REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Yahia Fares de Médéa

Faculté des sciences

Département de science de la nature et de vie

Mémoire de Master

Spécialité: Ecologie

Thème

L'utilisation de la télédétection dans le suivi des changements de l'occupation du sol dans le parc national de Chrèa

Présenté par :

Fourar Laidi Imane & Outouat Nasira

Soutenu Publiquement le: 14/07/2021 devant le jury composé de :

Mr. BELHADJ H.	MCB	U.Y.F.M	Président
Mr. AIT HAMMOUDA T.	MAA	U.Y.F.M	Examinateur
M me. SAADI, H.	MAA	U.Y.F.M	Promotrice

Année universitaire : 2020 / 2021

Remercîment

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme notre formation de Master et pouvoir réaliser ce travail de recherche. Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à notre promotrice Mme ***SAADI H****. qui nous a fourni le sujet de ce mémoire et nous a guidé de ses précieux conseils et suggestions, et la confiance qu'elle nous a témoigné tout au long de ce travail.*

Nous tenons à remercier également toute l'équipe pédagogique de l'université de YAHIA FARES et les intervenants professionnels responsables de notre formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Dr BENTKHISI Nadjla et Mme SAAD Assia et toute l'équipe du centre des technique spatial d'Arziw, pour les efforts qu'elles ont fourni pour notre formation qui était très bénéfique.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions .

Nos parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à :

A la mémoire de mon chèr père, que Dieu le tout puissant l'accueille Dans son vaste paradis

A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, ma Mère BELKHIR FATMA merci pour m'avoir toujours supporté dans mes décisions. Merci pour tout votre amour et votre confiance

A mes chères sœurs qui me soutenir tout au long de mes études. A mes frère RIDHA et SOFIANE Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A tous, les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant, spécialement Seif Eddine

et Loubna .Merci vraiment pour leur soutien et leurs encouragements.

Sans oublier mon binôme IMENE pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

Nessrine

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à :

A celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands, mon Père Ayache.

A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, ma Mère merci pour m'avoir toujours supporté dans mes décisions. Merci pour tout votre amour et votre confiance,

A mon chère marie NADHIR pour son soutien et encouragement

A ma chère tante Chahira et sa petite famille merci pour votre soutien

A mes chères frères SIDAHMED, NADIR, ROUDOUAN, ABD'ALLAH KOSSAI et sœurs THORAYA et LINA et à ma deuxième famille YAZID et tout la famille FOURAR

A tous, les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant

Sans oublier mon binôme NESSRINE pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

Imane

Dédicace

Résumé

La région du Parc National de Chréa qui fait partie de l'Atlas Blidéen est une zone de réserve de biosphère, car elle contient une vaste biodiversité avec des espèces rares ou en vo15 de disparition, mais cette richesse biologique est soumise à des différentes influences climatiques et anthropiques.

L'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le parc national de Chréa s'est basée sur l'analyse diachronique de trois images satellitaires Landsat (TM 1987, TM 2002 et ETM+ 2020) couvrant une période de 33 ans. L'approche cartographique adoptée a permis de mettre en évidence les profonds changements qui se sont opérés dans la zone d'étude en termes d'occupation du sol à travers une analyse de la configuration spatiale des unités paysagères basée sur les indices métriques (indices de végétation). De façon générale, la zone d'étude qui contient une diversité végétale a été l'objet de divers processus de transformation spatiale. En effet, Le résultat est une cartographie des principales catégories d'occupation du sol à chacune des dates étudiées et de leur évolution dans le temps. Ont ainsi été mis en évidence les principaux changements des paysages forestiers du Parc.

Les résultats obtenus ont révélé l'amélioration de l'écosystème couvert par les forets « dense » et « claire » suite à un important boisement et aménagement de terre de la région au cours de la dernière décennie.

Mots clés : Occupation du sol, télédétection, traitement des images, ENVI, classification

Abstract

The region of Chréa National Park, is part of the Blidean Atlas, is a biosphere reserve area, and because it contains a vast biodiversity with rare or endangered species, but this biological richness is subject to different influences. Climatic and anthropogenic.

The study of the spatio-temporal dynamics of land use in Chréa National Park was based on the diachronic analysis of three Landsat satellite images (TM 1987, TM 2002 and ETM + 2020) covering a period of 33 years. The cartographic approach adopted made it possible to highlight the profound changes that took place in the study area in terms of land use through an analysis of the spatial configuration of the landscape units based on metric indices (vegetation indices). Overall, the study area has been the subject of various

spatial transformation processes. Indeed, the result is a mapping of the main land use categories at each of the dates studied and their evolution over time. The main changes in the forest landscapes of the Park were thus highlighted.

The results obtained revealed the improvement of the ecosystem covered by "dense" and "clear" forests following extensive afforestation and land development in the region over the past decade.

Keywords: Land cover, remote sensing, image processing, ENVI, classification

الملخص:

منطقة الحظيرة الوطنية للشريعة ، وهي جزء من الأطلس البليدي ، هي منطقة محمية للمحيط الحيوي ، لأنها تحتوي على تنوع بيولوجي واسع مع الأنواع النادرة أو المهددة بالانقراض ، لكن هذا الثراء البيولوجي يخضع لتأثيرات مختلفة ، مناخية وبشرية المنشأ

استندت دراسة الديناميات المكانية و الزمانية لاستخدام الأراضي في الحظيرة الوطنية للشريعة إلى التحليل المتزامن لثلاث صور من القمر الصناعي لاندسات (TM 1987 و TM 2002 و ETM + 2020) تغطي فترة 33 عامًا. أتاح النهج الخرائطي المعتمد تسليط الضوء على التغييرات العميقة التي حدثت في منطقة الدراسة من حيث استخدام الأراضي من خلال تحليل التكوين المكاني لوحدات المناظر الطبيعية بناءً على المؤشرات المترية (مؤشرات الغطاء النباتي). بشكل عام، كانت منطقة الدراسة موضوع عمليات تحويل مكاني مختلفة. في الواقع، كانت النتيجة رسم خرائط لفئات استخدام الأراضي الرئيسية في كل من التواريخ التي تمت دراستها وتطورها بمرور الوقت. وهكذا تم تسليط الضوء على التغييرات الرئيسية في المناظر الطبيعية للغابات في الحديقة.

كشفت النتائج التي تم الحصول عليها عن تحسن النظام البيئي الذي تغطيه الغابات "الكثيفة" و "الصافية" في أعقاب عمليات التشجير الواسعة وتنمية الأراضي في المنطقة على مدى العقد الماضي.

الكلمات المفتاحية: الغطاء الأرضي ، الاستشعار عن بعد ، معالجة

Introduction

I. Recherche bibliographique……

I.1 Définition de la télédétection……1

I.2 Domaine d'application …….1

I.3 Processus de télédétection ……..…….2

I.4 Le rayonnement électromagnétique……...3

I.5 le spectre électromagnétique ……...4

I.6 Interaction rayonnement matière et rayonnement atmosphère ……..…..5

I.7 La signature spectrale ……...7

I.8 Systèmes Vecteurs - Capteurs ……..….7

I.8.1 Les vecteurs……..7

I.8.2 Les capteurs ……..…8

I.9 La Résolution…….....8

I.10 Satellites d'observation de la terre……..….10

I.11 **I.10 Les différentes orbites des satellites**…….....14

I.12**.** L'image satellitaire……...…14

I.13. Traitements des données