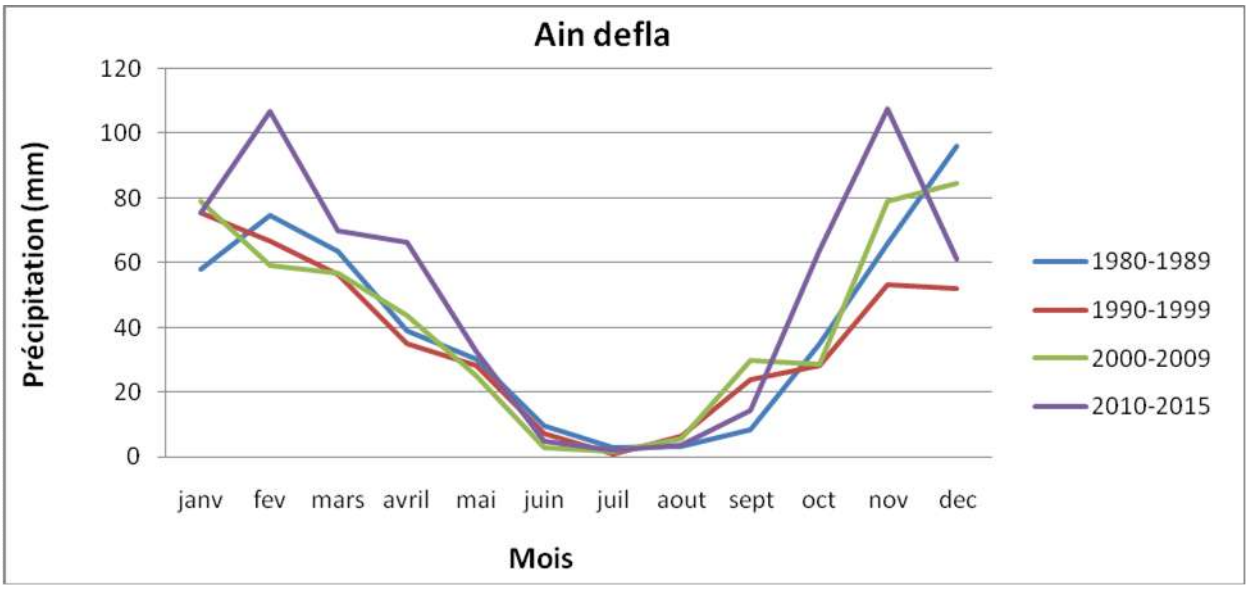


Figure N°25 : Graphe des précipitations moyennes mensuelles de la station Ain Defla par décennie (1980- 2015)

D'après le graphe ci-dessus **(Figure N°25**), on remarque que L'analyse pluviométrique mensuelle de la station d'Ain Defla calculée sur une période s'étalant de 1980à 2015 montre que la décennie de 2010-2015 est la plus pluvieuse (107,49mm). On a remarqué une variabilité et une irrégularité pluviométrique alors que la valeur minimale du cumul pluviométrique mensuel moyen a été enregistré au cours du de la décennie de 1990-1999 (1,10mm).

II.10.5. Température

Pour étudier la température de notre zone d'étude, nous avons pris la station d'Ain Defla et celle de Tiaret et Chéliff comme station d'observation de référence.

Tableau N°3: Coordonnés géographiques des stations d'observation

Stations	longitude	Latitude	Altitude
Miliana	02 °14 E	36 °18 N	715
Chéliff	0 1°20 E	36 °12 N	143
Tiaret	01°28 E	35°21 N	977

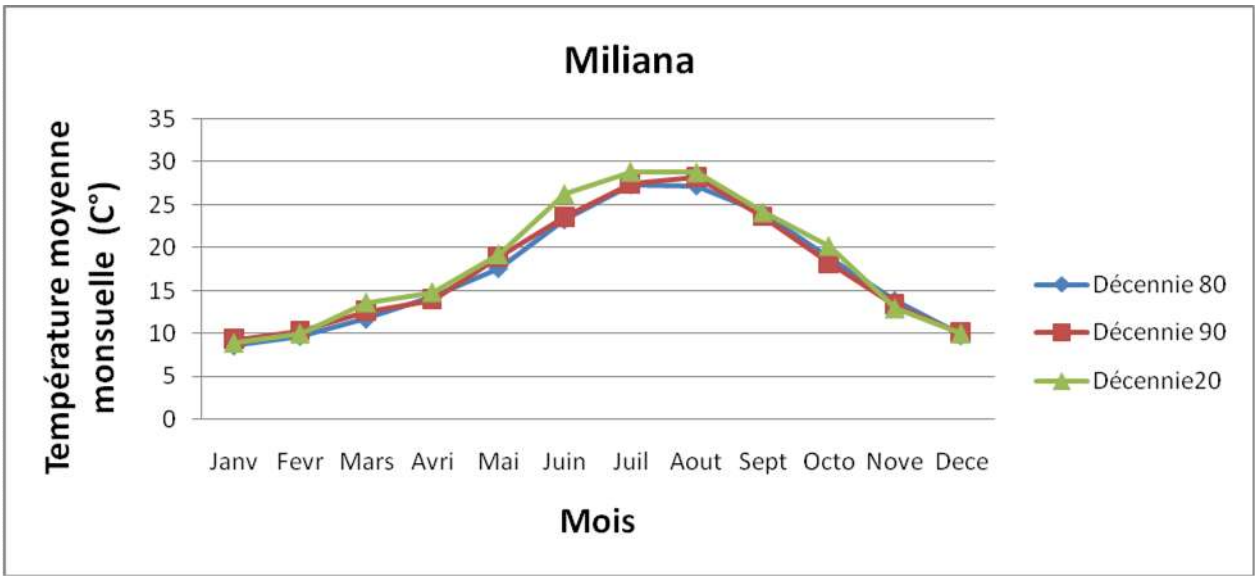


Figure N°26 : Températures moyennes mensuelles par décennie de la station Miliana

(1980- 2005)

Les températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Defla soulignent l'existence de deux saisons bien distinctes **(Figure N°26)** : les moyennes mensuelles dépassent les 28.8°C et l'été se caractérise par de très hautes températures. La décennie des années 2000 est plus chaude que les 2 autres décennies.

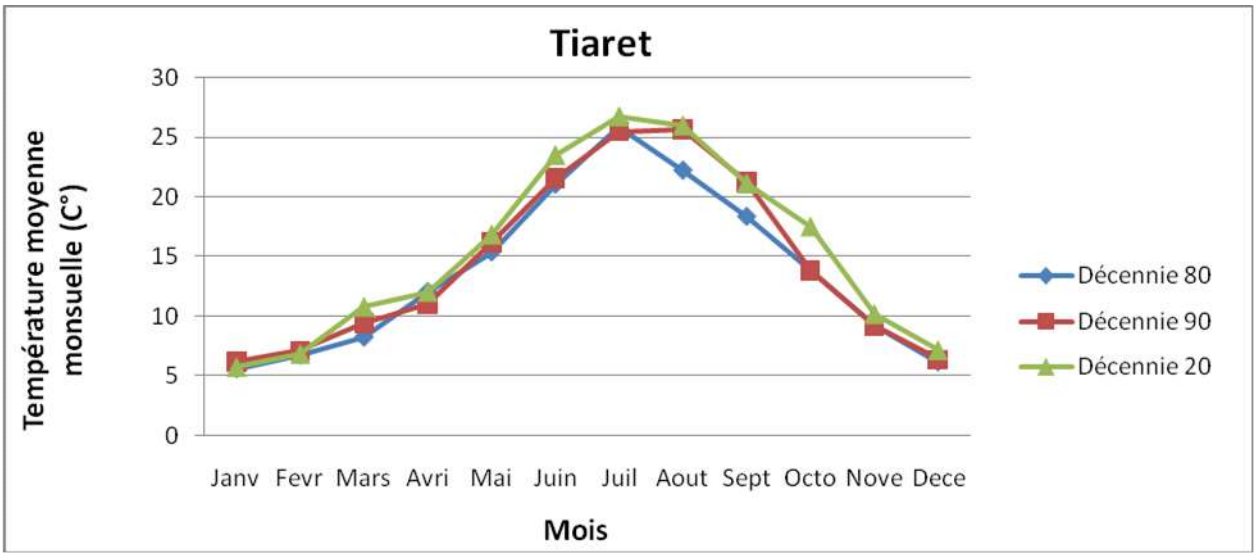


Figure N°27 : Températures moyennes mensuelles par décennie de la station de Tiaret

(1980- 2005)

La **Figure N°27** indique que le climat est chaud et sec en été avec des températures élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, avec une température moyenne de 26.75 °.

On remarque aussi les températures moyennes mensuelles les plus basses se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 5.59 °et la décennie de 20 et plus chaude que les 2 autres décennies.

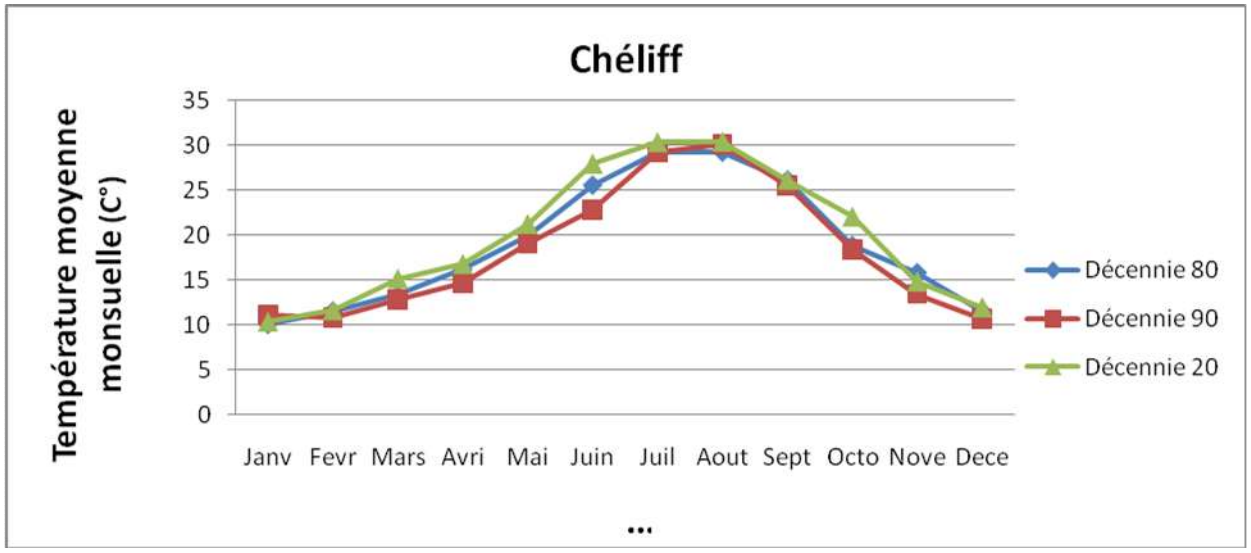


Figure N°28 : Températures moyennes mensuelles par décennie de la station de Chéliff (1980- 2005)

La **Figure N°28** représentant l'évolution des températures annuelles, fait ressortir :

Pour les températures moyennes mensuelles minimales on constate une température minimale extrême de 10.06°C est enregistré au mois de janvier.

Pour les températures moyennes mensuelles maximales on constate que la température maximale extrême de de 30.38 °C est enregistrée au mois de juillet.

La température augmente dans les décennies des 2000 par rapport aux 2 décennies précédentes (1980-2000).

II.10.3 L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage, et se définit comme le rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air, et la capacité d'absorption à une température donnée. **(HUFTY, 2001)**

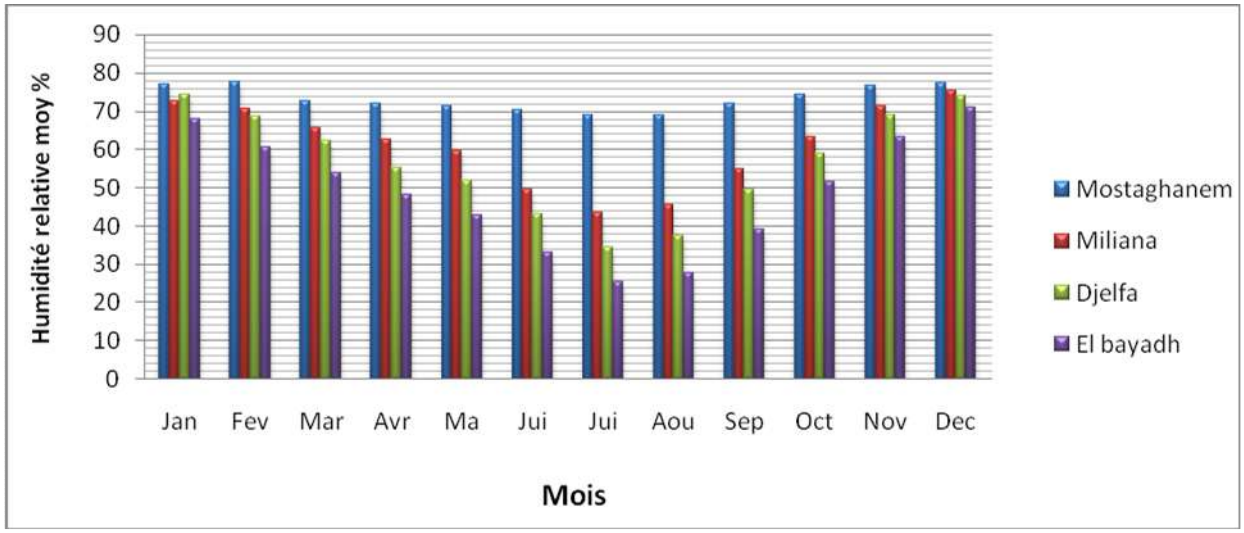


Figure N°20 : l'humidité relative des quatre stations (1980-2005)

Nous remarquons dans la **Figure N°20** que la station de Mostaghenm a la plus grande humidité (nord) pour tous les mois environ 73 % par contre l'humidité commence descendre on va vers le sud elle attend 25 % Généralement elle est élevée en Hiver lorsque les températures sont minimales et basses en été.

II.10.4 Les vents

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. Il agit sur la vie et le développement des plantes. De plus le vent peut être un facteur déclenchant ou favorisant la propagation des feux de forêt. Les vents dans le bassin versant du Chéliff varient selon la position géographique de la station et selon les mois. Les vitesses de vent dans les stations atteignent son maximum aux mois de novembre à avril, La période ou la quantité de précipitions est élevée aussi, la vitesse du vent dans la station de Tiaret attient 5.13 (M/S), les vitesses du vent sont relativement homogènes et faibles 2 m/s pour la station de Saida et allant de 3 à 4 m/s pour la station de Djelfa et EL bayadh durant toute l'année l'histogramme suivant montre la vitesse moyenne mensuelle du vent (1980-2005) des quatre stations **(Figure N°21)**.

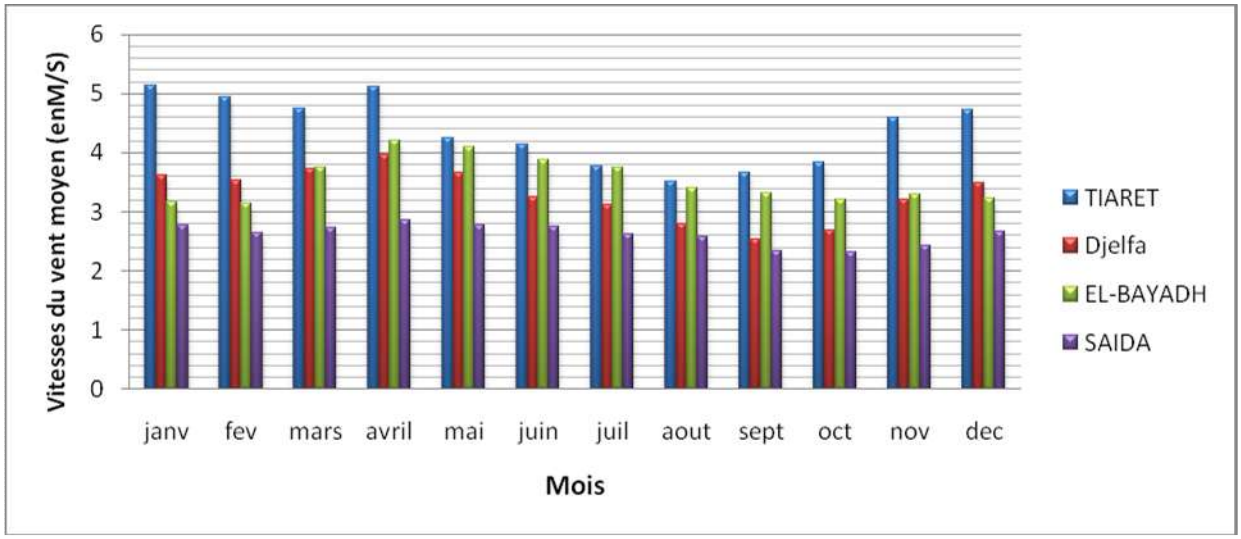


Figure N°21: les vitesses du vent des quatre stations (1980-2005)

II.10.6 synthèse climatique

Après avoir étudié et analysé les différents éléments du climat, il nous est indispensable de procéder à une interprétation de la carte bioclimatique de la région **(Figure N°29)** afin de mieux caractériser et connaître son type de climat.

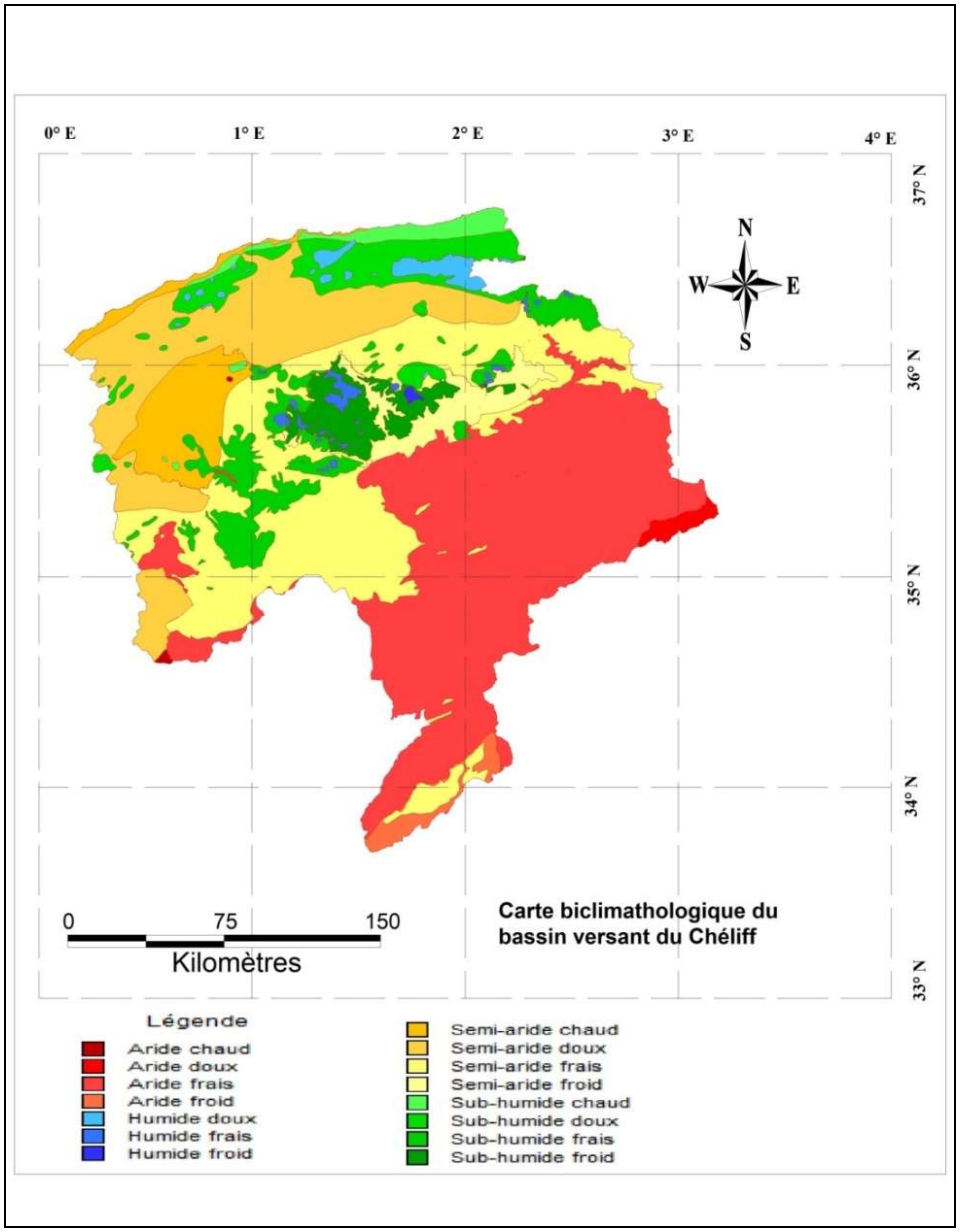


Figure N°29: Carte bioclimatologie du bassin versant Chéliff

La zone d'étude est soumise à plusieurs zones bioclimatiques est caractérisée par une diversité bioclimatique comme montre la carte que nous avons établie **(Figure N°29)** :

- Le Nord–Est appartient à l'étage bioclimatique humide à subhumide.
- Le nord-ouest et le centre sont caractérisés par un bioclimat semi-aride avec des variantes thermiques déférentes.
- Le sud est soumis à une zone bioclimatique aride (domaine steppique).

II.10.7 Diagramme Ombrothermique(BAGNOULS et GAUSSEN)

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen(1953) ou le Climagramme pluviothèrmique de Gaussen est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période sèches et humides d'une région. Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise (p≤2T) ; c'est la zone ou la courbe de P passe en au-dessous de celle 2T. L'établissement du diagramme ombrothermique d'émerger sur les données climatiques sur une période de 30 ans (1980-2010).

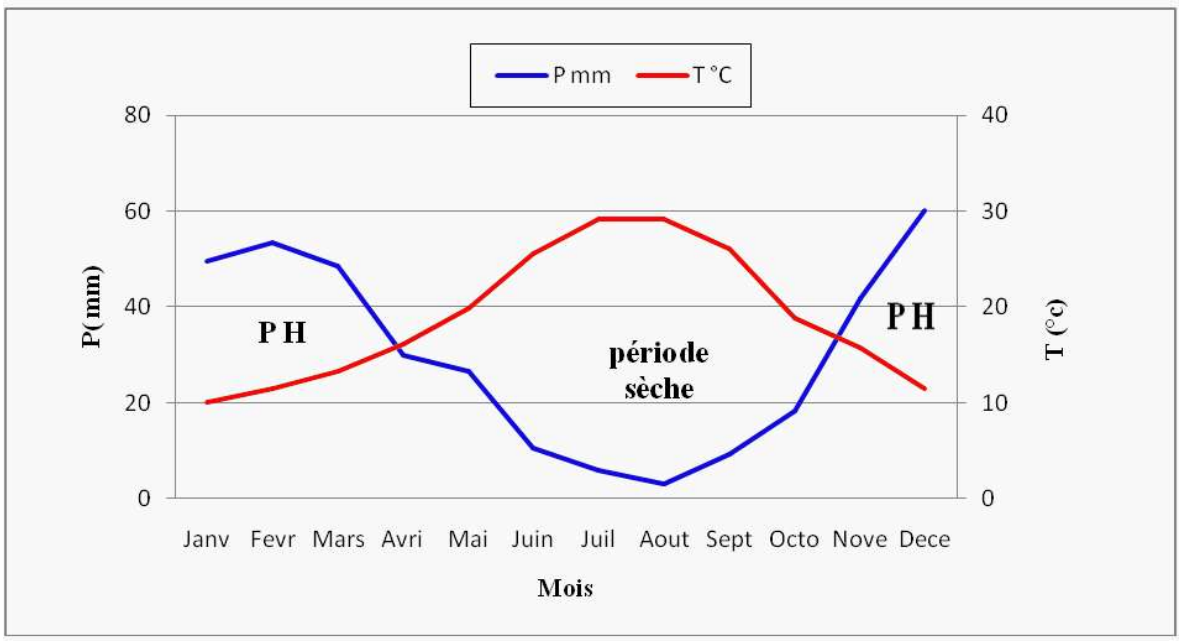


Figure N°30 : Diagramme ombrothermique de la station de Chéliff dans la décennie 80

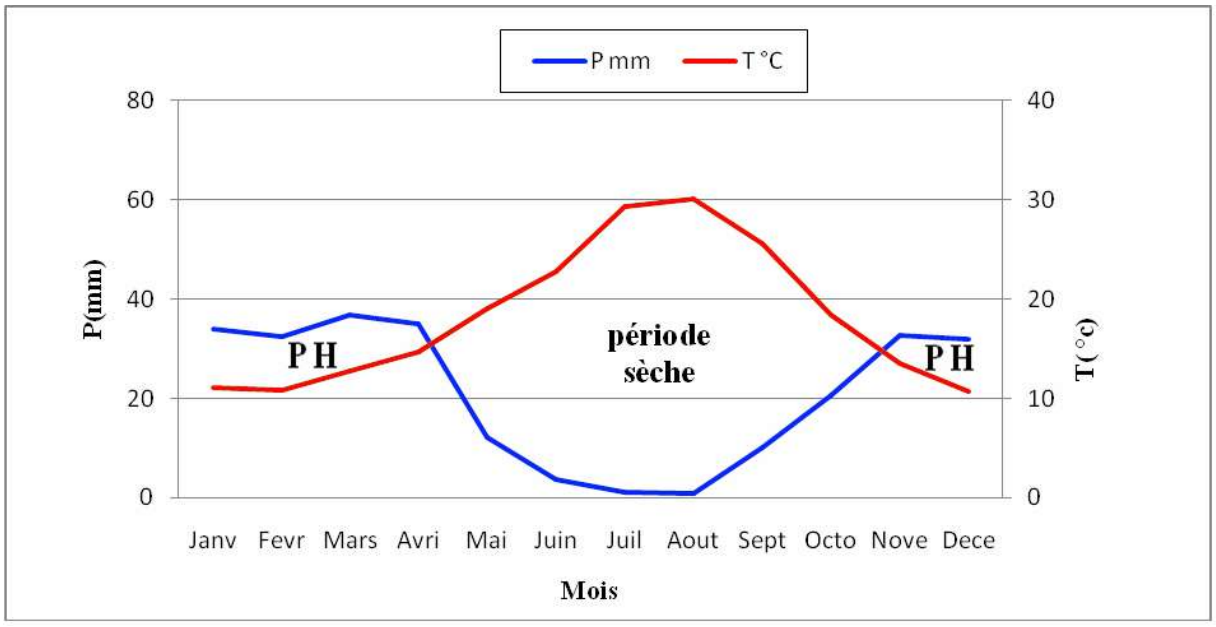


Figure N°31 : Diagramme ombrothermique de la station de Chéliff dans la décennie 90

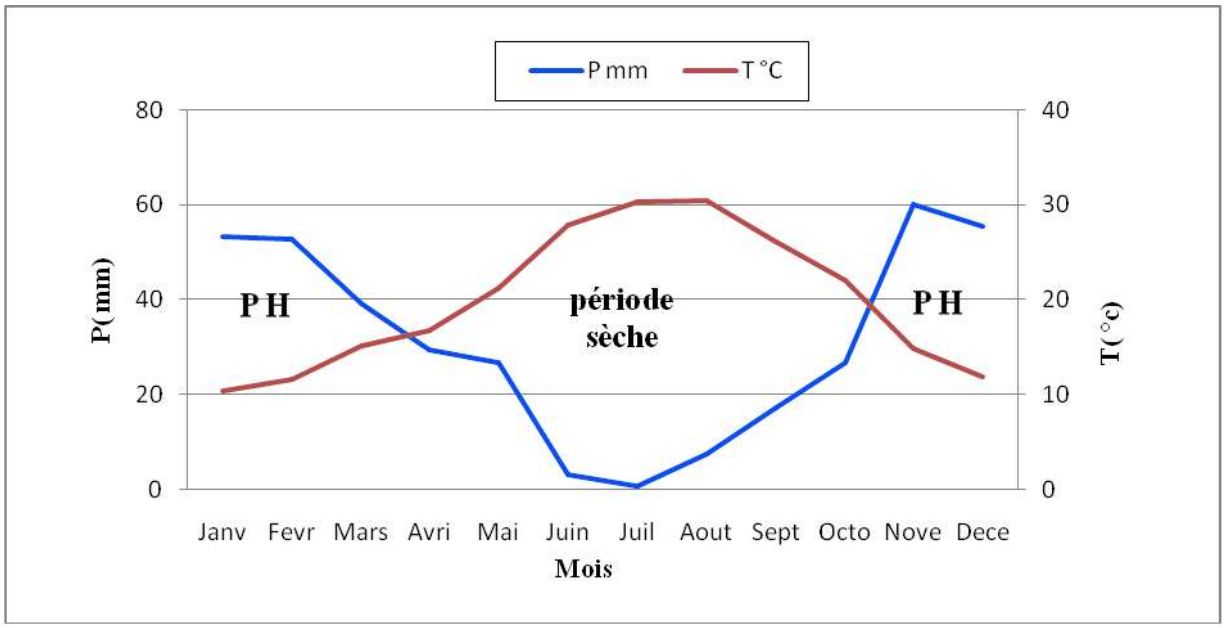


Figure N°32 : Diagramme ombrothermique de la station de Chéliff dans la décennie 2000

Le diagramme Ombrothermique explique l'évolution de deux phénomènes météorologique (la température et la précipitation), qui marque deux périodes saisonnières de la région d'étude, période humide qui commence de début de novembre à fin mars (5 mois), avec un maximum de la précipitation de **60.17 mm** pendant le mois de Décembre, cette

période et caractérisée par une formation végétale très diversifiés, lorsque dans la saison la température a étés calculé **10.06°C.**

On constate que la période sèche au bassin versant de Chéliff s'étend à au début du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre (7 mois), le mois le plus chaud et le moins arrosé est le mois d'Aout avec une température de **38°c** et une précipitation de **0.76 mm.**

II.10.8 Climagramme de LOUIS EMBERGER

Pour déterminer les climats de la zone méditerranéenne, L. EMBERGER a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q2, qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minimales et maximales, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds. Il propose donc la formule suivante :

$$Q2 = 2000P/(M^2-m^2)$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés/Kelvin)

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degrés/Kelvin)

Les valeurs d'estimations du quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2=73) pour la station d'Ain Defla et (Q_2=45) pour la station du Chéliff sur le climagramme d'Emberger nous a permis de situer notre région dans l'étage bioclimatique semi-aride à hivers doux (Ain Defla) et étage aride à hiver chaud pour la station de Chéliff **(Figure N°33)**.

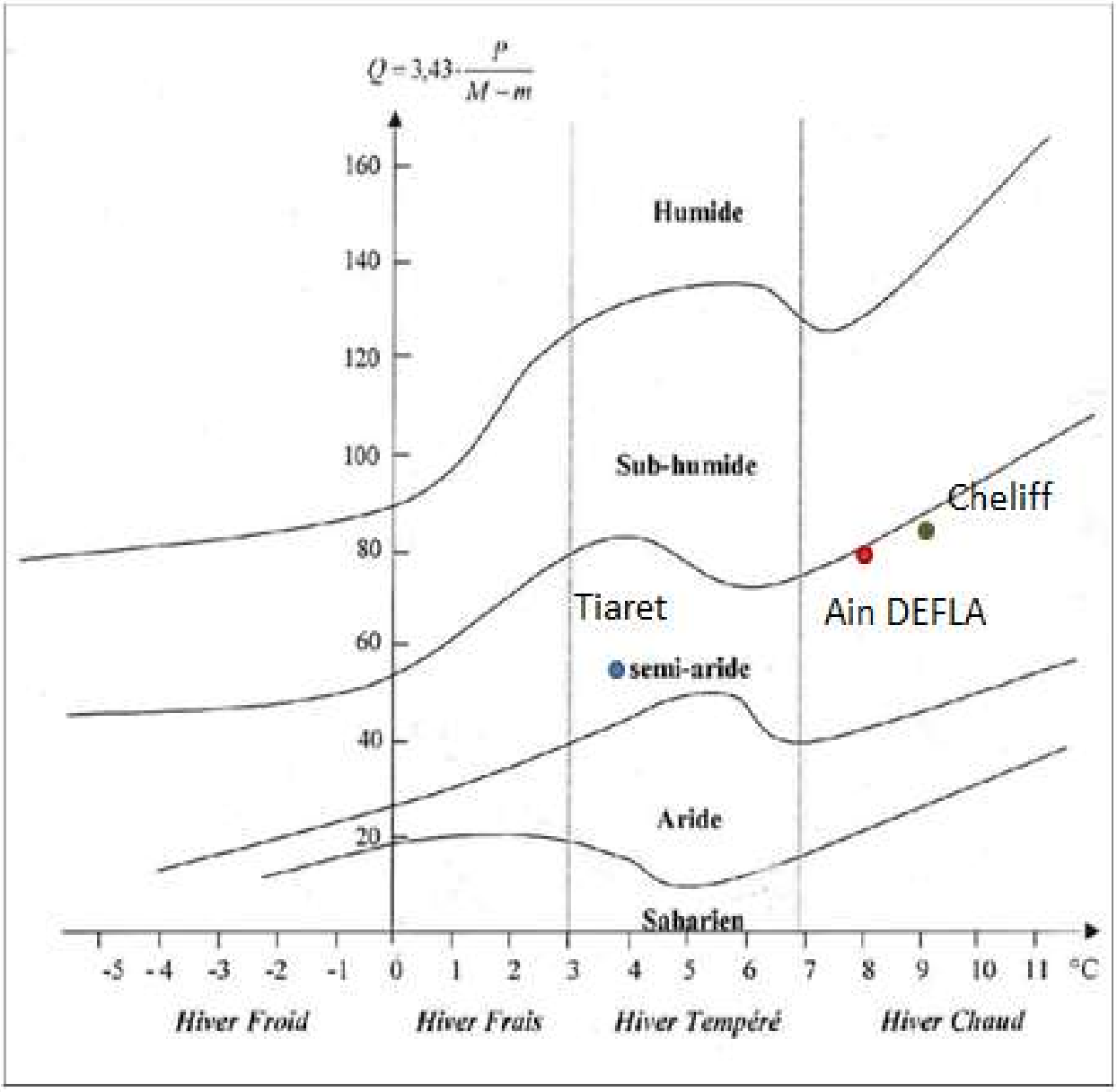


Figure N°33 : Localisation des 3 stations sur le climagramme d'Emberger

II.11 Conclusion

L'ensemble de cette étude nous a permis de déterminer les principales caractéristiques physiques, géomorphologiques et climatologiques du bassin versant Chéliff.

Un climat méditerranéen du type semi-aride à aride est mis en évidence, avec un hiver pluvieux et un été sec.

III. Matériels et méthodologies de travail

III.1 Introduction

Notre travail est consisté à étudier les changements de l'occupation du sol au niveau du bassin versant de Chéliff à partir des années 80 jusqu'aux années 2000 et ce par l'utilisation de l'imagerie satellitaire. Pour cela nous utilisons des images satellites Landsat de deux dates: la première acquise en 1987 (Landsat 5-TM), et la deuxième en 2019 (Landsat 8-OLI) pour détecter l'ensemble des variations dans l'espace étudié. Pour réaliser ce travail nous avons fait un stage pendant un mois au niveau du Centre National des Techniques Spatiales. Plusieurs traitements et analyses ont été effectués sur les images afin d'arriver au résultat final qui est la carte du changement d'occupation du sol. Dans ce chapitre nous donnons les détails sur les données utilisées ainsi que le matériel et les méthodes utilisées.

III.2 Matériels utilisés

Le matériel utilisé dans cette étude comprend :

- Les images satellitaires téléchargées à partir du site web **USGS**.
- Les logiciels de télédétection.
- Carte thématique (carte d'occupation du sol des wilayas du Nord, 2009)

III.2.1 Les images satellitaires

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ainsi que dans la planification et la gestion des ressources, elles sont descriptives et apportent une information spatiale et spectrale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information **(El HADRAOUI, 2013**) permettant la caractérisation des objets dans une large bande spectrale. L'interprétation visuelle ou automatique permet d'identifier des objets et d'extraire de l'information.

Pour notre étude, nous avons utilisé les images issues de deux types de capteurs LANDSAT :

- TM 5 (Thematic Mapper) (Figure N°1)
- OLI 8 (Operational Land Imager) (Figure N°2)



Figure N°34: LANDSAT 5-TM



Figure N°35: LANDSAT 8-OLI

Vu qu'il y a une indisponibilité des données, les images satellites ont été prises dans deux mois proches (Juillet -octobre). Le choix de l'acquisition des images en cette période est mieux adapté à la démarche envisagée. Les deux tableaux suivants résument l'ensemble des caractéristiques de chaque image Landsat utilisée dans ce travail.

Tableau N° 4: les données des images satellitaires de bassin versant de Chéliff 1987

Path/Row	Date d'acquisition	Capteur	Résolution	Nombre de bande	Image géo - référencée
195-36	21-07-1987	Landsat 5 TM	30m	07	proj: UTM zone 31 North Datum: WGS 84
196-35	23-07-1987				
197-35	30-07-1987				
197-36	30-07-1987				
196-36	23-07-1987				
196-37	21-07-1987				

Tableau N°5: les données des images satellitaires de bassin versant de Chéliff 2019

Path/Row	Date d'acquisition	capteur	Résolution	Nombre de bande	Image géo- référencée
195-36	24/07/2019	Landsat 8 OLI	30m	11	proj: UTM zone 31 North Datum: WGS 84
196-36	19/10/2019				
197-35	26/10/2019				
196-35	26/10/2019				
197-36	10/10/2019				

L'imagerie LANDSAT couvre une large portion du spectre électromagnétique. Le capteur TM et OLI enregistrent des réflectances dans le visible, dans le moyen infrarouge et dans le proche infrarouge (tableau 4et 5). Il est reconnu que la prise en compte d'une bande au moins de chacune de ces trois zones du spectre, permet une bonne discrimination générale de l'occupation du sol. Il est en outre généralement admis que l'utilisation d'un grand nombre de bandes spectrales n'apporte guère plus de discrimination entre les objets au sol que celle de quelques bandes judicieusement choisies. **(BOUZENZANA, 2015)**

III.2.1.1 Caractéristiques du capteur Landsat 5-TM

TM (Thematic Mapper) est un capteur qui observe dans 7 bandes spectrales en lumière visible et infrarouge avec une résolution optique de 30 mètres (120 mètres sur la bande 6). L'appellation Thematic Mapper provient de la capacité de l'instrument de fournir des données permettant de réaliser des cartes thématiques (agriculture, hydrologie,...). Le tableau suivant résume caractéristique des bandes spectrales de ce capteur. **(BOUHLALA, 2016)**

Tableau N°6 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 5-TM

Bandes	Domaine Spectral (µm)	Résolution spatiale (m)	Application
TM1	0,45 - 0,52 (bleu)	30 m	Différenciation sol/végétaux zones côtières
TM2	0,52 - 0,60 (vert)	30 m	Végétation
TM3	0,63 - 0,69 (rouge)	30 m	Différenciation des espèces végétales
TM4	0,76 - 0,90 (proche IR)	30 m	Biomasse
TM5	1,55 - 1,75	30 m	Différenciation neige/nuage
TM6	10,4 - 12,5	120 m	Thermique
TM7	2,08 - 2,35	30 m	Lithologie

III.2.1.2 Caractéristiques du capteur Landsat 8-Oli

OLI (Operational Land Imager) est l'instrument principal du satellite Landsat8. Ce radiomètre multispectral acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge. Deux canaux supplémentaires ont été ajoutés, destinés principalement à la correction atmosphérique (canal Aérosol à 440 nm) et à la détection des nuages (1380 nm). Le tableau suivant résume caractéristique des bandes spectrales de ce capteur. **(BOUHLALA, 2016)**

Tableau N°7: Caractéristiques des bandes spectrales de LANDSAT 8-OLI

Bandes	Domaine Spectral (µm)	Résolution spatiale (m)	Application
01	0.433 – 0.453	30 m	Aérosols, zones côtières
02	0,45 - 0,515 (bleu)	30 m	Pigment, Différenciation sol/végétaux, zones côtières
03	0,525 - 0,600 (vert)	30 m	Pigment, zones côtières
04	0,630 - 0,680(rouge)	30 m	Pigment, zones côtières
05	0,845 - 0,885 (proche IR)	30 m	Feuillages, zones côtières
06	1,560 - 1,660	30 m	Feuillages
07	2,100 - 2,300	30 m	Minéral, lithologie
08	0,500 - 0,680	15 m	Panchromatique
09	1,360 – 1,390	30 m	Cirrus et nuages
10	10,6 – 11,2	100 m	Thermique
11	11,5 – 12,5	100 m	Thermique

III.2.2 Les logiciels de traitement

III.2.2.1 ENVI

Envi est un logiciel professionnel de la société « EXELIS » (http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx) permettant la visualisation, le traitement, l'analyse, et la présentation de nombreux types d'images numériques, dont les images satellites. **(DENIS, 2016)**

Il répond 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 ;
- 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. **(ABDELBAKI, 2012)**

Dans notre étude nous avons utilisé ENVI 5.3 et ENVI 4.5.

III.2.2.2 ArcGis

ArcGIS est un système regroupant des logiciels clients (ArcView , ArcEditor , ArcInfo et ArcExplorer) et des logiciels serveurs (ArcSDE et ArcIMS). Ils permettent de visualiser, d'interroger, d'analyser et de mettre en page les données. Il fournit des outils interactifs pour explorer, sélectionner, afficher, éditer, analyser, symboliser et classifier les données ou pour créer automatiquement, mettre à jour ou gérer les métadonnées ("Esri." www.esrifrance.fr/application.aspx.)

On se focalise sur l'étude d'ArcGis 10.

III.2.2.3 Mapinfo

Le Mapinfo professionnel est un outil de type système d'information géographique. Qui sera à créer l'information géographique, à traiter l'information et à la cartographier. **(MECHRI et ALLALI, 2014)**

III.3 Approche méthodologique

L'étude multi-temporelle de la régression et le suivi du changement de l'occupation du sol repose sur l'analyse et le traitement des images satellitaires par la télédétection. L'approche méthodologique consiste à détecter les changements dans le couvert végétal, à partir d'une classification supervisée appliquée sur des images Landsat et l'analyse de l'évolution de la biomasse à travers l'interprétation de l'indice de végétation NDVI des images satellitaires acquises à différentes dates. La méthodologie suivie comprend plusieurs étapes qui sont récapitulées dans l'organigramme ci-dessous **(Figure N°36)**.

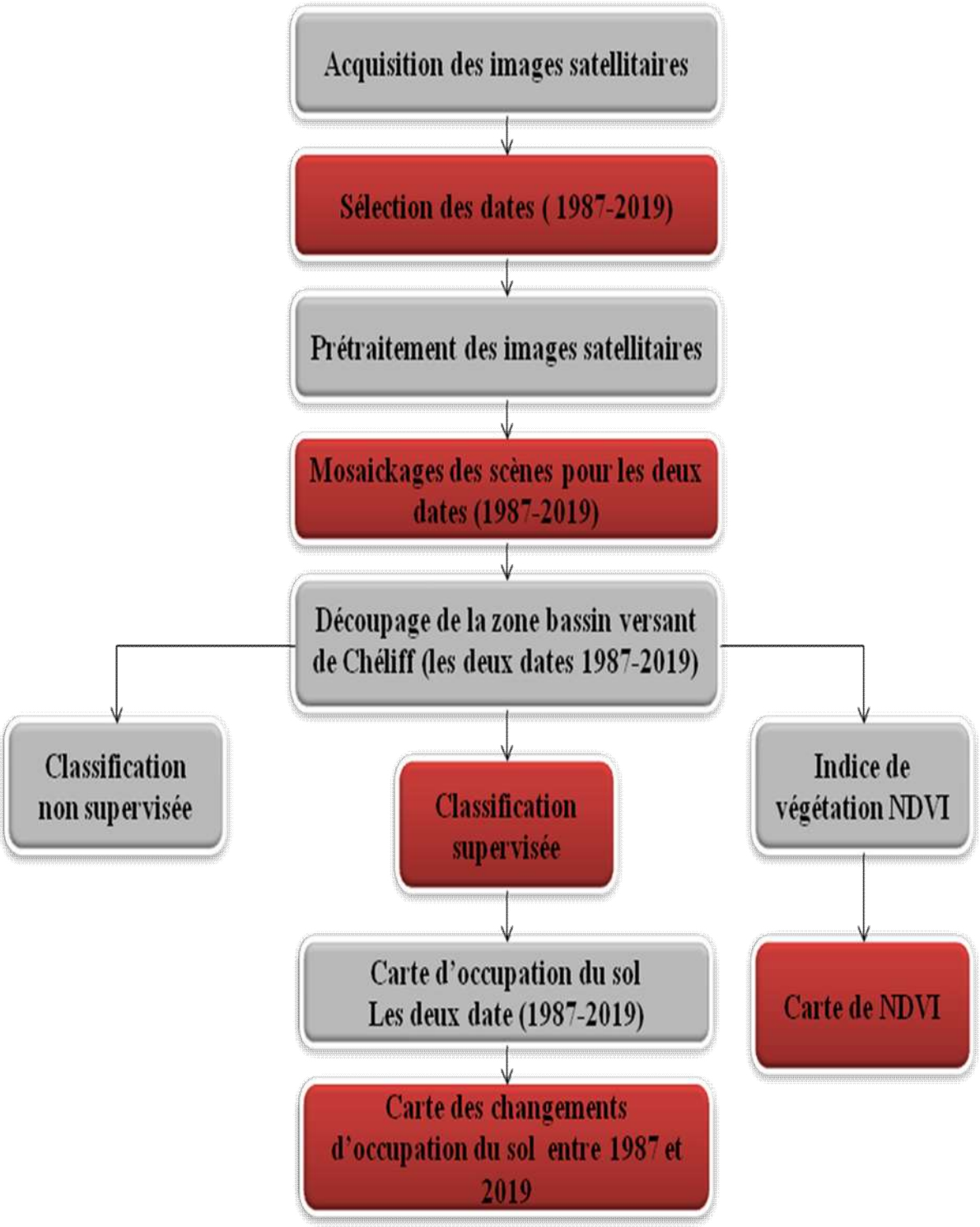


Figure N°36: Organigramme présente les étapes de l'approche méthodologique utilisé pour l'analyse et le traitement des données satellites. **(ZOUBAIR et DEMDOUM, 2020)**

III.3.1 Acquisition des images satellites

Parmi les différents types, de capteur disponible, dans le spectre visible et proche infrarouge, LANDSAT a été choisi pour deux raisons :

- C'est le plus ancien des programmes d'observation de la terre, disposant ainsi d'une importante archive d'images sur une longue période (30 ans) ;
- les données LANDSAT sont disponible gratuitement sur la plateforme web du USGS « United States Géological Survey » qui est un organisme gouvernemental américain qui se consacre aux sciences de la Terre.

III.3.2 Sélection des dates

Pour toute étude multi temporelle d'occupation du sol il est très important de bien choisir la date de prise de vues, car les conditions de terrain varient beaucoup au cours des saisons de l'année.

Dans notre étude, nous avons opté pour les saisons d'été et d'automne car la végétation est moins dense et donc il nous est facile d'étudier le changement de l'occupation du sol dans le bassin versant de Chéliff entre 1987et 2019.

III.3.3 Prétraitements

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 **(TABOPDA et FOTSING, 2010).** Les opérations de prétraitement se divisent en une correction géométrique (Ortho-rectification) qui permet la correction des distorsions géométriques de l'image dues aux variations de la géométrie Terre-Capteur, et transformer les données en vraies coordonnées géographiques, et une correction radiométrique qui permet de réduire les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (Nuages, poussière atmosphérique, vent de sable, etc.). **(TIR, 2016)**

Depuis fin mai 2014, les images LANDSAT 5, 7 et 8 sont disponible, gratuitement et sur demande, au niveau L1T (correction géométrique) sur le site Earth Explorer de l'USGS. **(BOUZENZANA, 2015)**

III.3.3.1 Correction atmosphérique

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. **(SOUDANI, 2006)**

Dans notre cas la correction atmosphérique des images Landsat a été appliquée en utilisant le module FLAASH sous ENVI dans sa version, la 5.3. L'organigramme et la figure suivant représentent les principales étapes de traitement d'une image satellitaire.

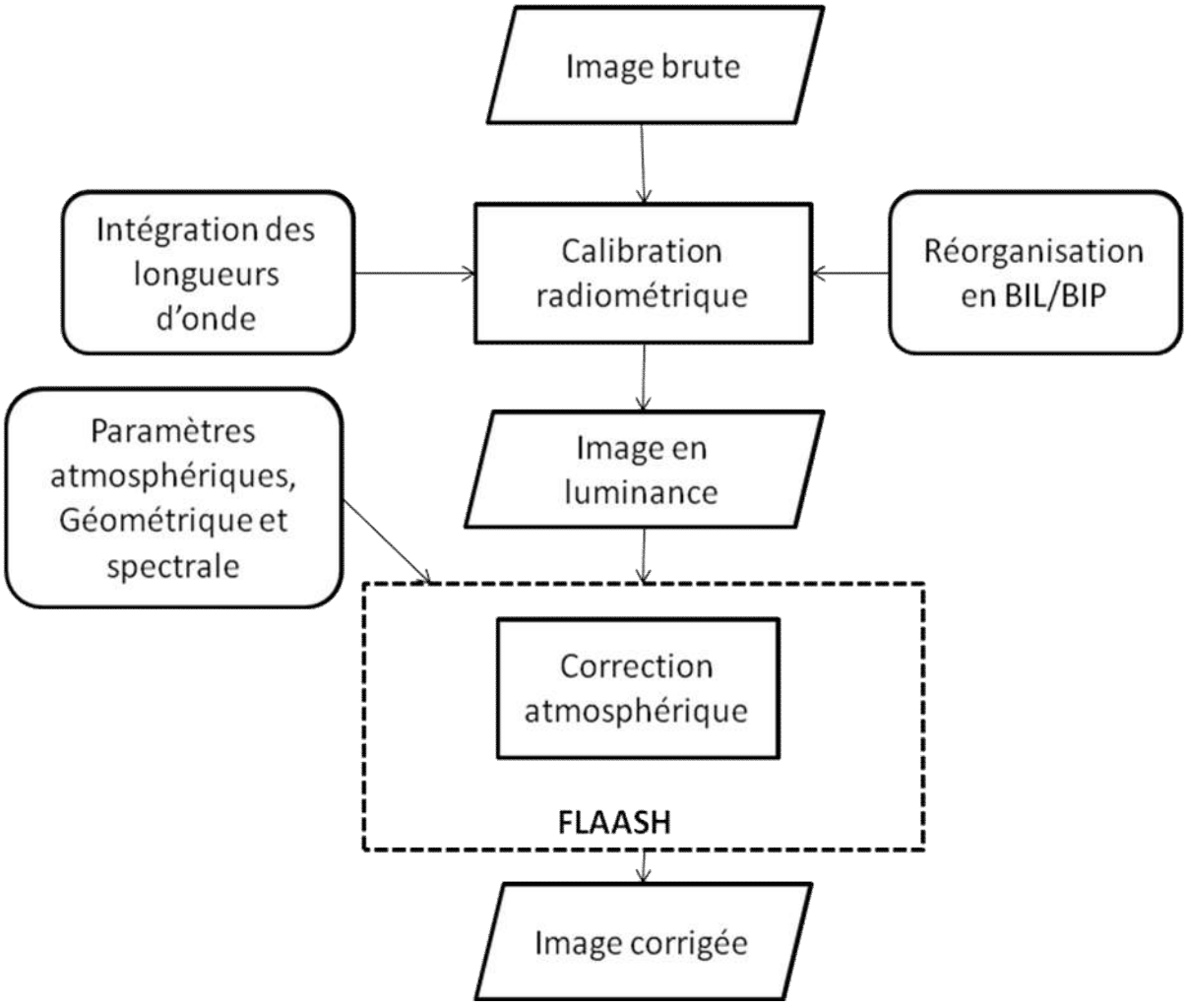


Figure N°37: Organigramme présente la chaine de traitement d'une image satellitaire

(BOUHLALA, 2016)

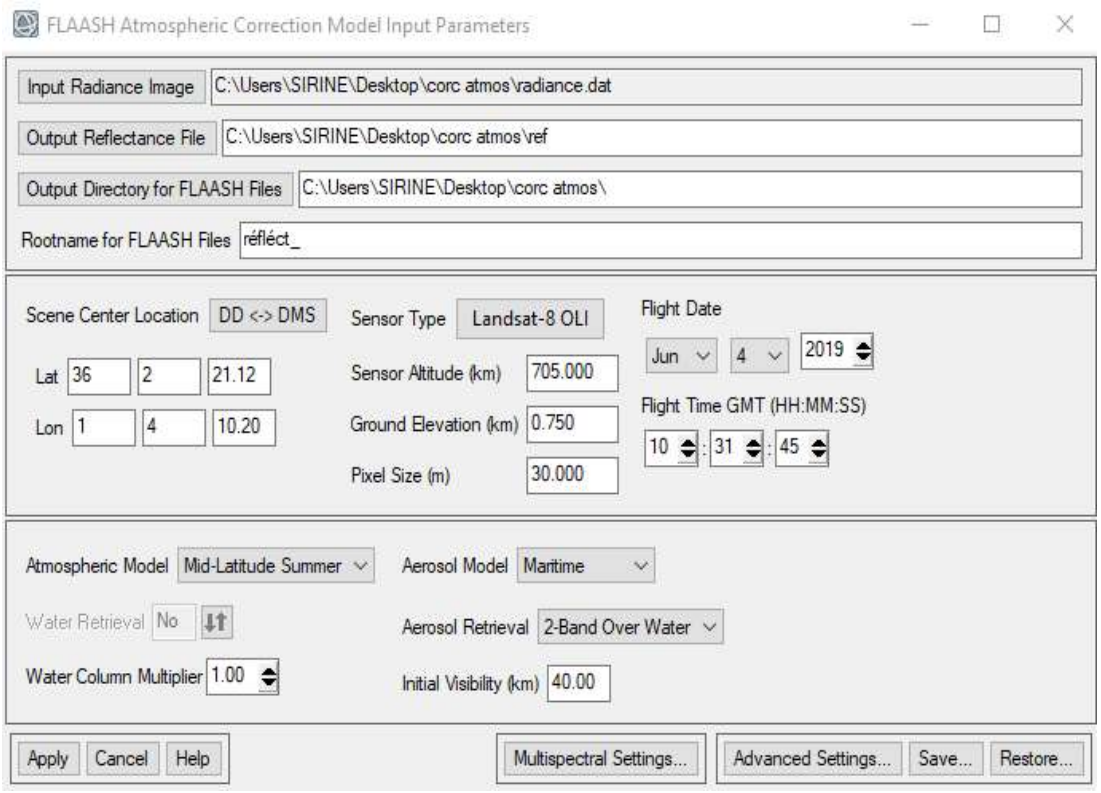


Figure N°38: Interface graphique du module FLAASH

.

III.3.3.2 Composition colorée des images

En télédétection la représentation significative d'une image est obtenue par une combinaison de couleurs, en général chaque couleur correspond une bande de l'image. Pour ce faire, la composition colorée utilisée a été obtenue par une superposition de trois canaux, en affectant à chacun l'une des trois couleurs de base additive : Rouge, Vert, Bleu ; c'est-à-dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde, cette composition colorée permet de distinguer chaque objet indépendamment selon sa réponse spectrale dans le RVB (grande réflectance de la végétation dans le proche infrarouge).

III.3.4 Mosaickage des scènes couvrant la zone d'étude

Les images sont acquises avec une certaine largeur de bande sur l'orbite du satellite. Cette largeur dépend du capteur du satellite (Géographic information management). Dans

notre cas, notre zone d'étude est plus large. Cependant, Nous avons fait la mosaïque de 6 scènes des images Landsat 5 TM pour l'année 1987 et 5 scènes des images Landsat 8 pour l'année 2019 afin de couvrir toute la superficie de bassin versant de Chéliff.

III.3.5 Découpage de la zone d'étude

Après la mosaïque des scènes, nous avons réalisé un découpage de la zone d'étude par l'application d'un masque en utilisant un fichier de format vecteur selon les limites naturelles du Bassin versant de Chéliff pour les deux dates (1987-2019).

III.3.6 Calcul de l'indice de végétation NDVI

L'NDVI (Normalized Différence Végétation Index) ou indice de végétation par différence normalisée est le plus ancien et le plus utilisé des indices de végétation. Il permet de mesurer l'activité physiologique des plantes chlorophyllienne et la discrimination de la végétation. Il est calculé à partir des bandes spectrales rouges (R) et proches infra rouge (PIR) selon l'équation suivante :

$$NDVI=PIR-R/PIR+R$$

R: le canal rouge=Band 4.

PIR : le canal proche-infrarouge = Band 5.

Cet indice est sensible à la vigueur et à la densité de la végétation.

Les valeurs NDVI sont comprises entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondent 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, la réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, l'NDVI présente des valeurs proches de 0. **(BENTOUNSI, 2017)**

III.3.7 Méthodes de classification

La classification d'une image satellitaire est une transformation quantitative en image thématique. Elle consiste à découper les pixels de l'image en polygones pour les regrouper dans les mêmes classes correspondantes. Le principe de la classification se fait selon une règle de discrimination basée sur la différence statistique entre les valeurs numériques des pixels dans le but de réaliser le découpage optimal. **(DESHAYES et MAUREL, 1990)**

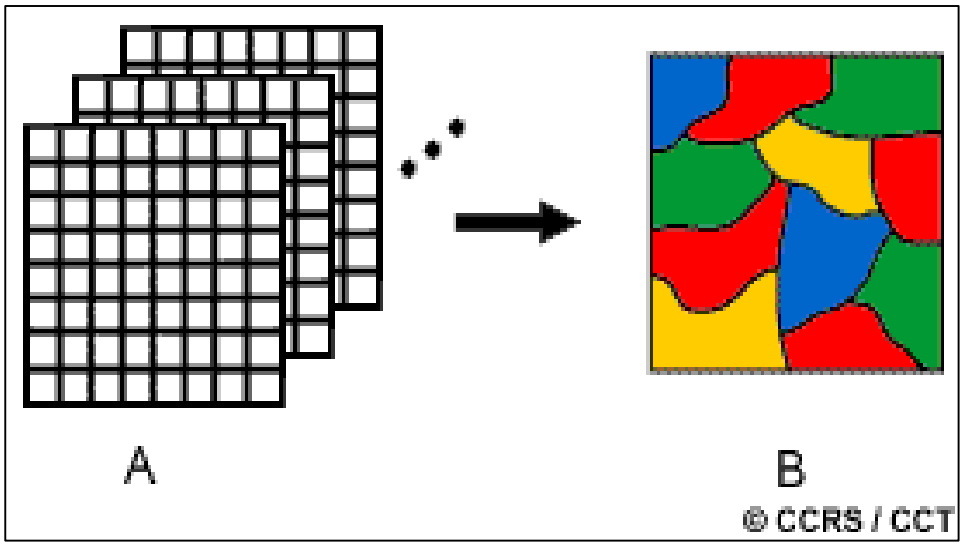


Figure N°39: Classification de l'image **(CCT, 2005)**

La classification d'images satellitaires a pour objectif de produire des images thématiques, c'est à dire des images dont le contenu ne représente plus une mesure mais une interprétation et une catégorisation de la nature des objets associés aux pixels. Le processus de classification comporte trois étapes :

- L'établissement des classes de signatures ;
- La classification des pixels en fonction de ces signatures ;
- La vérification des résultats.
- L'établissement des classes de signatures peut se faire à partir de deux situations initiales distinctes:

III.3.7.1 Classification supervisée

La classification supervisée utilise les objets bien définis en groupe de pixels appelés des sites d'entraînement basé pour les calcules des algorithmes de classification **(DUMINIL, 2007)**. Pour notre cas, le choix des zones d'entrainement a été effectué à l'aide d'une carte d'occupation de sol (carte de l'occupation du sol des wilayas du Nord, 2009) et par l'interprétation visuelle de la composition colorée.

Les principales étapes qu'on a fait sont :

a- Application du masque de la zone urbain et de la zone incendiée : cette étape faite pour éviter le maximum de confusion entre les class.

b- Sélection des échantillons d'apprentissage : c'est la sélection de l'ensemble des class à l'aide d'une photo d'interprétation visuelle de la composition coloré et par une carte d'occupation de sol de la zone d'étude.

c- Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage : c'est le calcul de la distance spectrale entre les class qu'on a choisis, il fournit des statistiques qui varient entre 0 et 2. C'est-à-dire :

- < x < 1.0 (séparabilité très faible, 0 implique une confusion totale entre deux classes)
- < x < 1.9 (séparabilité faible)
- 1.9 < x < 2.0 (bonne séparabilité, 2 séparabilité parfaite avec aucun risque de confusion).

d- Algorithme de la classification : la classification supervisée contenir plusieurs algorithme ou bien des méthodes. Dans notre cas nous avons choisi d'utiliser la méthode par maximum likelihood pour son utilisation très répandue en télédétection.

e- Evaluation de la qualité de la Classification : dans cette étape basée sur des échantillons de validation qui sont vérifié sur le terrain. Dans notre cas nous avons opté pour les échantillons sur la base de l'interprétation visuelle de l'image et la carte d'occupation de sol de la zone d'étude.

III.3.7.2 Classification non supervisée

La classification non supervisée procède de la façon contraire. Les classes spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes sont ensuite associées, par un analyste, à des classes d'information utile. Des programmes appelés algorithmes de classification sont utilisés pour déterminer les groupes statistiques naturels ou les structures des données. **(LARIBI. M et MOKEDDEM. F, 2018)**

III.3.8 Réalisation des cartes de synthèses

Une fois toutes les étapes effectuées, la phase finale consiste à réaliser des cartes de synthèses des changements de l'occupation du sol et des cartes de NDVI au cours du temps.

Des tableaux et graphiques viennent compléter les résultats en apportant des précisions sur les superficies de la régression.

III.4 Conclusion

Les différentes extractions effectuées sur les images de différentes dates (1987,2019) permettent de réaliser une cartographie spatiotemporelle du changement de l'occupation du sol dans le bassin versant de Chéliff, d'où le but du chapitre suivant.

IV. Résultats et discussions

IV.1 Introduction

L'objectif scientifique repose sur un suivi spatio-temporel de la détection des changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de Chéliff ; en utilisant une série chronologique d'images satellitaires du type LANDSAT (TM5 et OLI-8) correspondantes aux années 1987,2019. Il s'agit donc d'évaluer et d'estimer les changements de la végétation à différentes époques à l'aide de l'interprétation d'images captées par des satellites d'observation de la Terre, donc dans ce chapitre nous allons parler de tous les résultats auxquels nous avons abouti pour les différents traitements et analyses effectués sur les images satellitaires utilisées dans ce travail.

IV.2 Traitement el analyses des images satellitaires

IV.2.1 Prétraitements et correction des images

L'élimination des perturbation dues à l'atmosphère et aux captures sur les images satellitaires LANDSAT de période (mois juillet octobre) des deux années 1987 et 2019 a pour objet de mieux discriminer le paysage dans la région et pour nous permettre de les caractériser morphologiquement de point de vue spatiale., la correction atmosphérique d'une image satellitaire consiste à convertir les comptes numériques de l'image (niveau de gris) en luminance au niveau du capteur satellitaire et ensuite d'extraire de cette nouvelle variable les effets perturbateurs atmosphérique afin d'aboutir finalement à une mesure physique de la réflectance au niveau de la surface visée. **(YAHIAOUI, 2016).**

IV.2.1.1 Analyse des résultats

La correction atmosphérique des images Landsat a été appliquée en utilisant le module FLAASH sous ENVI dans sa dernière version, la 5.3.1.

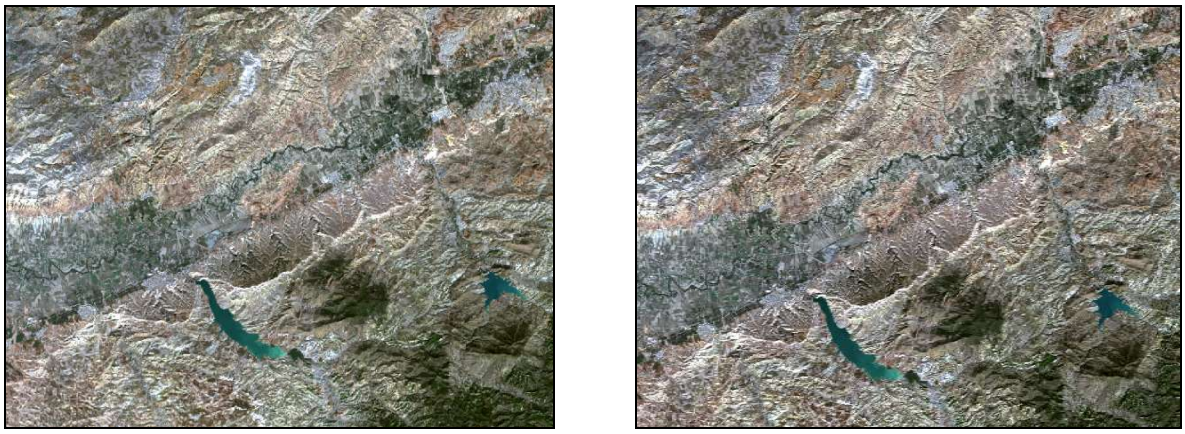


Figure N°40 : À gauche : image avant traitement. À droite : image après traitement

La **Figure N°40** nous montre la qualité du traitement (image à droite de la figure), le résultat est satisfaisant, visuellement l'image parait plus claire, avec des couleurs plus fidèles à la réalité et la végétation et beaucoup plus distinguée c'est un bon signe qui laisse présager que l'image a été correctement traitée.

IV.2.1.2 Signatures spectrales

Afin de valider le résultat obtenu, une analyse spectrale est indispensable. La **Figure N°41** nous montre une comparaison des réponses spectrales d'un même pixel représentant la végétation (prit comme exemple). L'analyse de ces signatures spectrales montre l'écart entre les valeurs de réflectances corrigées.

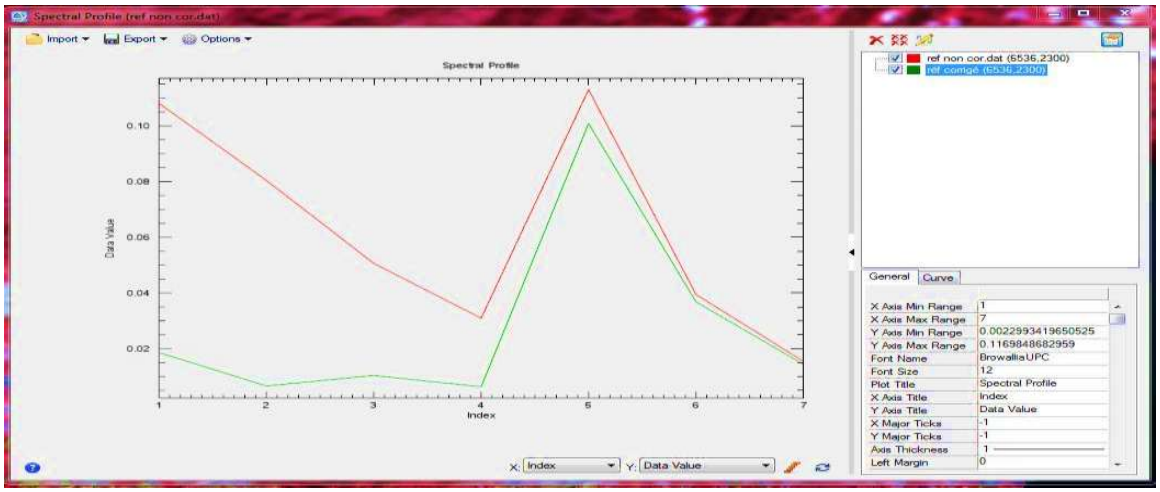


Figure N°41: Comparaison des réponses spectrales d'un même pixel représentant la végétation pour l'année 2019

L'analyse spectrale d'ENVI5.3 montre de bons résultats, l'apport de la correction atmosphérique est bien représenté dans le graphe illustré dans la **Figure N°41** ou nous pouvons remarquer la diminution de la valeur de réflectance dans les courtes longueurs d'onde (la bande bleue) faisant ainsi ressortir la couleur verte dans l'image corrigée. La correction atmosphérique a aussi fait augmenter la réflectance dans la bande infrarouge, en effet, ici nous pouvons expliquer ce résultat par le fait que FLAASH restitue la réflectance en en enlevant l'effet d'absorption des molécules d'eau présente dans l'atmosphère.

IV.3 Composition colorée des images

En télédétection la représentation significative d'une image est obtenue par une combinaison de couleurs, en général chaque couleur correspond une bande de l'image. Pour ce faire, la composition colorée utilisée a été obtenue par une superposition de trois canaux, en affectant à chacun l'une des trois couleurs de base additive : Rouge, Vert, Bleu ; c'est-à-dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde, cette composition colorée permet de distinguer chaque objet indépendamment selon sa réponse spectrale dans le RVB (grande réflectance de la végétation dans le proche infrarouge), à savoir :

Pour les images 1987 : La trichromie comporte : La couleur rouge a été affectée au canal TM4 (Proche Infrarouge), La couleur verte a été affectée au canal TM 3(Rouge) et la couleur bleu a été affecté au canal TM 1(Bleu).

Pour l'image 2019 : La trichromie comporte : La couleur rouge a été affectée au canal 5 (Proche Infrarouge), La couleur verte a été affectée au canal 4 (Rouge) et la couleur bleu a été affecté au canal 2 (Bleu).

Chaque élément peut être repéré par une signature spectrale qui lui est propre. La figure suivante rassemble quelle que signature de notre zone d'étude.

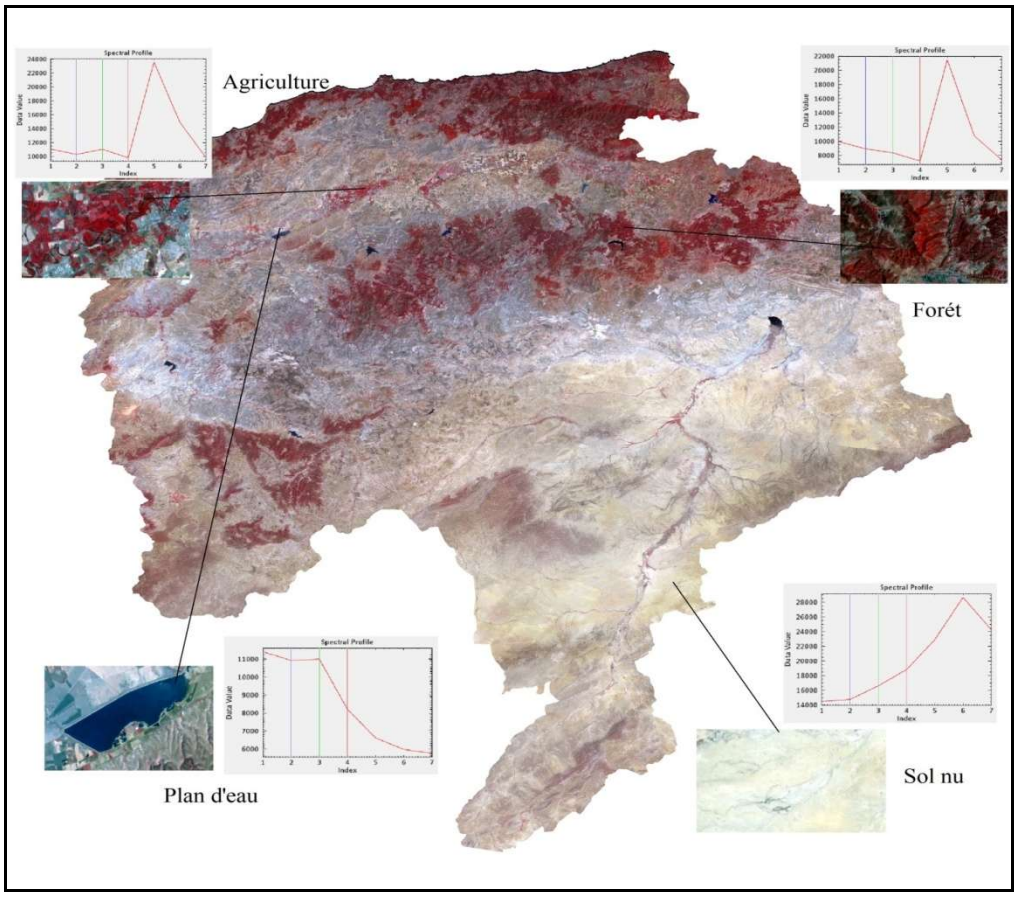


Figure N°42 : Exemple de la signature spectrale de la végétation, du sol nu et l'eau sans correction atmosphérique la composition colorée produite à partir des bandes originales de l'image Landsat TM5 1987 sur le bassin versant de Chéliff.

La composition colorée RVB nous a permis, non seulement une bonne discrimination des différentes formations du paysage. On peut distinguer sur l'image :

- Les sols nous apparaissent en beige plus ou moins sombre s'étendant sur la presque totalité du bassin la signature spectrale des sols est en général caractérisée par une augmentation progressive de la réflectance depuis les longueurs d'onde du visible jusqu'à celles de l'infrarouge.
- les eaux des barrages apparaissent en bleu.
- Les sols nus cultures à céréales de la plaine apparaissent en couleur plus ou moins rouge clair.

- les zones représentées le couvert végétal apparaissent en couleur plus ou moins rouge foncé. La végétation est caractérisée par une faible réflectance dans le visible et une réflectance élevée dans le proche infrarouge.

IV.4 Mosaïque des images satellites

Vu la grande superficie du bassin versant, il nous a fallu faire la mosaïque de 6 scènes des images Landsat TM 5 de 1987 et 5 scènes des images Landsat 8 de 2019 afin de couvrir toute la zone d'étude (**Figure N°43** et **N°44**).

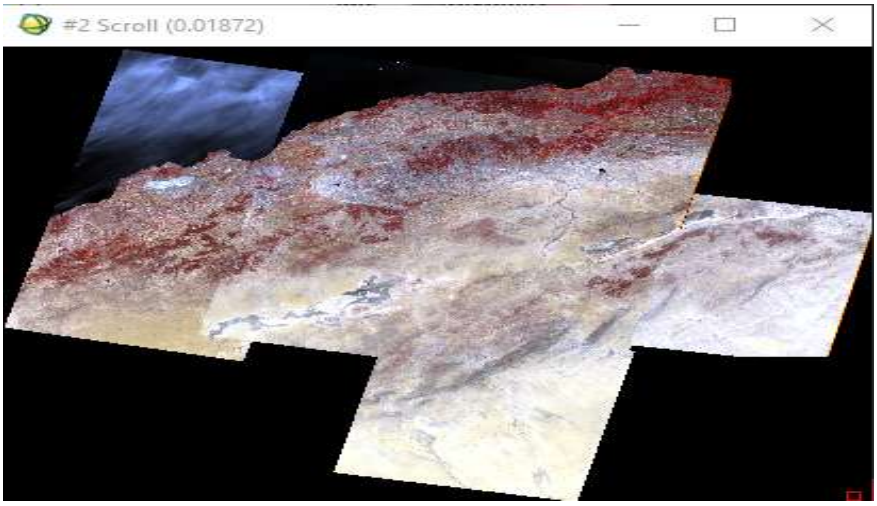


Figure N°43 : Mosaïque des 6 images Landsat TM- 1987 de la zone d'étude

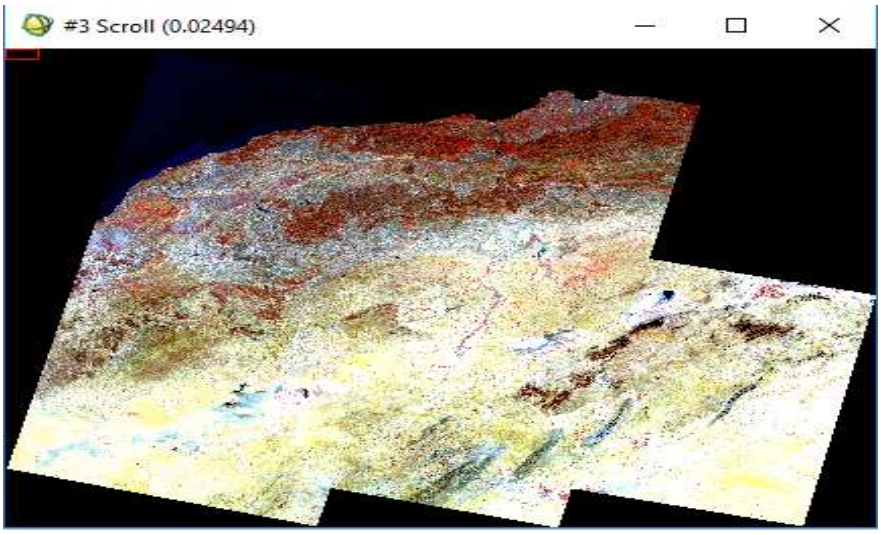


Figure N°44 : Mosaïque des 5 images Landsat8- 2019 de la zone d'étude

IV.5 Découpage des images selon les limites de la zone d'étude

Après la mosaïque, nous avons réalisé un découpage de la zone d'étude par l'application d'un masque en utilisant un fichier de format vecteur selon les limites naturelles du Bassin versant de Chéliff **(Figure N°45)** Le résultat de cette opération somme figurés en **(Figure N°46 et N°47)**.

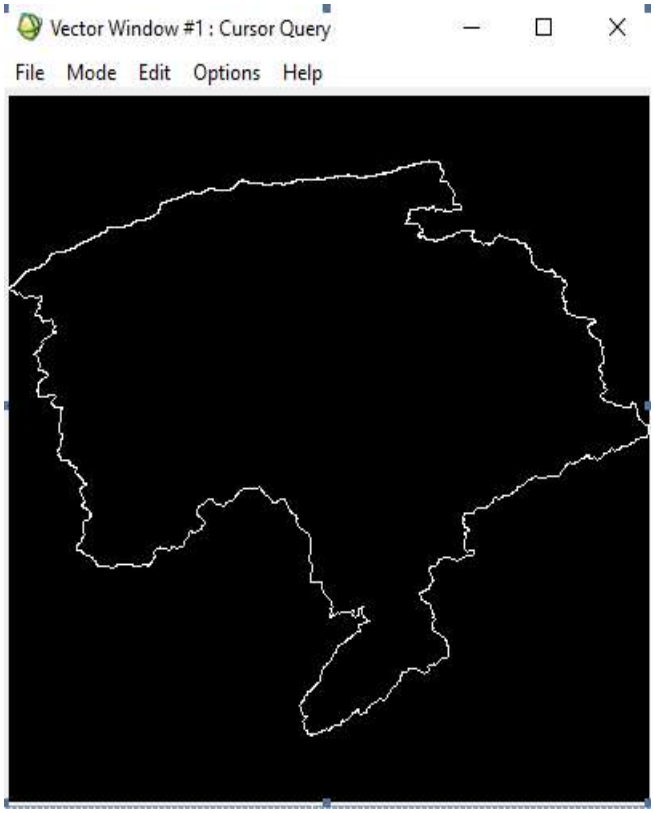


Figure N°45 : Les limites naturelles du Bassin versant du Chéliff

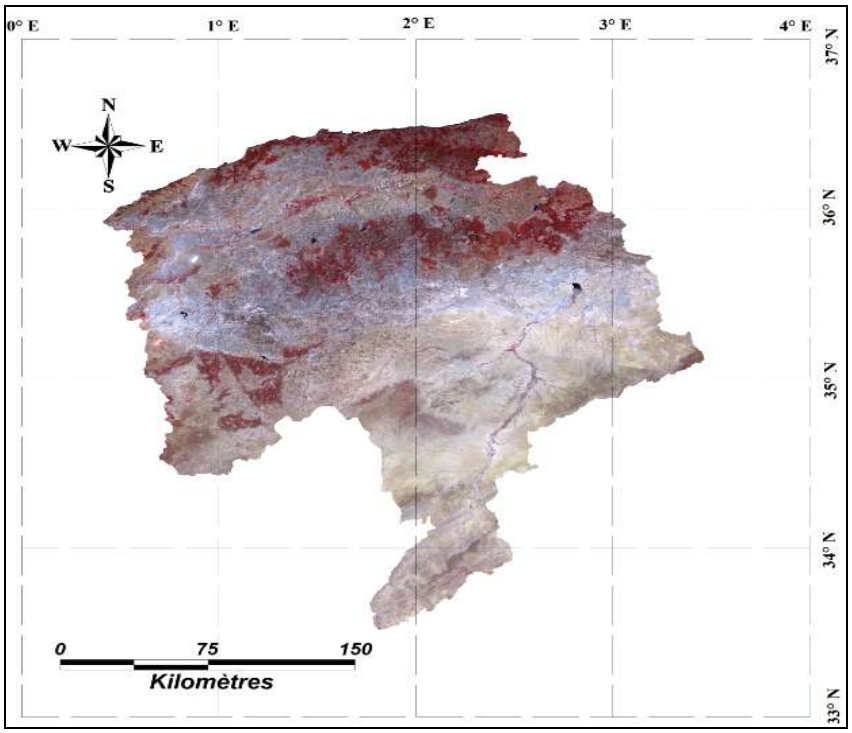


Figure N°46: Découpage de l'image Landsat TM 1987 du Bassin versant de Chéliff

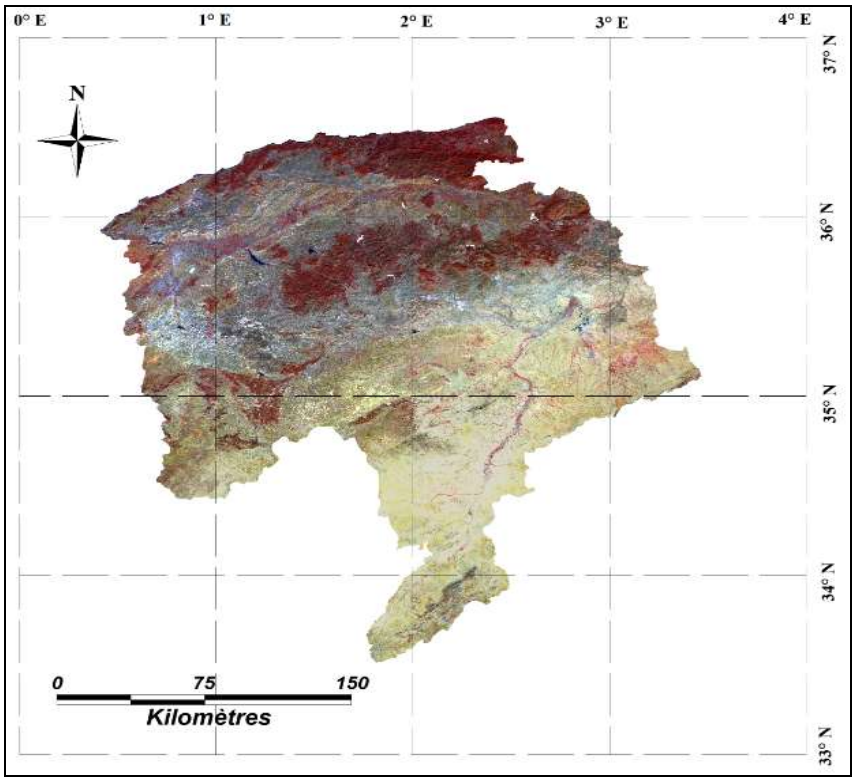


Figure N°47 : Découpage de l'image Landsat 8 2019 du Bassin versant de Chéliff

IV.6 Classification des images satellitales multi dates

Afin d'établir les cartes d'occupation du sol du bassin versant de Chéliff, nous avons réalisé une classification supervisée de l'image satellite Landsat 8 prise en Octobre 2019 et une image satellite TM5 prise en juillet 1987, la classification d'une image de télédétection consiste à une reconnaissance automatique des réflectances. Le principe de cette dernière c'est que l'utilisateur va guider l'ordinateur en lui fournissant des informations d'ordre spatial. Ce type de classification nécessite donc un minimum de connaissances sur la zone d'étude. Ce type de traitement donne des résultats souvent bien faibles.

IV.6.1 Étapes de la classification supervisée de l'image prise en 1987

IV.6.1.1 Application du masque de la zone urbain et de la zone incendiée

La réalisation d'une classification avec la classe du tissu urbain donne des risques de confusion entre l'urbain et le sol nu et la zone incendiée donne des risques de confusion entre la zone incendiée et l'eau, donc afin d'éviter cette confusion, nous avons délimité le tissu urbain et la zone incendiées et nous avons masqué ou caché les parties délimitées.

IV.6.1.2 Sélection des échantillons d'apprentissage

Le croisement entre la carte thématique en particulier, la carte d'occupation de sol(carte de l'occupation du sol des wilayas du Nord 2009) et de résultats issus de l'interprétation visuelle de l'image satellitaire a permis de dresser une légende exhaustive de différentes classes dont nous avons sélectionné, ceci nous a permis la définition d'une légende qui englobe l'ensemble de classes suivantes:

- Forêt
- Agriculture
- Jachère
- Sol nu 1
- Sol nu 2
- Sol nu 3
- Accumulation sableuses

- Plan d'eau

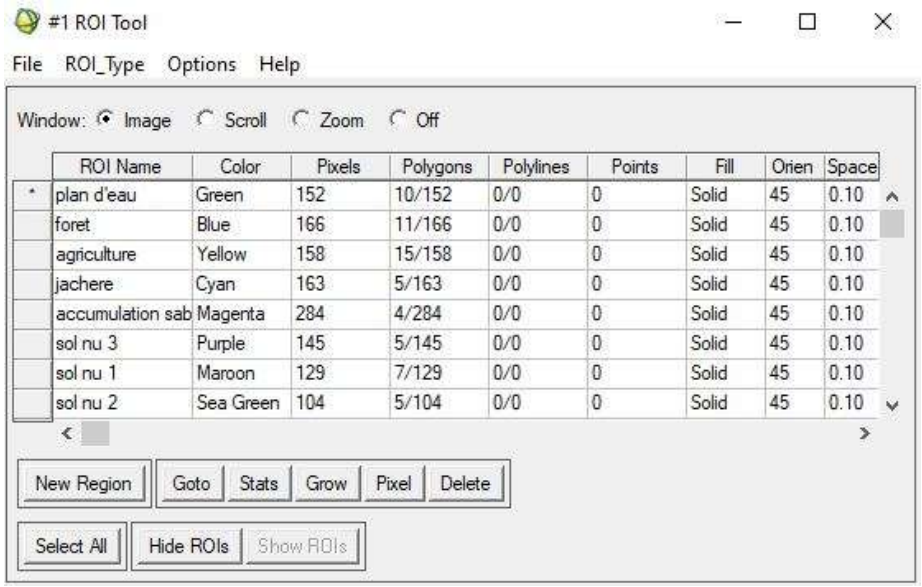


Figure N°48 : Thèmes des échantillons d'apprentissage 1987

IV.6.1.3 Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage

La réalisation de la classification des images nécessite la mesure de la séparabilité entre les différentes classes identifiées, ce calcul de la distance spectrale interclasses fournit des statistiques qui varient entre 0 et 2.

- < x < 1.0 (séparabilité très faible, 0 implique une confusion totale entre deux classes).
- < x < 1.9 (séparabilité faible).
- 1.9 < x < 2.0 (bonne séparabilité, 2 séparabilité parfaite avec aucun risque de confusion).

Une classe dont la séparabilité par rapport à un autre est faible doit être soit confondue avec celle-ci ou soit redéfinie. Dans notre cas et pour les échantillons d'apprentissage nous avons calculé la séparabilité entre les classes, nous avons trouvé que les valeurs de séparabilité varient entre 1.80 et 2 **(Figure n°48)**. En examinant tous les résultats, on à une bonne séparabilité dans l'ensemble, on peut conclure que la classification sera bien faite.

```
Pair Separation (least to most):

sol nu 1 [Maroon] 129 points and sol nu 2 [Sea Green] 104 points - 0.00000000
sol nu 3 [Purple] 145 points and sol nu 1 [Maroon] 129 points - 0.00000000
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 1 [Maroon] 129 points - 0.00000000
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 1 [Maroon] 129 points - 0.00000000
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 1 [Maroon] 129 points - 0.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 1 [Maroon] 129 points - 0.00000000
foret [Blue] 166 points and sol nu 1 [Maroon] 129 points - 0.00000000
foret [Blue] 166 points and agriculture [Yellow] 158 points - 1.80778042
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 2 [Sea Green] 104 points - 1.94116691
sol nu 3 [Purple] 145 points and sol nu 2 [Sea Green] 104 points - 1.97440793
foret [Blue] 166 points and sol nu 3 [Purple] 145 points - 1.98278197
foret [Blue] 166 points and sol nu 2 [Sea Green] 104 points - 1.99081933
foret [Blue] 166 points and jachere [Cyan] 163 points - 1.99669569
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 3 [Purple] 145 points - 1.99672392
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 2 [Sea Green] 104 points - 1.99965496
plan d'eau [Green] 152 points and foret [Blue] 166 points - 1.99967265
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 2 [Sea Green] 104 points - 1.99983387
plan d'eau [Green] 152 points and agriculture [Yellow] 158 points - 1.99996247
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 3 [Purple] 145 points - 1.99996568
plan d'eau [Green] 152 points and jachere [Cyan] 163 points - 1.99998480
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 3 [Purple] 145 points - 1.99998706
agriculture [Yellow] 158 points and jachere [Cyan] 163 points - 1.99999596
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 3 [Purple] 145 points - 1.99999998
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 2 [Sea Green] 104 points - 2.00000000
foret [Blue] 166 points and accumulation sableause [Magenta] 284 points - 2.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and accumulation sableause [Magenta] 284 points - 2.00000000
plan d'eau [Green] 152 points and accumulation sableause [Magenta] 284 points - 2.00000000
jachere [Cyan] 163 points and accumulation sableause [Magenta] 284 points - 2.00000000
```

Figure N°49 : Séparabilité entre les classes d'apprentissage 1987

IV.6.1.4 Algorithme de la classification

Pour notre classification, nous avons choisi l'algorithme de Maximum de vraisemblance (maximum likelihood) et ce pour les raisons suivantes :

- La distribution des pixels dans chaque classe suit une loi normale.
- La méthode calcule la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée.
- Le pixel sera affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus forte.
- Cette méthode classe tous les pixels sauf si on applique un seuil probabilité (en dessous duquel les pixels de très faibles probabilités ne seront pas classés).
- Elle présente l'avantage de minimiser les erreurs de la classification.

IV.6.1.5 Evaluation de la qualité de la Classification

Les échantillons de validation se font sur la base d'un échantillon de pixel vérifier sur le terrain, l'échantillonnage se fait sur l'ensemble de l'image. Pour notre cas, nous n'avons pas réalisé des sorties sur le terrain, nous avons identifié ces échantillons selon la carte d'occupation de sol (carte de l'occupation du sol des wilayas du Nord 2009) et sur la base de l'interprétation visuelle de l'image. La figure n°49 présente les échantillons de la validation de la classification.

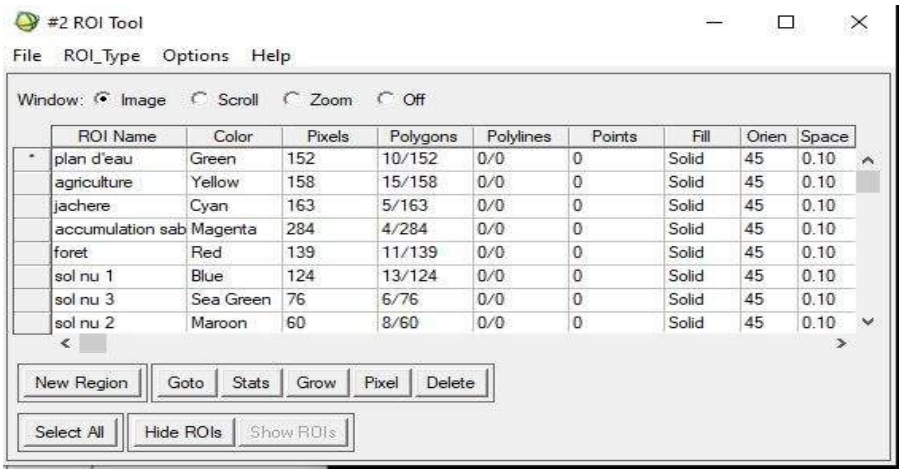


Figure N°50 : Thèmes des échantillons de validation

Il est nécessaire d'établir le calcul de la séparabilité entre les classes de validation. Dans l'ensemble on a une bonne séparabilité, jachère ont une parfaite séparabilité avec les accumulations sableuses et les plans d'eau (valeur égale à 2) et une bonne séparabilité avec le sol nu (valeur égale à 1.99). Une faible séparabilité entre la forêt et l'agriculture (valeur égale à 1.87) **(Figure N°51)**.

```
Pair Separation (least to most):

sol nu 1 [Blue] 124 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points = 0.00000000
sol nu 1 [Blue] 124 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points = 0.00000000
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 1 [Blue] 124 points = 0.00000000
foret [Red] 139 points and sol nu 1 [Blue] 124 points = 0.00000000
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 1 [Blue] 124 points = 0.00000000
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 1 [Blue] 124 points = 0.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 1 [Blue] 124 points = 0.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and foret [Red] 139 points = 1.87859296
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points = 1.98093064
foret [Red] 139 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points = 1.99067319
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points = 1.99700013
jachere [Cyan] 163 points and foret [Red] 139 points = 1.99842342
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points = 1.99915574
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points = 1.99964481
sol nu 3 [Sea Green] 76 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points = 1.99981481
plan d'eau [Green] 152 points and foret [Red] 139 points = 1.99991920
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points = 1.99992858
foret [Red] 139 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points = 1.99995851
plan d'eau [Green] 152 points and agriculture [Yellow] 158 points = 1.99996247
plan d'eau [Green] 152 points and jachere [Cyan] 163 points = 1.99998480
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points = 1.99999479
agriculture [Yellow] 158 points and jachere [Cyan] 163 points = 1.99999596
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points = 2.00000000
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points = 2.00000000
accumulation sableause [Magenta] 284 points and foret [Red] 139 points = 2.00000000
jachere [Cyan] 163 points and accumulation sableause [Magenta] 284 points = 2.00000000
plan d'eau [Green] 152 points and accumulation sableause [Magenta] 284 points = 2.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and accumulation sableause [Magenta] 284 points = 2.00000000
```

Figure N°51 : Séparabilité entre les classes de validation 1987

IV.6.1.6 Matrice de confusion

Pour évaluer notre classification, nous avons établi une matrice de confusion qui à parvenir à mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications. La matrice de confusion permet de confronter des échantillons de validation au résultat de la classification et d'évaluer la précision de la classification par rapport à la référence sur les

échantillons de validation. La matrice de confusion calculée représente une **précision globale** de 1128/1156 qui soit **97.57%** des pixels bien classés par rapport au total des pixels. Un coefficient **Kappa** égale à **0.9715**. Les thèmes représentés par les **diagonales** sont dotés par les pourcentages supérieurs à **72%.**

Tableau N°8: Matrice de confusion pour l'image classifiée de 1987

Classes	**Forêt**	**Agriculture**	**Jachère**	**Plan d'eau**	**Accumulations Sableuses**	**sol nu 1**	**sol nu 2**	**sol nu 3**	**User accuracy**	**Commision**
Forêt	99,28	0	0	0	0	0	0	1,32	99,28	0,72
Agriculture	0,72	100	0	0	0	0	0	0	99,37	0,63
Jachère	0	0	100	0	0	0	1,67	0	99,39	0,61
plan d'eau	0	0		100	0	0	0	0	100	0
Accumulation Sableuses	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0
sol nu 1	0	0	0	0	0	95,97	0	0	100	0
sol nu 2	0	0	0	0	0	4,03	98,33	26,32	70,24	29,76
sol nu 3	0	0	0	0	0	0	0	72,37	100	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100		
Producer accuracy	99,28	100	100	100	100	95,97	98,33	72,37		
Omission	0,72	0	0	0	0	4,03	1,67	27,63		
Précision globale	(1128/1156) 97,5779%									
coefficient Kappa	0,9715									

En dehors de la diagonale les pourcentages des pixels incorrectement classés sont dans majorité des valeurs nulles. Les maximums de confusions enregistrées sont :

- 0.72% de pixels mal classés correspondant à la confusion produite lors de la classification entre les forêts et l'agriculture.
- 4.3% entre Milieux à sol nu 1 et sol nu 2.
- 1.67% entre Milieux à sol nu 2 et sol nu 1.
- 1.32% entre sol nu 3 et les forêts.
- 26.32% entre sol nu 3 et sol nu 2.

Commission (l'erreur d'excédent) : correspond à l'affectation de pixels d'une classe calculée (échantillons d'apprentissage) à d'autres classes des données de référence (échantillons de validation), elle est calculée selon les lignes. Dans notre cas on constate que 0,61% des pixels de la classe « Jachère» ont été affectés à d'autres classes.

Omission (l'erreur de déficit) : correspond à l'affectation des pixels d'une classe de référence (échantillons de validation) à d'autres classes calculées (échantillons d'apprentissage). Elle est calculée selon les colonnes. Dans notre cas on constate que 27,63% des pixels issus de la classe «sol nu 3 » ont été affectés à d'autres classes.

Producer accuracy (précision pour le réalisateur): correspond au pourcentage de pixels issus des classes de référence bien classée dans les groupes d'affectations .elle est calculée selon les colonnes. D'après le tableau on peut dire que 96.99% des pixels issus de la classe « forêt» appartiennent bien à la classe «forêt» après la classification

User accuracy (la précision pour l'utilisateur) : représente le pourcentage de pixels bien classés (par rapport au nombre total de pixels de la classe).elle est calculée selon les lignes. D'après le tableau on peut dire que 99,28% des pixels issus de la classe « Forêt » sont bien réaffectés à la classe « Forêt » après la classification.

IV.6.1.7 Amélioration des rendus cartographiques des résultats

Les images classées présentent souvent un manque de cohérence spatiale (tâches ou trous dans les parcelles). Il est nécessaire d'appliquer un filtre qui permet de lisser ces images et d'améliorer le rendu cartographique en applique l'analyse majoritaire et minoritaire.

a. Analyse majoritaire et minoritaire

Le principe d'analyse majoritaire ou minoritaire est basé sur l'utilisation d'un filtre de taille variable, dans le cas d'une analyse majoritaire, le pixel central du filtre sera affecté à la classe la plus représentée (majoritaire) dans le filtre. Inversement, dans une analyse minoritaire, le pixel central sera affecté à la classe la moins représentée dans le filtre.

Enfin nous avons réalisé une carte d'occupation du sol du bassin versant de chéliff pour l'année 1987 (**Figure N°56**).

IV.6.2 Étapes de la classification supervise de l'image satellite Landsat 8 prise en 2019

IV.6.2.1 Application du masque du tissu urbain et des zones incendiées

Nous avons délimité le tissu urbain et les zones incendiées de l'année 2019 et nous avons masqué ou caché cette partie délimitée.

IV.6.2.2 Sélection des échantillons d'apprentissage

Le croisement entre la carte thématique en particulier, la carte d'occupation de sol(carte de l'occupation du sol des wilayas du Nord 2009) et de résultats issus de l'interprétation visuelle de l'image satellitaire nous a permis de dresser une légende exhaustive de différentes classes dont nous avons sélectionné, ceci nous a permis la définition d'une légende qui englobe l'ensemble de classes suivantes:

- Forêts
- Sol nu1
- Sol nu 2
- Agriculture
- Jachère
- Plan d'eau
- Accumulation sableuses

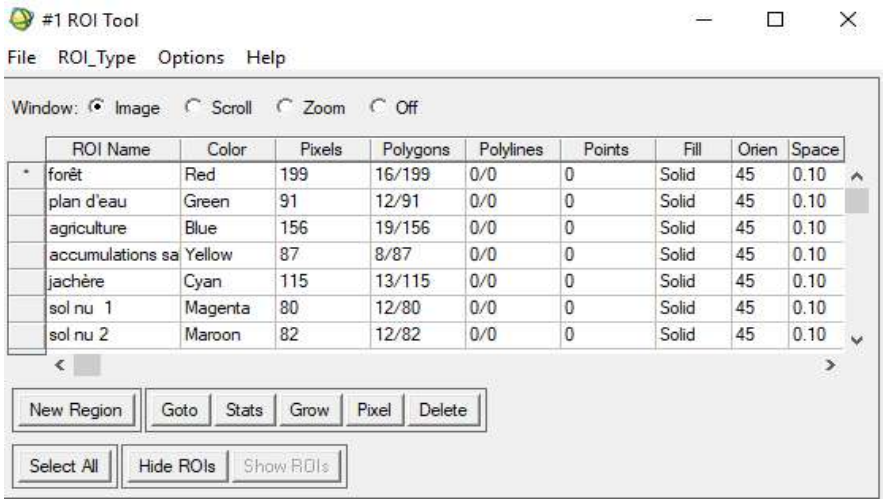


Figure N°52 : Thèmes des échantillons d'apprentissage 2019

IV.6.2.3 Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage

Nous avons évalué la séparabilité des classes d'apprentissage, nous avons calculé la séparabilité entre les classes, nous avons trouvé que les valeurs de séparabilité varient entre 1.75 et 2, donc une la faible séparabilité entre la forêt et l'agriculture (valeur égale à 1.75) et entre l'accumulation sableuse et les jachères (valeur égale à 1.85).L'accumulation sableuse a une séparabilité parfaite avec la forêt et l'agriculture, plan d'eau (valeur égale à 2), une bonne séparabilité entre plan d'eau et l'agriculture (valeur égale à 1.99).

En examinant tous les résultats, on a une bonne séparabilité dans l'ensemble, on peut conclure que la classification sera bien faite.

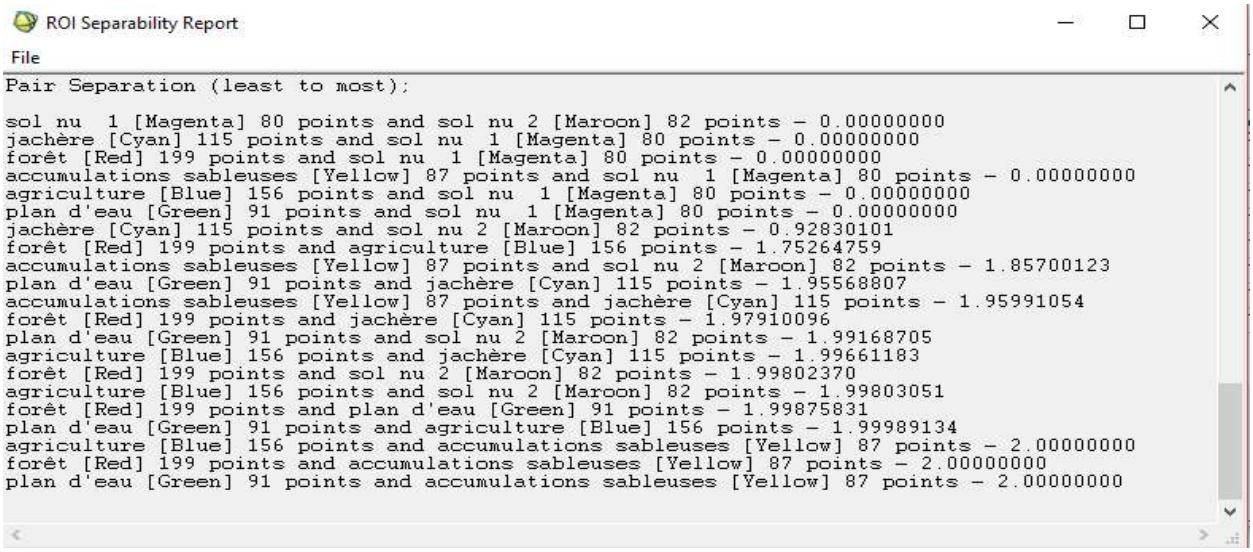


Figure N°53: Séparabilité entre les classes d'apprentissage 2019

IV.6.2.4 Evaluation de la qualité de la Classification

Nous avons évalué la qualité de la classification par la sélection des échantillons de validation. Dans notre cas, nous n'avons pas réalisé des sorties sur le terrain, nous avons identifié ces échantillons selon la reconnaissance du terrain et sur la base de l'interprétation visuelle de l'image et la carte de l'occupation du sol 2009.

Les échantillons de validation se font sur la base d'un échantillon de pixel vérifier sur le terrain, l'échantillonnage se fait sur l'ensemble de l'image.

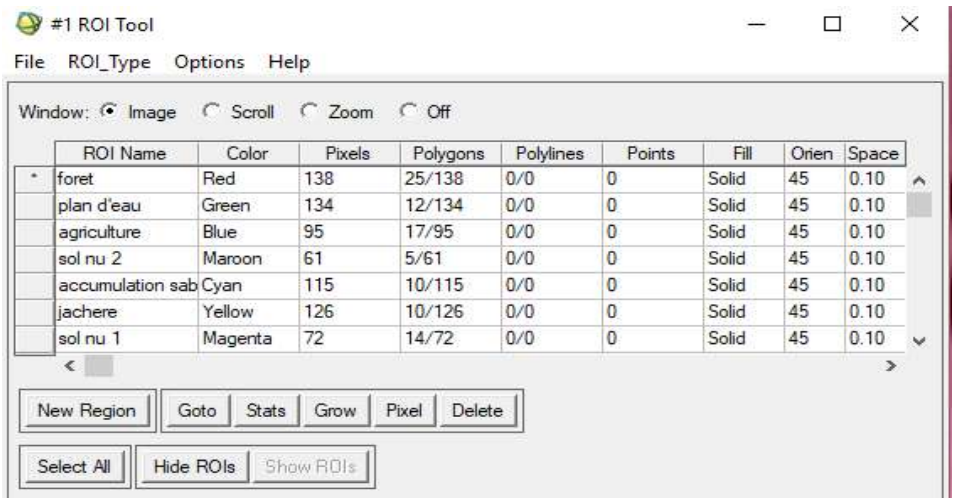


Figure N°54 : Thèmes des échantillons de validation2019

Il est nécessaire d'établir le calcul de la séparabilité entre les classes de validation. Dans l'ensemble on a une bonne séparabilité, accumulation sableuse a une parfaite séparabilité avec l'agriculture et forêt (valeur égale à 2) et une bonne séparabilité avec les jachères (valeurs égales 1.9). Une faible séparabilité entre la forêt et l'agriculture(valeurs égales 1.88).

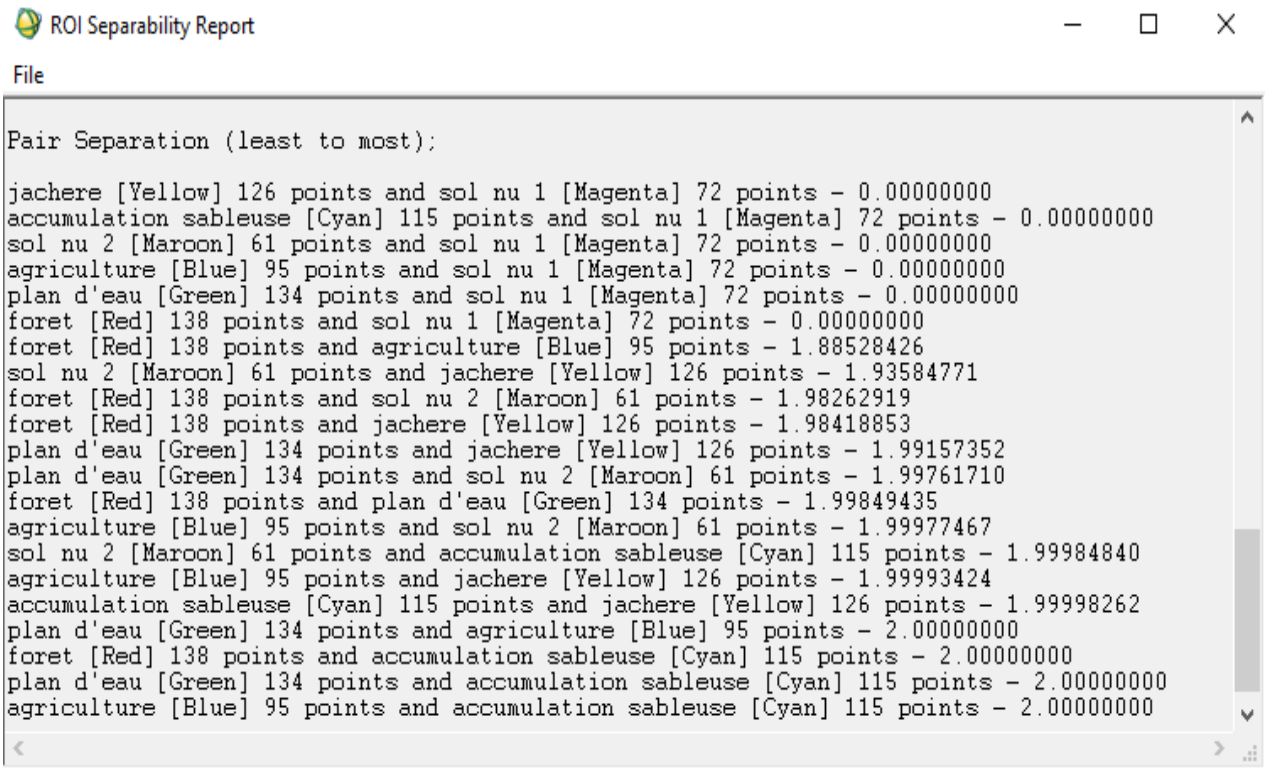


Figure N°55 : séparabilité entre les classes de validation2019

IV.6.2.5 La matrice de confusion

Pour évaluer notre classification, nous avons établi une matrice de confusion qui à parvenir à mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications. La matrice de confusion calculée représente une **précision globale** de 725/741 qui soit 97,8408% de pixels bien classés par rapport au total des pixels et un coefficient **Kappa** égale à **0.97.**Les thèmes représentés par les **diagonales** sont dotés par les pourcentages supérieurs à **90%.**

Tableau N°9: Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2019

Classes	Forêt	Agriculture	Jachère	plan d'eau	Accumulations sableuses	sol nu 1	sol nu 2	User accuracy	Commission
Forêt	94,44	3,16	0	0	0	0	0	97,76	2,24
Agriculture	5,07	96,84	0	0	0	0	0	92,93	7,07
Jachère	0	0	98,41	0	0	0	0	100	0
Plan d'eau	0	0	0	100	0	0	0	100	0
Accumulation sableuses	0	0	0	0	100	0	0	100	0
sol nu 1	0	0	0	0	0	94,44	0	100	0
sol nu 2	0	0	1,59	0	0	5,56	100	91,04	8,96
Total	100	100	100	100	100	100	100		
Producer accuracy	94,93	96,84	98,41	100	100	94,44	100		
Omission	5,07	3,16	1,59	0	0	5,56	0		
Précisionglobale	(725/741) 97,8408%								
coefficient Kappa	0,9745								

En dehors de la diagonale les pourcentages des pixels incorrectement classés sont dans la majorité des valeurs nulles. Les maximums de confusions enregistrées sont :

- 5.07% des pixels mal classés correspondant à la confusion produite lors de la classification entre les forêts et l'agriculture.
- 3.16% entre Milieux agriculture et les forêts.
- 1.59% entre Milieux jachère et sol nu 2.

- 5.56% entre sol nu 1 et sol nu 2.

Commission (l'erreur d'excédent) : Dans notre cas on constate 2.24% des pixels de la classe « foret» et 7.07% des pixels de la classe « agriculture »et 8.96% des pixels de la classe « sol nu 2»

Omission (l'erreur de déficit) : Elle est calculée selon les colonnes. Dans notre cas on constate que 5.56% des pixels issus de la classe «sol nu 1» ont été affectés à d'autres classes.

Producer accuracy (précision pour le réalisateur):D'après le tableau on peut dire que 98.41% des pixels issus de la classe « jachère» appartiennent bien à la classe «jachère» après la classification

User accuracy (la précision pour l'utilisateur):.D'après le tableau on peut dire que 97.76% des pixels issus de la classe « forêt » sont bien réaffectés à la classe « forêt » après la classification. Les images classées présentent souvent un manque de cohérence spatiale (tâches ou trous dans les parcelles). Il est nécessaire d'appliquer un filtre qui permet de lisser ces images et d'améliorer le rendu cartographique en applique l'analyse majoritaire et minoritaire.

Et enfin nous avons réalisé une carte d'occupation du sol du bassin versant de Chéliff pour l'année 2019 (**Figure N°57**).

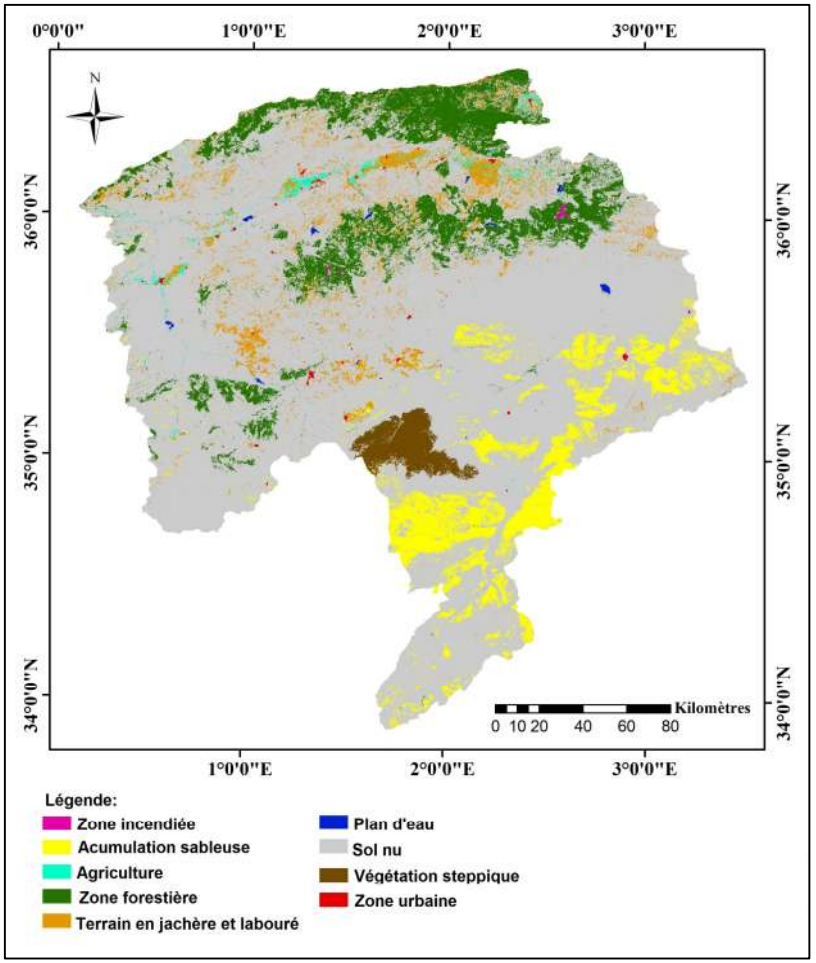


Figure N°56 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de Chéliff en 1987

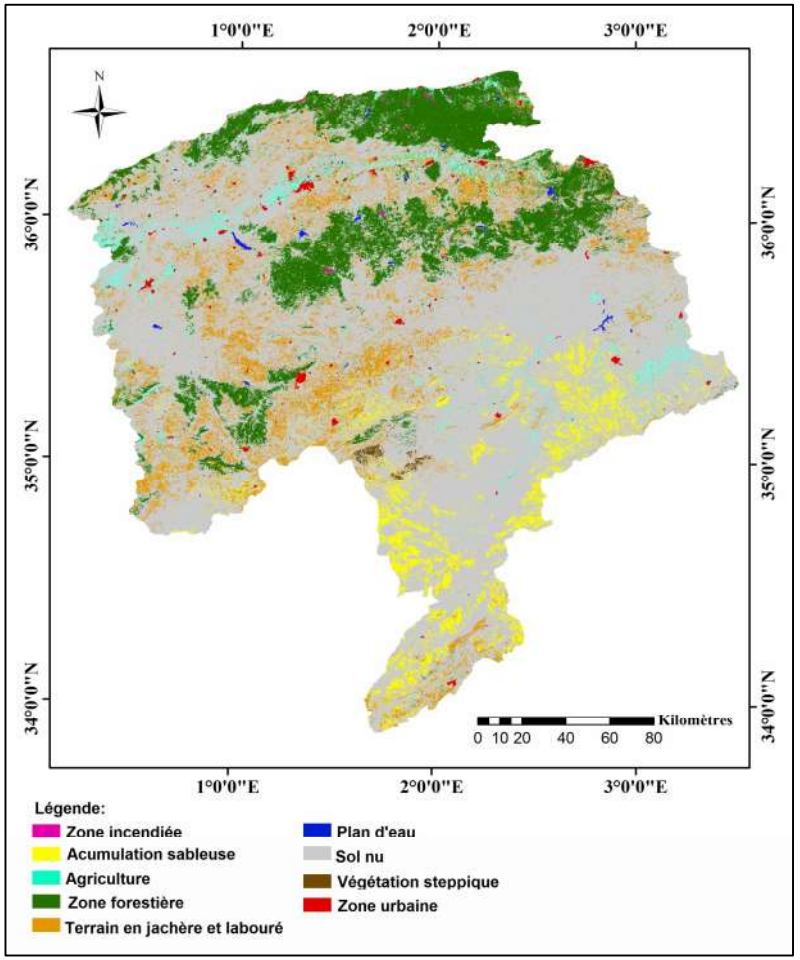


Figure N°57 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de Chéliff en 2019

IV.6.3 Résultat de la classification supervisée des images satellites

Nous avons calculé les superficies de différentes classes d'occupation du sol pour les deux années d'étude (1987-2019) du bassin versant de Chéliff (**Tableau N°9**).

Tableau N°10: Statistiques des différents thèmes d'occupation du sol de bassin versant du Chéliff.

Types d'occupations	Superficie en 1987		Superficie en 2019	
	Km^2	%	Km^2	%
Zone forestière	5156,93	10,82	6926,45	14,53
Agriculture	367,42	0,78	1735,18	3,64
Plan d'eau	68,38	0,15	100,26	0,22
Sol nu	35716,55	74,93	30910,73	64,85
Terrain en jachère et labouré	1819,28	3,81	4841,98	10,16
Zone incendiée	41,11	0,08	385,91	0,8
Accumulation sableuse	3532,33	7,41	2317,86	4,86
Zone urbaine	105,75	0,22	367,02	0,77
Végétation steppique	857,09	1,8	79,45	0,17
Total	47664.84	100	47664.84	100

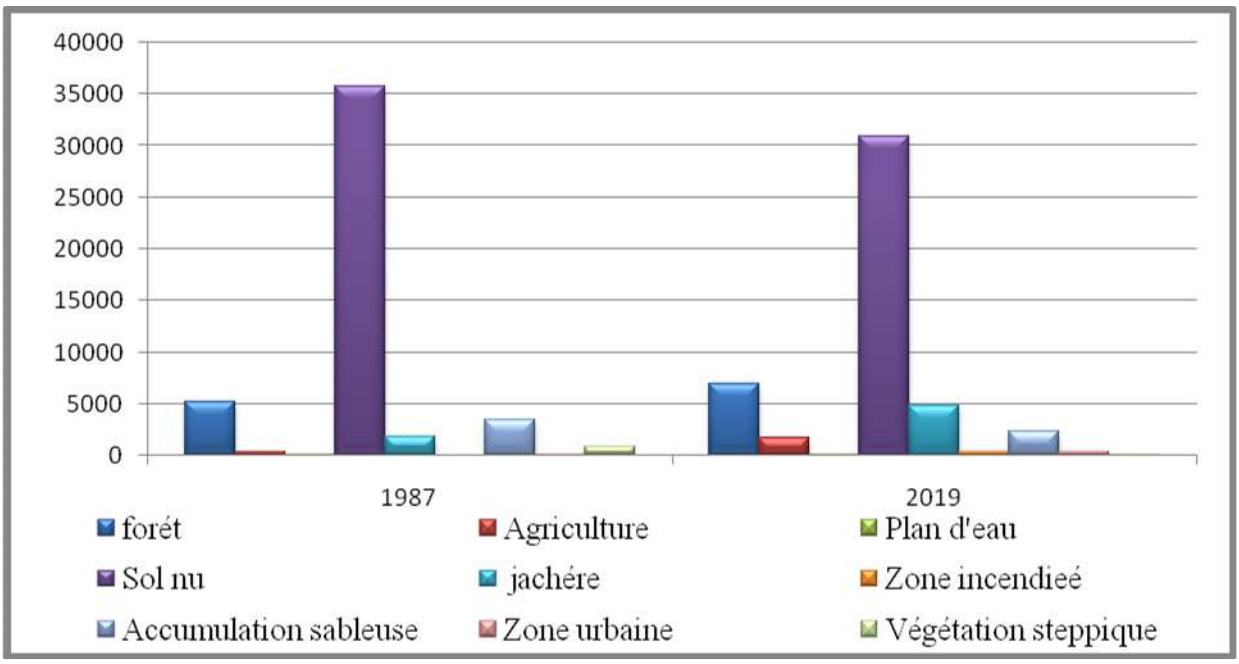


Figure N°58 : Superficies des différentes classes de l'occupation de sols

Le **Tableau N°10** montre les changements et l'évolution (temporelle et spatiale) de l'occupation du sol de la zone d'étude pour une période de 32 ans (1987-2019). On note ici que la superficie totale du territoire étudié est de 47 664 km^2. D'après les résultats obtenus les surfaces d'occupation des sols de 1987 montrent une dominance spatiale des sols nus qui possède une grande proportion 74% de la surface totale du bassin versant avec une superficie plus de 35 716 km^2 En parallèle, les surfaces de 1987 montrent une couverture végétale appréciable la zone forestière est installée sur une superficie importante plus de 5156 km^2. L'agriculture représentait 272 km^2, Terrain en jachère et labouré occupaient une superficie de 1819 km^2 et l'accumulation sableuse occupait 3532 km^2 soit 7% du terroir. La végétation steppique occupe environ 857 km^2 de la superficie de la région urbaine 105 km^2 due principalement aux installations des villes et villages et la croissance démographique et l'exode rural et la réalisation et l'installation des logements, des usines ainsi que les constructions illicites et l'eau 68 km^2 et la superficie la plus faible dans les classes de l'occupation du sol et celle des incendies 41 km^2 En 2019, on remarque une amélioration et une augmentation importante de la superficie végétale précisément l'agriculture et les Terrain en jachère et terrain labouré beaucoup plus dans le Nord. Cette amélioration est probablement due à l'augmentation des activités agricoles dans cette région et une diminution des sols nus au niveau du bassin et beaucoup plus dans le Sud. La végétation steppique a connu une

dégradation importante 79 km^2 a causse probablement a plusieurs paramètres premièrement la sécheresse qu'a connue la région dans les dernières décennies combinée a des mutations d'origines anthropiques y compris l'évolution et l'extension du tissu urbain et le stress hydrique prolongé, conjugué aux pratiques d'élevages extensifs. L'année 2019 a connu un changement ou niveaux de l'eau augmente par un pourcentage de 0.22%.et on remarque une forte augmentation dans l'urbain et les incendies et les zones forestières en revanche on remarque une régression de 4 % dans les accumulations sableuses.

IV.6.3.1 Changements de l'occupation du sol en 1987 et 2019

Nous avons fait des cartes de changement de l'occupation de sol pour les classes suivantes (agriculture, forêt et plan d'eau) entre les deux années (1987-2019) du bassin versant de Chéliff.

- D'après la carte des changements de la classe agriculture **(Figure N°59)**, nous avons remarqué qu'il existe un important développement dans le secteur agricole pour l'année 2019 par apport à l'année 1987, une augmentation de 1367.76 Km^2.
- D'après cette carte des changements de la classe forêt (**Figure N°60**), nous avons remarqué qu'il y a un développement important de l'espace forestier entre l'année 1987 et l'année 2019 avec une augmentation de 1769.52 Km^2.
- La zone d'étude a connu durant une période de 32 ans une construction considérable des barrages et retenues collinaires (plans d'eau). Nous avons constaté une augmentation de 31.88 Km^2 des plans d'eau **(Figure N°61).**

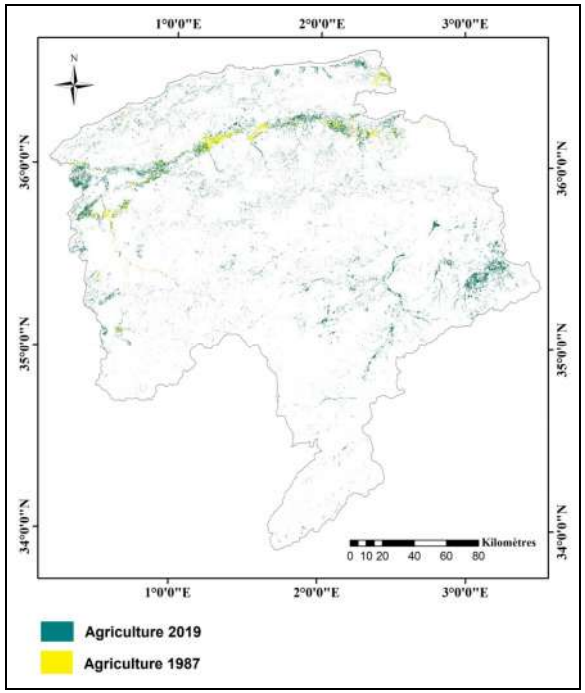


Figure N°59 : Carte de changement de la classe agriculture du bassin versant Chéliff (1987 -2019)

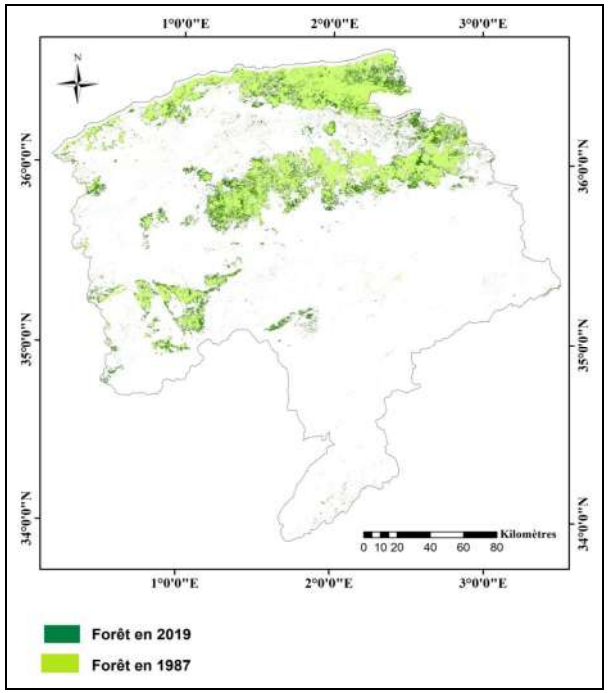


Figure N°60: Carte des changements de la forêt du bassin versant Chéliff (1987 -2019)

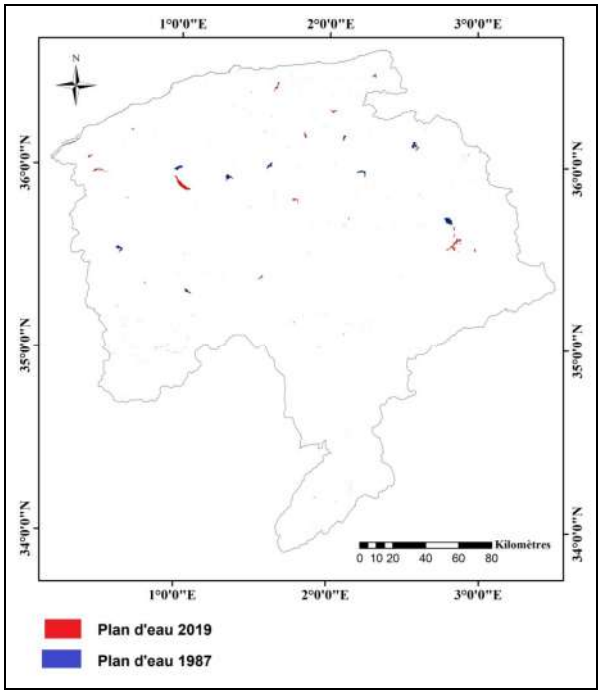


Figure N°61 : Carte des changements des plans d'eau du bassin versant Chéliff (1987 -2019)

IV.7 Classification non supervisée

Après le traitement des images nous avons procédé à la classification dite non supervisée sans l'intervention de la réalité de terrain. Elle se base sur l'arrangement des pixels selon des valeurs radiométrique homogènes. Le tableau suivant représente les superficies des unités d'occupation du sol regroupant 6 classes ayant des caractéristiques spectrales différentes.

Tableau N°11: Superficies des différentes classes de l'occupation de sols

Types d'occupations	Superficie en 1987		Superficie en 2019	
	Km^2	%	Km^2	%
Forêt	6388,69	13,4	4298,96	9,02
Agriculture	2099,32	4,4	7438,68	15,6
Eau	196,71	0,42	171,51	0,36
Sol nu	22346,57	46,89	14083,43	29,55
Jachère	6150,97	12,9	4164,39	8,74
Sable+sol nu	10482,58	21,99	17507,87	36,73
Total	47664.84	100	47664.84	100

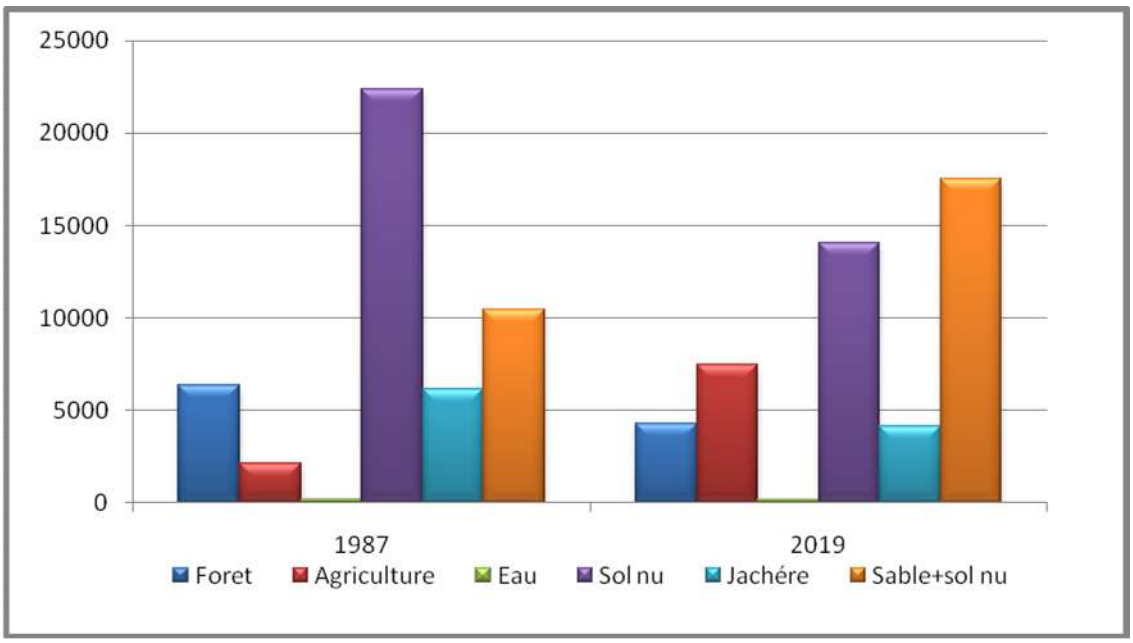


Figure N°62 : Superficies des différentes classes de l'occupation de sols

. D'après le **Tableau N °11** La superficie totale du territoire étudié est de 47 664.84 Km^2. La carte d'occupation des sols de 1987 montre une couverture végétale appréciable. La forêt occupait 6388,69 km^2soit13, 4 % du terroir. L'agriculture représentait 2099,32 km^2 et les sols nus atteignant les 22346,57 km^2. la superficie de l'eau 196,71 km^2et les jachères sont installée sur une superficie de 6150,97 km^2, sol nu +sable occupe environ 10482,58 km^2de la superficie de la région d'étude En 2019, les zones de couverture végétale se sont rétrécies (foret et jachères). La forêt est réduite et les surfaces ne sont plus que 4298,96 km^2soit 9,02% du territoire soit une perte de plus de 4%. Les jachères réduite devenu 4164,39 km^2. Les sols nus ont atteint 14083,43 km^2soit 29,55% de l'ensemble de la superficie du terroir avec une perte de près de 17 % par rapport à 1987.Une augmentation de l'agriculture 7438,68 km^2 soit 15,6%, on remarque aussi une amélioration de la superficie du sable et sol nu de 17507,87 km^2.

La page suivante représente les cartes de la classification non supervisée du bassin versant de Chéliff, respectivement en 1987, 2019 (**Figure N°63, Figure N°64)**.

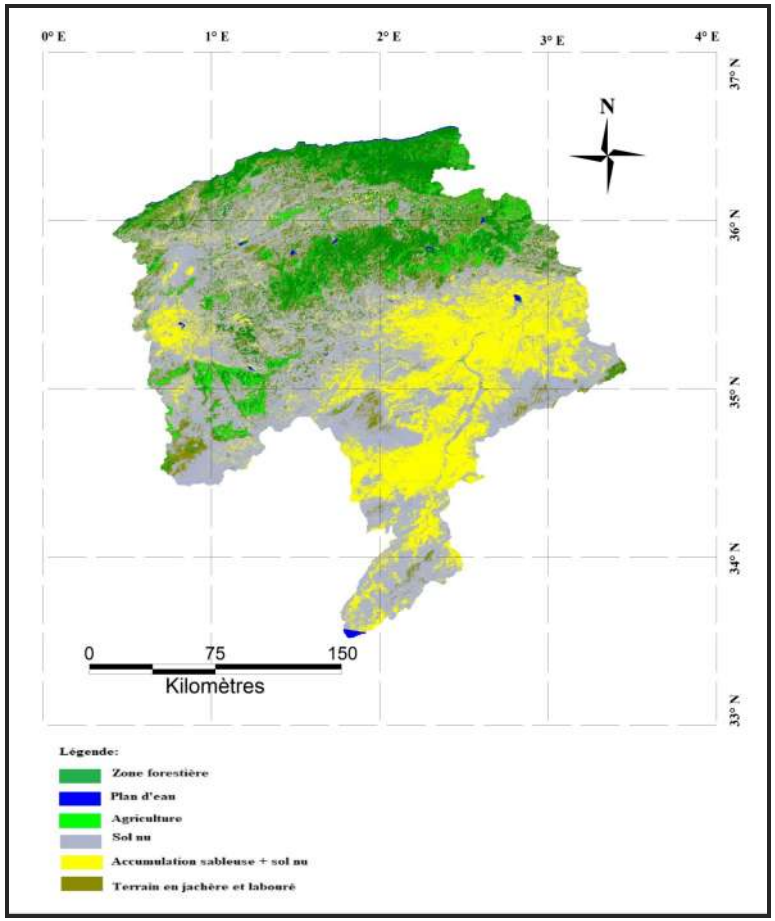


Figure N°63: Classification non supervisée du bassin versant Chéliff 1987

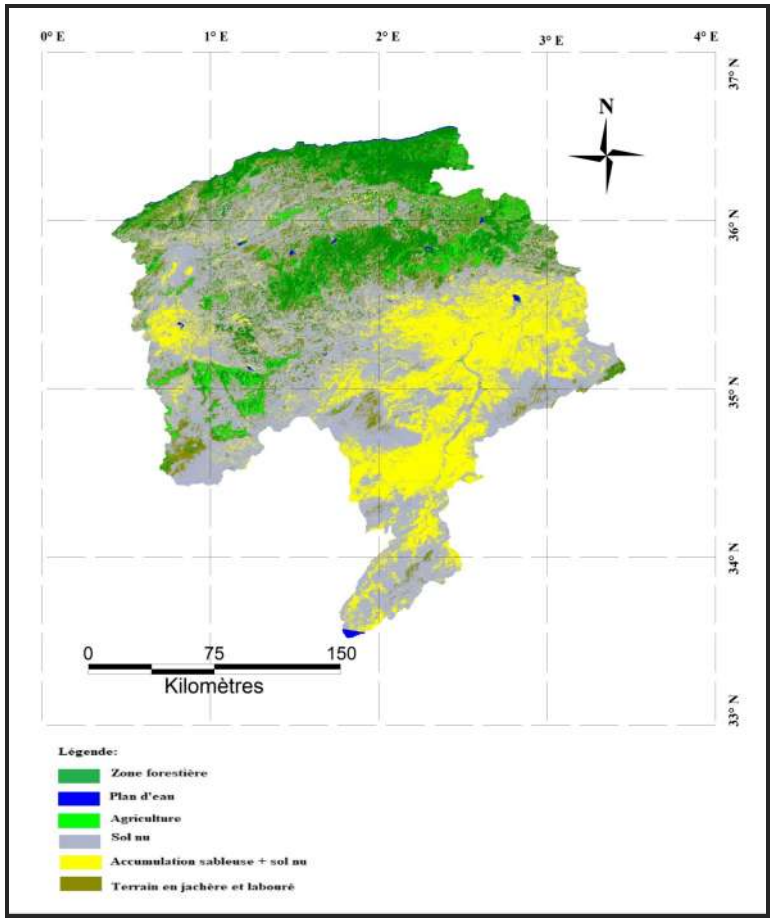


Figure N°64 : Classification non supervisée du bassin versant Chéliff 2019

IV.8 Evaluation des changements de la biomasse végétale entre 1987 et 2019

Nous avons réalisé la carte de la densité de la végétation à partir de l'image satellitaire Landsat TM5 prise en juillet 1987et l'image satellitaire Landsat 8 prise en October 2019 à l'aide du logiciel ENVI 4.8, tout en appliquant Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), c'est l'un des indices les plus utilisés pour estimer le taux de recouvrement et l'identification de l'état du couvert végétal. Les fortes valeurs du NDVI indiquent une végétation active et saine, tandis que la diminution et la baisse de ces valeurs signifient une régression et même une absence totale de la couverture végétale. La réponse spectrale d'un couvert végétal dense est forte dans les longueurs d'ondes proches infrarouges (rôle de l'activité chlorophyllienne) et faible dans les longueurs d'ondes rouges ou la réponse d'un couvert végétal clairsemé (rôle des minéraux). L'INDVI permet de rendre compte ces deux phénomènes sur la même image selon la formule suivante :

$$NDVI=PIR-R/PIR+R$$

R: le canal rouge=Band 4.

PIR : le canal proche-infrarouge = Band 5.

La classification du NDVI facilite la visualisation des changements, on a donné pour toutes les images des classes bien distinctes et chaque classe exprime une réalité de terrain comme le mentionne le tableau suivant :

Tableau N°12: les classes du NDVI

Classes	**NDVI**	**Réalité**
Absence de couvert végétal	–0.92 < NDVI <-0.15	Sol nu
Faible couvert végétal	–0.15< NDVI < 0.05	Jachère
Moyen couvert végétal	0.05 < NDVI < 0.35	Agriculture
Fort couvert végétal	0.35 < NDVI < 0.8	Forêt

Le seuillage de l'indice (NDVI) 1987 et 2019 a permet de ressortir des cartes de la biomasse végétale multi date (**Figure N°65 et N°66**) afin d'évaluer les changements de cette biomasse durant une période de 32 ans.

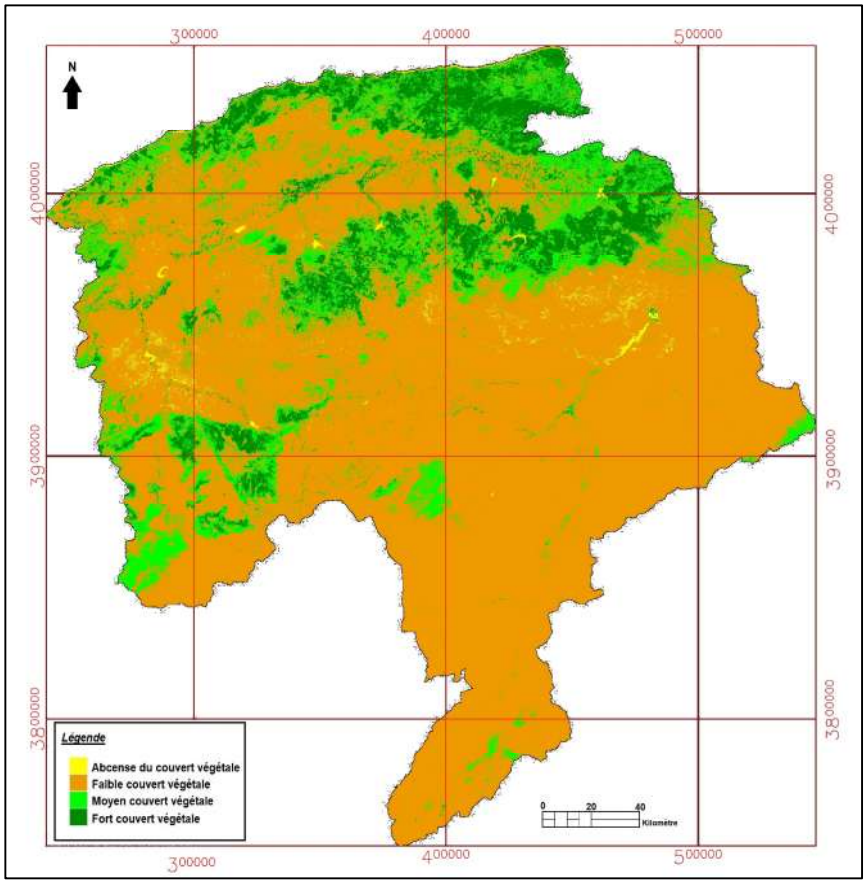


Figure N°65 : Carte de la densité de la biomasse végétale à partir de l' NDVI du bassin versant Chéliff (1987)

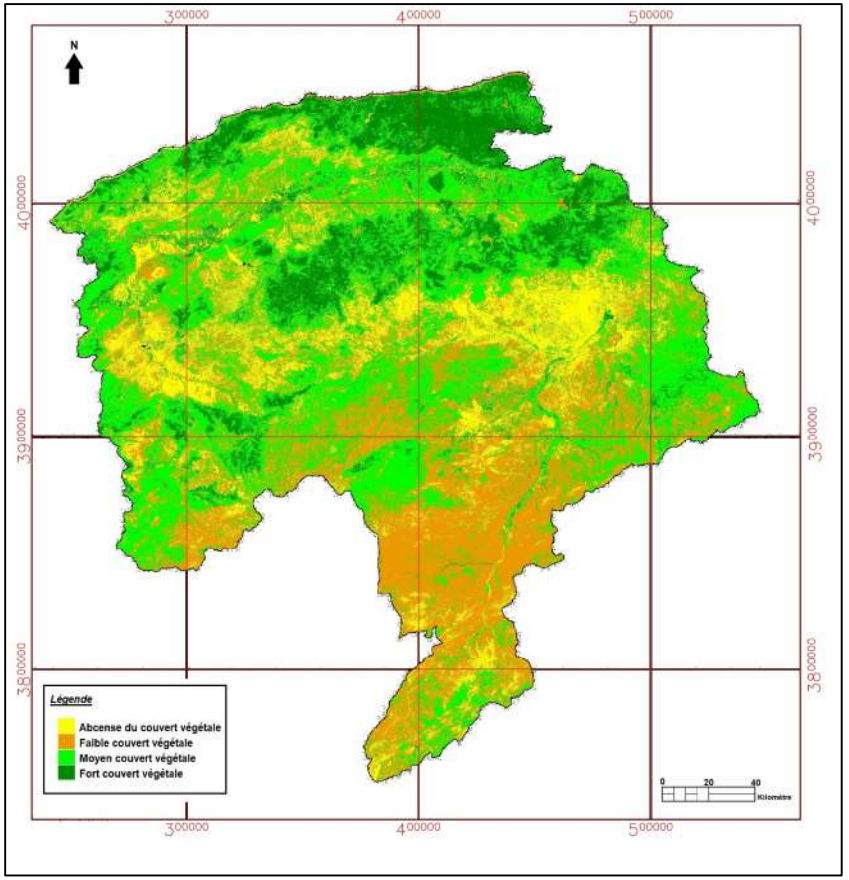


Figure N°66 : Carte de la densité de la biomasse végétale à partir de l' NDVI du bassin versant Chéliff (2019)

Tableau N°13: Superficies de la densité de la biomasse végétale du bassin versant de Chéliff (1987-2019)

Densité	Superficie en 1987		Superficie en 2019	
	Km²	**%**	**Km²**	**%**
Forte	5034,51	10,6	7105,99	14,91
Moyenne	6684,8	14,02	18741,51	39,32
Faible	35488,23	74,42	15266,69	32,03
Absence	457,3	0,96	6550,65	13,74
Total	47664,84	100	47664,84	100

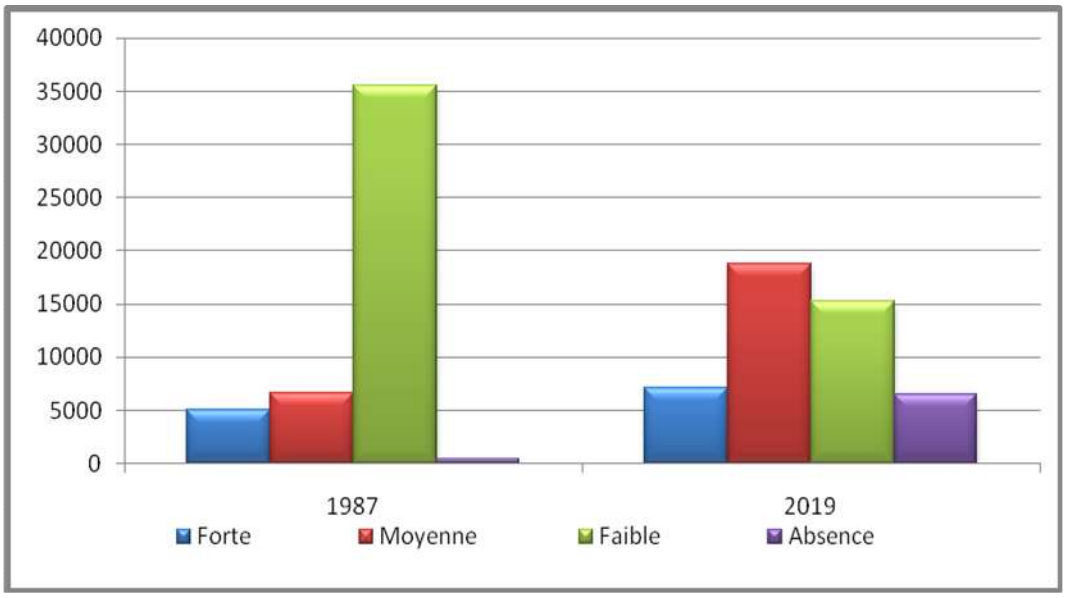


Figure N°67 : Superficies des différentes classes de NDVI

. Le **Tableau N°13** montre les statistiques de changement des classes de NDVI(1987-2019), La valeur NDVI a diminué de 1987 à 2019 pour la végétation faible (Terrain en

jachère et labouré) qui a été réduit de 74.42 à 32.03% et la végétation moyenne (les terres agricoles) qui a augmenté de 14.02% à 39.32%, la valeur NDVI qui indique absence de couvert végétale(les sols nus) a augmenté de fréquence de 0.96%à13.74% dernièrement la classe de végétation dense ou forte (Zone forestière) a augmenté de 10.6%à 14.91% pour mieux comprendre on a réalisé la cartographie de NDVI pour chaque année en fonction des différentes classes.

IV.9 Discussion générale

L'occupation du sol a connu des variations importantes entre les différentes dates de 1987 à 2019, le couvert végétal (l'agriculture les forêts et les jachères) a connu une augmentation importante du probablement des reboisements dans le Nord et la végétation steppique a connue des dégradations due premièrement la sécheresse que le bassin a connu dans les dernières décennies combiné a des mutations d'origine anthropique et le stress hydrique prolongé, conjugué aux pratiques d'élevage extensif. Il y a une accélération remarquable de l'urbanisation. La région d'étude en 2019 devenue riche en ressource d'eau.

Conclusion générale

Notre travail a pour objectif d'étudier les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de Chéliff en utilisant des données de télédétection par l'utilisation des images satellitaires multi datés de type LANDSAT(TM5 et OL8) prisent en différentes années (1987 ,2019) D'une Part d'étudier les variations du couvert végétal et identifier les zones de dégradations par comparaison des indices de végétation normalisés (NDVI)et d'autre part ,d'étudier la dynamique de la végétation à partir d'une classification supervisée et non supervisée des images satellitaires, Nous avons fait tous les traitements possibles pour arriver à deux cartes d'occupation du sol pour les deux images LANDSAT puis comparer l'occupation du sol et faire ressortir des différences dans chacune des classes de végétation .Ces analyses (dégradations ou évolutions)ont été menées à partir d'interprétations visuelles et une carte d'occupation du sol (2009)et des traitements numériques appropriés .

Le bassin versant de Chéliff Située au centre Ouest de l'Algérie du Nord, Il est limité au Nord par la Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Oranais, au Sud par les hautes plaines et à l'Est par le bassin algérois., il s'étend sur plusieurs wilayas à travers sa topographie, recélé différents classes d'occupation du sol .la qualité d'information et les résultats obtenus sur une éventuel régression ou progression de l'occupation du sol sur les 39 ans .va qualifier l'apport de cet outil qui est la télédétection dans le domaine de suivi diachronique de la végétation.

L'analyse des données climatique sur une période de 35ans nous a permis de confirmer les caractéristiques générales du climat de notre région d'étude ; il s'agit pour celle –ci un climat méditerranéen de type semi-aride à aride est mis en évidence, avec un hiver pluvieux et un été sec.

Nous sommes arrivées au bon control du processus de classification et nous avons eu des résultats convenables. Les résultats montrent que L'occupation du sol a connu des variations importantes entre les différentes dates de 1987 à 2019, le couvert végétal (l'agriculture les forêts et les jachères) a connu une augmentation importante et la végétation steppique a connue des dégradations. Il y a une accélération remarquable de l'urbanisation. La région d'étude en 2019 devenu riche en ressource d'eau et la classification supervisée donne des résultats plus précise que la classification non supervisée, C'est une amélioration

significative des résultats qui ont été obtenue par rapport à l'utilisation des méthodes de classification traditionnelle, Les précisions globales obtenues sont de 97 % (1987-2019). La validation des résultats par matrice de confusion ainsi que les données recueillies; nous permet de dire que nos résultats sont plus au moins bons malgré les difficultés rencontrés dans le travail de télédétection (utilisation des mois différent), le manque de données. Donc la télédétection reste l'outil le plus utilisé et le plus efficace dans l'étude de l'évolution spatiotemporelle de l'occupation du sol, car l'image satellitaires couvre des milliers d'hectares et les traitements informatique rendent la tâche plus facile et plus précise.

Cependant, par rapport à une région où l'occupation du sol est complexe et entremêlée comme celle de la zone d'étude, les images de résolution spatiale grossière (30 m) montrent quelques limites. Avec cette résolution spatiale, certaines classes n'ont pas été bien discriminées, la confusion est inévitable. Il reste a affiné cette technique par l'utilisation d'image porteuses d'avantage d'information, les images de l'hyper spectral vont palier la confusion d'interprétation et de différenciation entre les classes.

Enfin, cette étude offre des perspectives très encourageantes pour des travaux plus orientés vers le développement de systèmes automatisés de gestion intégrée et d'outils pour mieux évaluer les impacts des changements de l'occupation du sol du bassin versant Chéliff .

Références bibliographiques

ABDELBAKI. A, 2012. Utilisation des SUG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant de oued Bouguedfine (Wilaya de chelf). mémoire de magister : Écopédologie , Eau et Environnement : Faculté des Sciences, Université Hassiba BEN BOUALI CHELF, 50-54pp.

AISSAOUI. A et MESSAOUDI. N, 2015. Caractéristique temporelle de régime pluviométrique de la plaine du Moyen Cheliff

Agence du Bassin Hydrographique Chéliff Zahrez (2004), « Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Chéliff Aval du barrage de Boughzoul, Haut et Moyen Chéliff »

Agence du Bassin Hydrographique Chéliff Zahrez (2004). «Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Chéliff aval du barrage de Boughzoul (Bas Chéliff et Mina) »

BANTON. O et BANGOY. LM, 1997. Hydrogéologie, Presses de l'Université du Québec, Canada, 460 p.

BANNARI et *al*, 1995. Spectrales et géomorphométriques dans un SIG pour la cartographie des aires exposées à l'érosion. Revue Télédétection, vol 7(N° 1-2-3-4), 327-342p.

BELKAOUSSA. Z, 2017. Etude spatio temporelle de l'occupation du sol par la méthode de la classification orientée objet au moyen de l'ENVI 5.1 cas du bassin versant de l'Oued Kramis région de Mostaganem. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2p.

BENTOUNSI. M, 2017. Etude diachronique par télédétection de la dégradation des Ghots et l'extension des cultures irriguées dans la wilaya d'El Oued. Mémoire de master : Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université des Frères Mentouri Constantine, 9p.

BERNE. A, 2002. Précipitations méditerranéennes intenses en milieu urbain : interprétation physique et analyse statistique de mesures à fines échelles spatio-temporelles, impact de la variabilité spatiale sur la réponse de bassins versants. Université Joseph Fourier.

BONN. F, 1996. Précis de télédétection. Vol (N°2) : Applications thématiques. Presses de l'Université du Québec et l'AUPELF, Sainte-Foy et Montréal, 633 p.

BOUHLALA. M, 2016. Prétraitement des données à disposition : Correction atmosphérique des données Landsat avec étude spectrale, Rapport d'activité, centre des techniques spatiales, Arziw.2016.

BOULAINE. J, 1957. Etude des sols des Plaines du Chéliff .thèse d'état de l'université d'Alger ,582 p.

BOULAINE. J, 1957.Carte des sols des Plaines du Cheliff au 1/50000. Inspection générale de l'agriculture du Gouvernement de l'Algérie.

BOUZADA. N, 2013.caractérisation géochimique des eaux souterraines utilisée dans l'irrigation dans les plaines du Cheliff. Thèse de magister, université de Hassiba Ben Bouali Cheliff.

BOUZENZANA. L, 2015. Etude diachronique de la régression de la végétation forestière par télédétection dans le massif de Djebel El Ouahch (Constantine). Mémoire master, 13p.

CCT, 2013. Centre Canadien de Télédétection, Notions fondamentales de télédétection, 266p.

CCT, 2005. Centre Canadien de Télédétection, 2005, Notions fondamentales de télédétection.

CORBANE. C, 2004. Application d'une méthode de classification orientée objet pour la cartographie de l'occupation du sol: résultats sur ASTER et Landsat ETM. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection (RFPT), N°175, 13-26pp.

DERDJINI. H, 2017. Cartographie des changements d'occupation de sol de la Mitidja à partir des images landsat. Mémoire de master, Ecole nationale supérieure d'hydraulique - ARBAOUI Abdallah, 11p.

DENISE. A, 2016. Travaux Pratiques de Télédétection Spatiale. Site web: http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/143553.

DENISE. H, 2013. LES NOTIONS DE BASE (Notes tirées en partie de « Microsoft Office 2000 Premium »). Université de MONCTON, 1p.

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, 2009. Direction général des forets, carte d'occupation du sol des wilayas de nord, 2009.

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

El HADRAOUI. Y, 2013. Étude diachronique de l'occupation du sol et de modélisation des processus érosifs du bassin versant du Bouregreg (Maroc) à partir des données de l'Observation de la Terre. Sciences de l'ingénieur [physics] : dumas.29p

FURUSHO. YC, 2008. Etude du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant Périurbain : LA CHEZINE, thèse en Sciences et techniques des environnements urbains, Université de Nantes, 67 p.

GIRARD. CM, 1999. Traitement des données de télédétection, chap13. Edition Dunod, Paris France, 553p.

HUFTY. A, 2001. Introduction à la climatologie. Edition De Boeck Université, Canada, 542p.

KERGOMARD. C, 2004. La télédétection aérospatiale: une introduction. Cours de télédétection, Ecole Normale Supérieure Paris, France, 74p.

KOURI et VOGT, 1993. Processes and types in Oued Mina basin, Algeria.Workshop "Soi1 Erosion in Semi-Arid Mediterranean Areas".

LARIBI. M et MOKEDDEM. F, 2018. Impact de l'imperméabilisation artificielle des terres sur la perte de la ressource naturelle et agricole dans la plaine du Mitidja. Mémoire de master, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, 18p.

MECHRI. S et ALLALI. H, 2014. Etude de système d'information géographique pour les forages dans la région d'Ouargla. Mémoire de master, Faculté Des Sciences Appliquée, Université Kasdi MERBAH OUARGLA ,37p.

MIDEKOR. A et WELLENS. J, 2013. Initiation de l'envi : formation ENVI : ouagadougou, burkina faso ,5p.

NAMOUS. N, 2012. Variabilité spatio -temporelle des précipitations cas du bassin versant de l'oued Chéliff-Ghrib. Thèse de Diplôme Master en Hydraulique urbaine Université Larbi Ben M'hidi– OUM EL BOUAGHI.

POURRIOT. R et MEYBECK. M, 1995. Limnologie générale, Masson, Paris, 1-639 pp.

RATTA. M, 2010. Variabilité spatio-temporelle de la salinité des sols dans la plaine de Bas Chélif- Etablissement d'une Banque de Données, Thèse de Magister, Université de Chéliff.

Recensement général de la population et de l'Habitat.1998.

ROUSE et *al*, 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, 309-317pp.

SOUDANI. K, 2005. Introduction général à la télédétection. Cours en ligne Facultés des Sciences d'Orsay, Université Paris France, 26p.

TABOPDA. GW et FOTSING. JM, 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 20010 :21(3), 78-169pp.

TADJEROUNI. K, 2002. Polycops (petites échelle), centre National des Techniques Spatiales (ARZEW-ORAN).

TIR. E, (2016) : Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la wilaya de Tissemsilt, Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et l'Univers, Université Aboubakr BELKAÏD de Tlemcen, 39p.

TONON. M, 2005. Introduction à la Télédétection : IGN France International. 32p.

TUCKER, 1979. Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, Remote Sensing of Environment, 127-150pp.

UNIGE, 2004, peduzzi .,2009: Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol 9 (N° 4), 1149-1159pp.

UVED, 2008. Université virtuelle environnement et développement durable, suivi de l'environnement par télédétection. Cours en ligne. Université Paris I, panthéon-sorbonne, 32p.

VINCENT. M et YVES. T, 1995. Etude du fonctionnement hydrologique de bassins versants méditerranéens, 65p.

Sites internet

http://www.abh-cz.com.dz (Consultéle03/01/2020)

http://www.geographiedijon.fr/IMG/pdf/Photographie_aerienne_diaporama-2

http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/limite

géographique/télédétection/fondements/1449

http://fr.wikipedia.org/wiki/Satellite_g%C3%A9ostationnaire

http://xenlamap.inrp.fr/lampa/?PageId=33&Action=3&Elamented=336&DomainScienceType_Id=2&ThemeType_Id=2

http://eoedu.belspo.be/fr/guid/defrele.asp?section=1

"Esri." www.esrifrance.fr/application.aspx

Autre références

-Projet GEF/PNUD Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatique a la CCNUCC 2010 Alger.

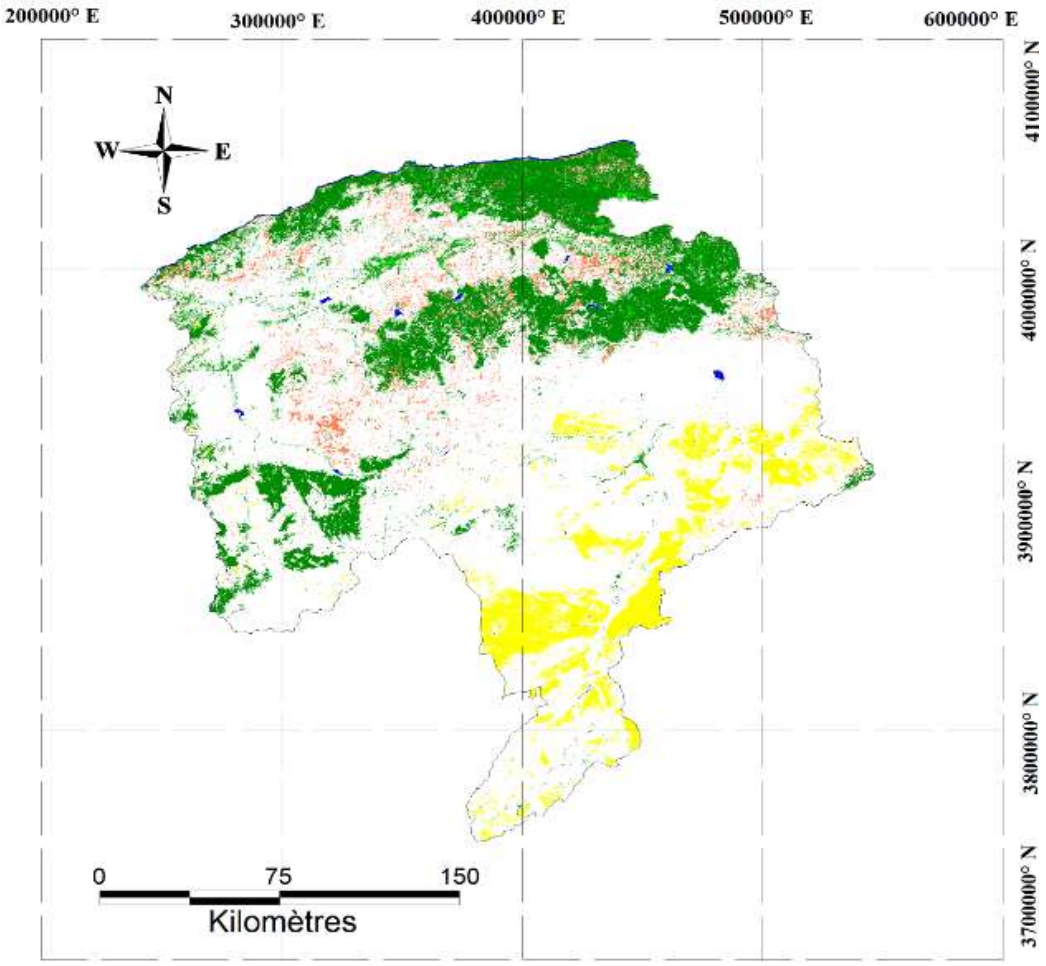
ANNEXE

Tableau N°1 : Les domaines d'application de la télédétection

Domaines	Exemples d'applications
Météorologie	Vitesse des vents, précipitations, températures, détection des cyclones, orages…..
Océanographique	Couleur de l'eau, turbidité, hauteur des vagues, courant marine phytoplancton, pollution marine..
Foresterie	Couverture forestière, santé des forets, 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 / écologie	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…..
Santé	Prévision des épidémies, relation avec les changements globaux….
Catastrophes environnementales	Feux de forets, éruptions volcanique, sécheresses, marées moires….
Changements globaux	Désertification, variation climatiques, compositions de l'atmosphère….

(UNIGE, 2004)

ANNEXE



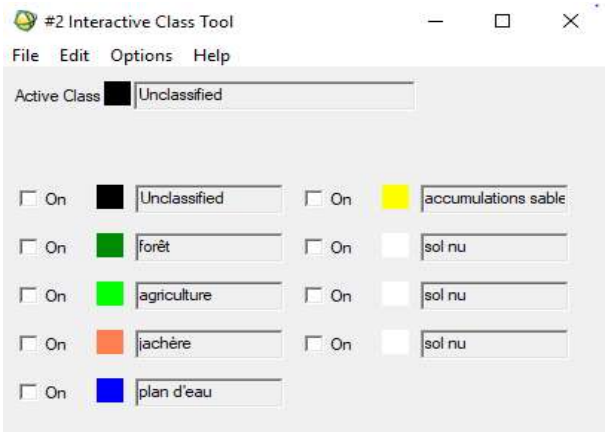


Figure N°1 : Image classifiée filtrée de la plaine de bassin versant Chéliff 1987.

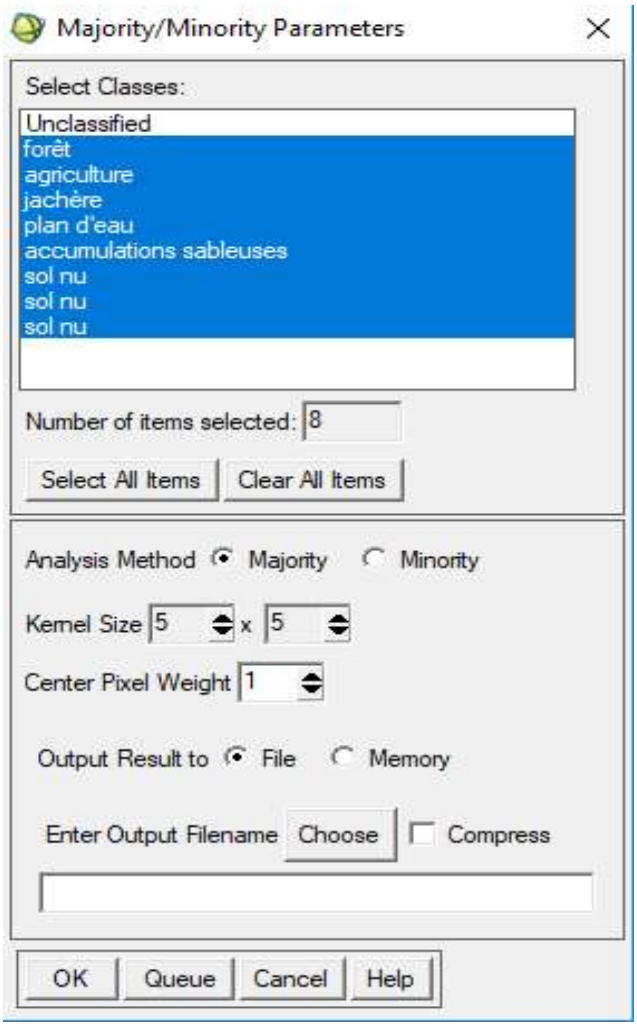
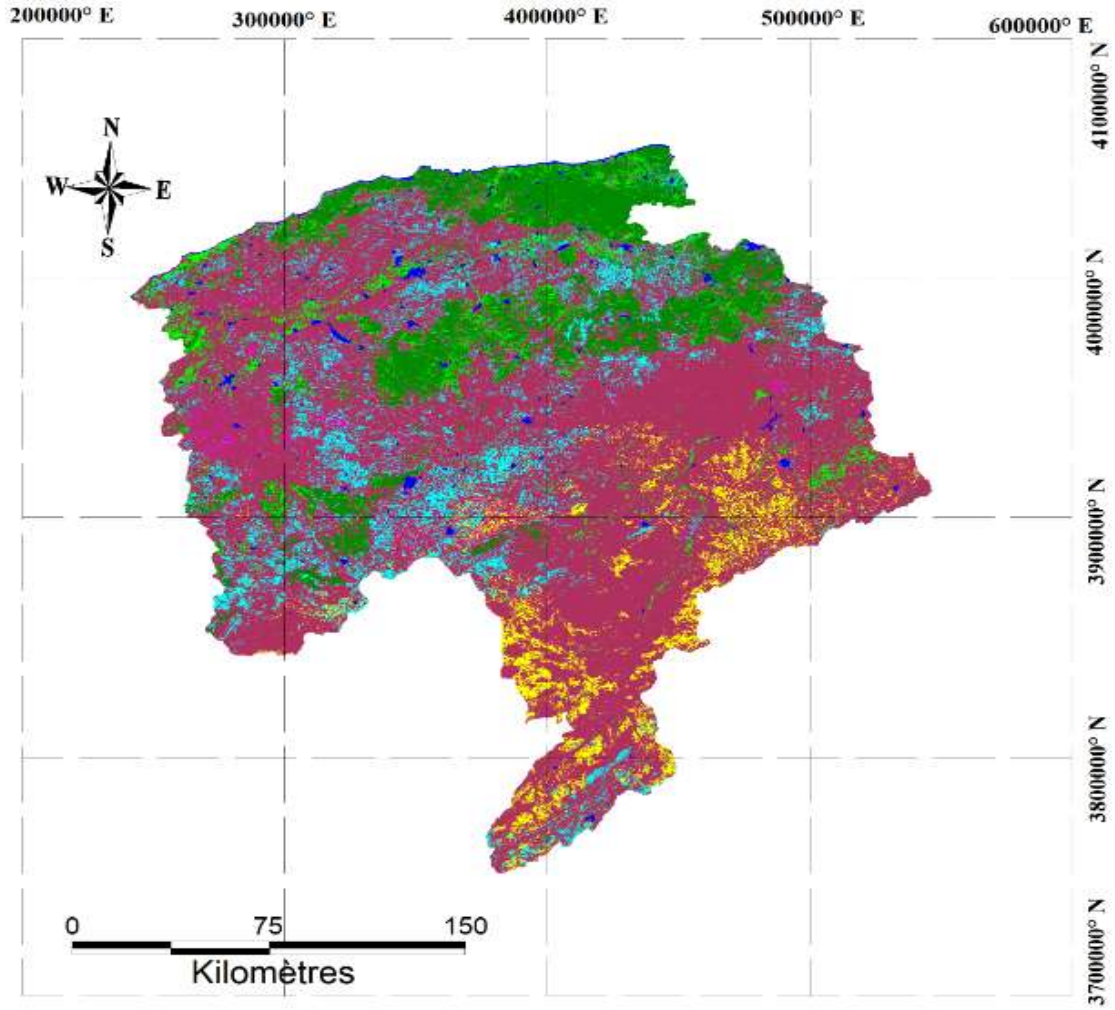


Figure N°2 : Analyse majoritaire et minoritaire de l'image classifiée 1987

ANNEXE


200000° E
300000° E
400000° E
500000° E
600000° E
4100000° N
4000000° N
3900000° N
3800000° N
3700000° N
N
W
E
S
0
75
150
Kilomètres

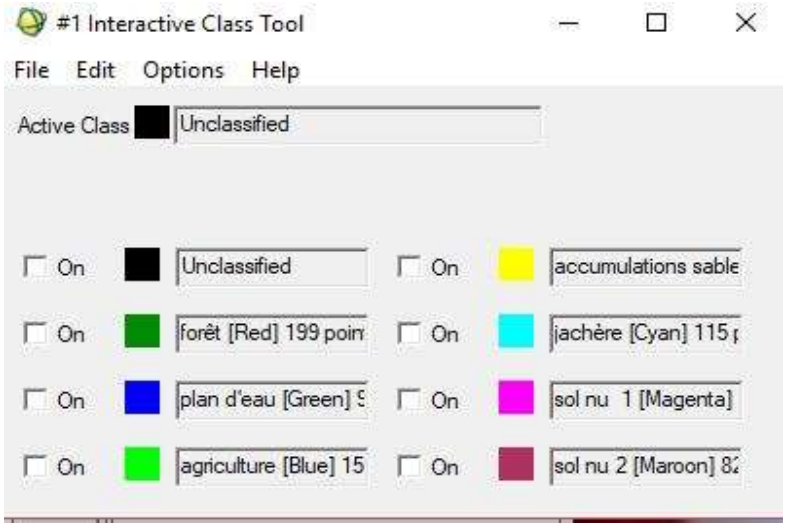

#1 Interactive Class Tool
File
Edit
Options
Help
Active Class
Unclassified
On
Unclassified
On
accumulations sable
On
forêt [Red] 199 poin
On
jachère [Cyan] 115 p
On
plan d'eau [Green] 9
On
sol nu 1 [Magenta]
On
agriculture [Blue] 15
On
sol nu 2 [Maroon] 82

Figure N°3 : Image classifiée filtrée de bassin versant du Chéliff 2019

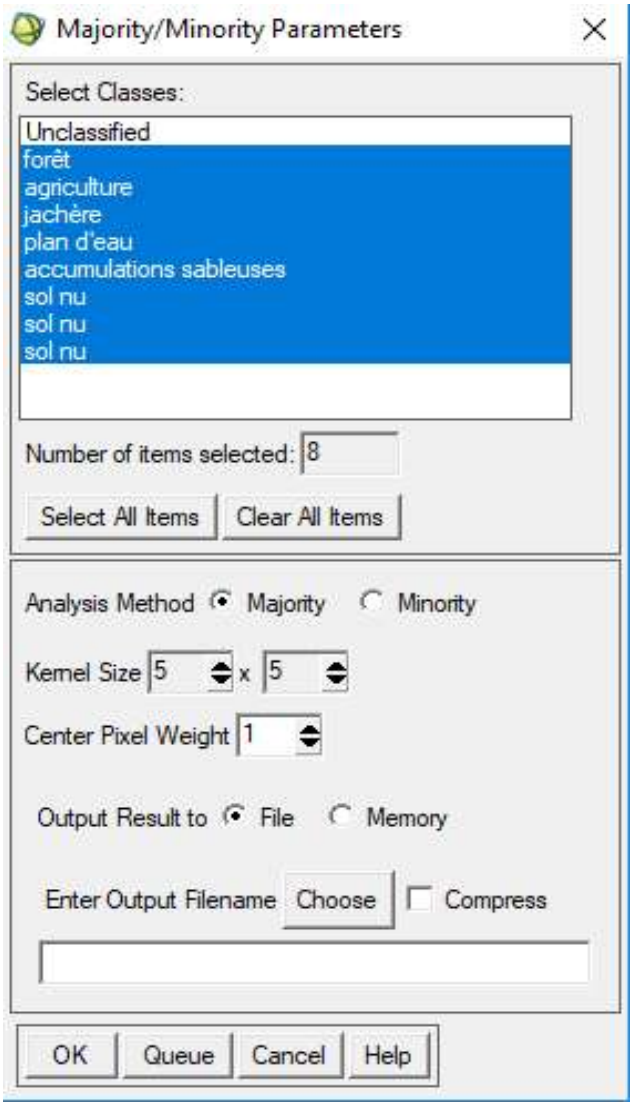


Figure N°4 : Analyse majoritaire et minoritaire de l'image classifiée 2019

ANNEXE

Matrice de confusion 2019

Confusion Matrix: G:\2019\classification final\maj-min2019finale

Overall Accuracy = (725/741) 97.8408%
Kappa Coefficient = 0.9745

	Ground Truth (Pixels)			
Class	plan d'eau	agriculture	sol nu 2	accumulation jachere
Unclassified	0	0	0	0 0
plan d'eau [G	134	0	0	0 0
agriculture [	0	92	0	0 0
sol nu 2 [Mar	0	0	61	0 2
accumulations	0	0	0	115 0
jachère [Cyan	0	0	0	0 124
sol nu 1 [Ma	0	0	0	0 0
forêt [Red] 1	0	3	0	0 0
Total	134	95	61	115 126

	Ground Truth (Pixels)		
Class	sol nu 1	foret	Total
Unclassified	0	0	0
plan d'eau [G	0	0	134
agriculture [	0	7	99
sol nu 2 [Mar	4	0	67
accumulations	0	0	115
jachère [Cyan	0	0	124
sol nu 1 [Ma	68	0	68
forêt [Red] 1	0	131	134
Total	72	138	741

	Ground Truth (Percent)			
Class	plan d'eau	agriculture	sol nu 2	accumulation jachere
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
plan d'eau [G	100.00	0.00	0.00	0.00 0.00
agriculture [	0.00	96.84	0.00	0.00 0.00

sol nu 2 [Mar	0.00	0.00	100.00	0.00
1.59				
accumulations	0.00	0.00	0.00	100.00
0.00				
jachère [Cyan	0.00	0.00	0.00	0.00
98.41				
sol nu 1 [Ma	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00				
forêt [Red] 1	0.00	3.16	0.00	0.00
0.00				
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
100.00				

	Ground Truth (Percent)		
Class	sol nu 1	foret	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
plan d'eau [G	0.00	0.00	18.08
agriculture [	0.00	5.07	13.36
sol nu 2 [Mar	5.56	0.00	9.04
accumulations	0.00	0.00	15.52
jachère [Cyan	0.00	0.00	16.73
sol nu 1 [Ma	94.44	0.00	9.18
forêt [Red] 1	0.00	94.93	18.08
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
plan d'eau [G	0.00	0.00	0/134	0/134
agriculture [	7.07	3.16	7/99	3/95
sol nu 2 [Mar	8.96	0.00	6/67	0/61
accumulations	0.00	0.00	0/115	0/115
jachère [Cyan	0.00	1.59	0/124	2/126
sol nu 1 [Ma	0.00	5.56	0/68	4/72
forêt [Red] 1	2.24	5.07	3/134	7/138

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
plan d'eau [G	100.00	100.00	134/134	134/134
agriculture [	96.84	92.93	92/95	92/99
sol nu 2 [Mar	100.00	91.04	61/61	61/67

accumulations	100.00	100.00	115/115
115/115			
jachère [Cyan	98.41	100.00	124/126
124/124			
sol nu 1 [Ma	94.44	100.00	68/72
68/68			
forêt [Red] 1	94.93	97.76	131/138
131/134			

matrice de confusion 1987

Confusion Matrix: D:\bilal\classification\classification final 87\classification1987 chlef

Overall Accuracy = (1128/1156) 97.5779%
Kappa Coefficient = 0.9715

	Ground Truth (Pixels)			
Class	foret	agriculture	jachere	plan d'eau
sol nu 2				
Unclassified	0	0	0	0
0				
foret [Green]	138	0	0	0
0				
agriculture [	1	158	0	0
0				
jachere [Yell	0	0	163	0
1				
plan d'eau [R	0	0	0	152
0				
sol nu 2 [Pur	0	0	0	0
59				
sol nu 1 [Cya	0	0	0	0
0				
sol nu3 [Cora	0	0	0	0
0				
accumulation	0	0	0	0
0				
Total	139	158	163	152
60				

	Ground Truth (Pixels)			
Class	sol nu 1	sol nu 3	accumulation	Total
Unclassified	0	0	0	0
foret [Green]	0	1	0	139
agriculture [	0	0	0	159
jachere [Yell	0	0	0	164
plan d'eau [R	0	0	0	152
sol nu 2 [Pur	5	20	0	84
sol nu 1 [Cya	119	0	0	119
sol nu3 [Cora	0	55	0	55
accumulation	0	0	284	284
Total	124	76	284	1156

Ground Truth (Percent)

Class	foret	agriculture	jachere	plan d'eau	sol nu 2
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
foret [Green]	99.28	0.00	0.00	0.00	0.00
agriculture [	0.72	100.00	0.00	0.00	0.00
jachere [Yell	0.00	0.00	100.00	0.00	1.67
plan d'eau [R	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
sol nu 2 [Pur	0.00	0.00	0.00	0.00	98.33
sol nu 1 [Cya	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sol nu3 [Cora	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
accumulation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth (Percent)			
Class	sol nu 1	sol nu 3	accumulation	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00
foret [Green]	0.00	1.32	0.00	12.02
agriculture [	0.00	0.00	0.00	13.75
jachere [Yell	0.00	0.00	0.00	14.19
plan d'eau [R	0.00	0.00	0.00	13.15
sol nu 2 [Pur	4.03	26.32	0.00	7.27
sol nu 1 [Cya	95.97	0.00	0.00	10.29
sol nu3 [Cora	0.00	72.37	0.00	4.76
accumulation	0.00	0.00	100.00	24.57
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
foret [Green]	0.72	0.72	1/139	1/139
agriculture [	0.63	0.00	1/159	0/158
jachere [Yell	0.61	0.00	1/164	0/163
plan d'eau [R	0.00	0.00	0/152	0/152
sol nu 2 [Pur	29.76	1.67	25/84	1/60
sol nu 1 [Cya	0.00	4.03	0/119	5/124
sol nu3 [Cora	0.00	27.63	0/55	21/76

```
accumulation          0.00         0.00               0/284
0/284


        Class   Prod. Acc.    User Acc.          Prod. Acc.
User Acc.
                 (Percent)    (Percent)            (Pixels)
(Pixels)
foret [Green]        99.28        99.28             138/139
138/139
agriculture [       100.00        99.37             158/158
158/159
jachere [Yell       100.00        99.39             163/163
163/164
plan d'eau [R       100.00       100.00             152/152
152/152
sol nu 2 [Pur        98.33        70.24               59/60
59/84
sol nu 1 [Cya        95.97       100.00             119/124
119/119
sol nu3 [Cora        72.37       100.00               55/76
55/55
accumulation        100.00       100.00             284/284
284/284
```

séparabilité 1987

```
    ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

plan d'eau [Green] 152 points:
    agriculture [Yellow] 158 points: (1.99996247 2.00000000)
    jachere [Cyan] 163 points: (1.99998480 2.00000000)
    accumulation sableause [Magenta] 284 points: (2.00000000
2.00000000)
    foret [Red] 139 points: (1.99991920 1.99999636)
    sol nu 1 [Blue] 124 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 3 [Sea Green] 76 points: (2.00000000 2.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 60 points: (1.99915574 1.99995378)

agriculture [Yellow] 158 points:
    plan d'eau [Green] 152 points: (1.99996247 2.00000000)
    jachere [Cyan] 163 points: (1.99999596 2.00000000)
    accumulation sableause [Magenta] 284 points: (2.00000000
2.00000000)
    foret [Red] 139 points: (1.87859296 1.99982300)
    sol nu 1 [Blue] 124 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 3 [Sea Green] 76 points: (1.99999479 2.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 60 points: (1.99964481 2.00000000)

jachere [Cyan] 163 points:
    plan d'eau [Green] 152 points: (1.99998480 2.00000000)
    agriculture [Yellow] 158 points: (1.99999596 2.00000000)
    accumulation sableause [Magenta] 284 points: (2.00000000
2.00000000)
```

```
    foret [Red] 139 points: (1.99842342 2.00000000)
    sol nu 1 [Blue] 124 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 3 [Sea Green] 76 points: (1.99992858 1.99999954)
    sol nu 2 [Maroon] 60 points: (1.99700013 1.99999999)

accumulation sableause [Magenta] 284 points:
    plan d'eau [Green] 152 points: (2.00000000 2.00000000)
    agriculture [Yellow] 158 points: (2.00000000 2.00000000)
    jachere [Cyan] 163 points: (2.00000000 2.00000000)
    foret [Red] 139 points: (2.00000000 2.00000000)
    sol nu 1 [Blue] 124 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 3 [Sea Green] 76 points: (1.98093064 1.99986452)
    sol nu 2 [Maroon] 60 points: (2.00000000 2.00000000)

foret [Red] 139 points:
    plan d'eau [Green] 152 points: (1.99991920 1.99999636)
    agriculture [Yellow] 158 points: (1.87859296 1.99982300)
    jachere [Cyan] 163 points: (1.99842342 2.00000000)
    accumulation sableause [Magenta] 284 points: (2.00000000
2.00000000)
    sol nu 1 [Blue] 124 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 3 [Sea Green] 76 points: (1.99995851 1.99999744)
    sol nu 2 [Maroon] 60 points: (1.99067319 2.00000000)

sol nu 1 [Blue] 124 points:
    plan d'eau [Green] 152 points: (0.00000000 0.00000000)
    agriculture [Yellow] 158 points: (0.00000000 0.00000000)
    jachere [Cyan] 163 points: (0.00000000 0.00000000)
    accumulation sableause [Magenta] 284 points: (0.00000000
0.00000000)
    foret [Red] 139 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 3 [Sea Green] 76 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 60 points: (0.00000000 0.00000000)

sol nu 3 [Sea Green] 76 points:
    plan d'eau [Green] 152 points: (2.00000000 2.00000000)
    agriculture [Yellow] 158 points: (1.99999479 2.00000000)
    jachere [Cyan] 163 points: (1.99992858 1.99999954)
    accumulation sableause [Magenta] 284 points: (1.98093064
1.99986452)
    foret [Red] 139 points: (1.99995851 1.99999744)
    sol nu 1 [Blue] 124 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 60 points: (1.99981481 1.99985868)

sol nu 2 [Maroon] 60 points:
    plan d'eau [Green] 152 points: (1.99915574 1.99995378)
    agriculture [Yellow] 158 points: (1.99964481 2.00000000)
    jachere [Cyan] 163 points: (1.99700013 1.99999999)
    accumulation sableause [Magenta] 284 points: (2.00000000
2.00000000)
    foret [Red] 139 points: (1.99067319 2.00000000)
    sol nu 1 [Blue] 124 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 3 [Sea Green] 76 points: (1.99981481 1.99985868)

Pair Separation (least to most);

sol nu 1 [Blue] 124 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points - 0.00000000
```

```
sol nu 1 [Blue] 124 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points -
0.00000000
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 1 [Blue] 124 points -
0.00000000
foret [Red] 139 points and sol nu 1 [Blue] 124 points - 0.00000000
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 1 [Blue] 124
points - 0.00000000
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 1 [Blue] 124 points - 0.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 1 [Blue] 124 points -
0.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and foret [Red] 139 points - 1.87859296
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 3 [Sea Green] 76
points - 1.98093064
foret [Red] 139 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points - 1.99067319
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points - 1.99700013
jachere [Cyan] 163 points and foret [Red] 139 points - 1.99842342
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points -
1.99915574
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points -
1.99964481
sol nu 3 [Sea Green] 76 points and sol nu 2 [Maroon] 60 points -
1.99981481
plan d'eau [Green] 152 points and foret [Red] 139 points - 1.99991920
jachere [Cyan] 163 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points -
1.99992858
foret [Red] 139 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points - 1.99995851
plan d'eau [Green] 152 points and agriculture [Yellow] 158 points -
1.99996247
plan d'eau [Green] 152 points and jachere [Cyan] 163 points -
1.99998480
agriculture [Yellow] 158 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points -
1.99999479
agriculture [Yellow] 158 points and jachere [Cyan] 163 points -
1.99999596
plan d'eau [Green] 152 points and sol nu 3 [Sea Green] 76 points -
2.00000000
accumulation sableause [Magenta] 284 points and sol nu 2 [Maroon] 60
points - 2.00000000
accumulation sableause [Magenta] 284 points and foret [Red] 139 points
- 2.00000000
jachere [Cyan] 163 points and accumulation sableause [Magenta] 284
points - 2.00000000
plan d'eau [Green] 152 points and accumulation sableause [Magenta] 284
points - 2.00000000
agriculture [Yellow] 158 points and accumulation sableause [Magenta]
284 points - 2.00000000
```

Siparabilité 2019

```
Input File: mask chelif urbin + incendie 2019
    ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

foret [Red] 138 points:
    plan d'eau [Green] 134 points: (1.99849435 2.00000000)
    agriculture [Blue] 95 points: (1.88528426 1.96415818)
    sol nu 2 [Maroon] 61 points: (1.98262919 2.00000000)
    accumulation sableuse [Cyan] 115 points: (2.00000000 2.00000000)
```

```
    jachere [Yellow] 126 points: (1.98418853 2.00000000)
    sol nu 1 [Magenta] 72 points: (0.00000000 0.00000000)

plan d'eau [Green] 134 points:
    foret [Red] 138 points: (1.99849435 2.00000000)
    agriculture [Blue] 95 points: (2.00000000 2.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 61 points: (1.99761710 2.00000000)
    accumulation sableuse [Cyan] 115 points: (2.00000000 2.00000000)
    jachere [Yellow] 126 points: (1.99157352 2.00000000)
    sol nu 1 [Magenta] 72 points: (0.00000000 0.00000000)

agriculture [Blue] 95 points:
    foret [Red] 138 points: (1.88528426 1.96415818)
    plan d'eau [Green] 134 points: (2.00000000 2.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 61 points: (1.99977467 2.00000000)
    accumulation sableuse [Cyan] 115 points: (2.00000000 2.00000000)
    jachere [Yellow] 126 points: (1.99993424 2.00000000)
    sol nu 1 [Magenta] 72 points: (0.00000000 0.00000000)

sol nu 2 [Maroon] 61 points:
    foret [Red] 138 points: (1.98262919 2.00000000)
    plan d'eau [Green] 134 points: (1.99761710 2.00000000)
    agriculture [Blue] 95 points: (1.99977467 2.00000000)
    accumulation sableuse [Cyan] 115 points: (1.99984840 2.00000000)
    jachere [Yellow] 126 points: (1.93584771 1.99988860)
    sol nu 1 [Magenta] 72 points: (0.00000000 0.00000000)

accumulation sableuse [Cyan] 115 points:
    foret [Red] 138 points: (2.00000000 2.00000000)
    plan d'eau [Green] 134 points: (2.00000000 2.00000000)
    agriculture [Blue] 95 points: (2.00000000 2.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 61 points: (1.99984840 2.00000000)
    jachere [Yellow] 126 points: (1.99998262 2.00000000)
    sol nu 1 [Magenta] 72 points: (0.00000000 0.00000000)

jachere [Yellow] 126 points:
    foret [Red] 138 points: (1.98418853 2.00000000)
    plan d'eau [Green] 134 points: (1.99157352 2.00000000)
    agriculture [Blue] 95 points: (1.99993424 2.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 61 points: (1.93584771 1.99988860)
    accumulation sableuse [Cyan] 115 points: (1.99998262 2.00000000)
    sol nu 1 [Magenta] 72 points: (0.00000000 0.00000000)

sol nu 1 [Magenta] 72 points:
    foret [Red] 138 points: (0.00000000 0.00000000)
    plan d'eau [Green] 134 points: (0.00000000 0.00000000)
    agriculture [Blue] 95 points: (0.00000000 0.00000000)
    sol nu 2 [Maroon] 61 points: (0.00000000 0.00000000)
    accumulation sableuse [Cyan] 115 points: (0.00000000 0.00000000)
    jachere [Yellow] 126 points: (0.00000000 0.00000000)

Pair Separation (least to most);

jachere [Yellow] 126 points and sol nu 1 [Magenta] 72 points -
0.00000000
accumulation sableuse [Cyan] 115 points and sol nu 1 [Magenta] 72
points - 0.00000000
```

```
sol nu 2 [Maroon] 61 points and sol nu 1 [Magenta] 72 points -
0.00000000
agriculture [Blue] 95 points and sol nu 1 [Magenta] 72 points -
0.00000000
plan d'eau [Green] 134 points and sol nu 1 [Magenta] 72 points -
0.00000000
foret [Red] 138 points and sol nu 1 [Magenta] 72 points - 0.00000000
foret [Red] 138 points and agriculture [Blue] 95 points - 1.88528426
sol nu 2 [Maroon] 61 points and jachere [Yellow] 126 points -
1.93584771
foret [Red] 138 points and sol nu 2 [Maroon] 61 points - 1.98262919
foret [Red] 138 points and jachere [Yellow] 126 points - 1.98418853
plan d'eau [Green] 134 points and jachere [Yellow] 126 points -
1.99157352
plan d'eau [Green] 134 points and sol nu 2 [Maroon] 61 points -
1.99761710
foret [Red] 138 points and plan d'eau [Green] 134 points - 1.99849435
agriculture [Blue] 95 points and sol nu 2 [Maroon] 61 points -
1.99977467
sol nu 2 [Maroon] 61 points and accumulation sableuse [Cyan] 115 points
- 1.99984840
agriculture [Blue] 95 points and jachere [Yellow] 126 points -
1.99993424
accumulation sableuse [Cyan] 115 points and jachere [Yellow] 126 points
- 1.99998262
plan d'eau [Green] 134 points and agriculture [Blue] 95 points -
2.00000000
foret [Red] 138 points and accumulation sableuse [Cyan] 115 points -
2.00000000
plan d'eau [Green] 134 points and accumulation sableuse [Cyan] 115
points - 2.00000000
agriculture [Blue] 95 points and accumulation sableuse [Cyan] 115
points - 2.00000000
```

Superficies 1987

```
Filename: D:\bilal\classification\classification final
87\classification1987 chlef majori_minirity
Dims: Full Scene (168,278,446 points)

Class Distribution Summary
forêt: 10,023,662 points (5.957%) (902,129.5800 Hectares)
agriculture: 247,633 points (0.147%) (22,286.9700 Hectares)
jachère: 1,669,353 points (0.992%) (150,241.7700 Hectares)
plan d'eau: 176,812 points (0.105%) (15,913.0800 Hectares)
accumulations sableuses: 3,877,058 points (2.304%) (348,935.2200
Hectares)
sol nu: 36,833,590 points (21.888%) (3,315,023.1000 Hectares)
sol nu: 0 points (0.000%) (0.0000 Hectares)
sol nu : 0 points (0.000%) (0.0000 Hectares)

Stats for Class: forêt
Basic Stats   Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1     1     1 1.000000   0.000000
```

```
Stats for Class: agriculture
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    2     2 2.000000   0.000000

Stats for Class: jachère
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    3     3 3.000000   0.000000

Stats for Class: plan d'eau
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    4     4 4.000000   0.000000

Stats for Class: accumulations sableuses
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    5     5 5.000000   0.000000

Stats for Class: sol nu
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    6     6 6.000000   0.000000

Stats for Class: sol nu
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    0     0 0.000000   0.000000

Stats for Class: sol nu
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    0     0 0.000000   0.000000
```

Superficies 2019

```
Filename: [Memory2] (17241x13241x1)
Dims: Full Scene (228,288,081 points)

Class Distribution Summary
Unclassified: 0 points (0.000%) (0.0000 Km²)
forêt [Red] 199 points: 6,677,980 points (2.925%) (6,010.1820 Km²)
plan d'eau [Green] 91 points: 641,125 points (0.281%) (577.0125 Km²)
agriculture [Blue] 156 points: 2,603,512 points (1.140%) (2,343.1608
Km²)
accumulations sableuses [Yellow] 87 points: 2,370,739 points (1.038%)
(2,133.6651 Km²)
jachère [Cyan] 115 points: 5,044,034 points (2.210%) (4,539.6306 Km²)
sol nu  1 [Magenta] 80 points: 337,545 points (0.148%) (303.7905 Km²)
sol nu 2 [Maroon] 82 points: 35,286,017 points (15.457%) (31,757.4153
Km²)

Stats for Class: Unclassified
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    0     0 0.000000   0.000000

Stats for Class: forêt [Red] 199 points
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    1     1 1.000000   0.000000

Stats for Class: plan d'eau [Green] 91 points
Basic Stats  Min   Max     Mean       Stdev
     Band 1    2     2 2.000000   0.000000
```

Stats for Class: agriculture [Blue] 156 points

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	3	3	3.000000	0.000000

Stats for Class: accumulations sableuses [Yellow] 87 points

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	4	4	4.000000	0.000000

Stats for Class: jachère [Cyan] 115 points

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	5	5	5.000000	0.000000

Stats for Class: sol nu 1 [Magenta] 80 points

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	6	6	6.000000	0.000000

Stats for Class: sol nu 2 [Maroon] 82 points

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	7	7	7.000000	0.000000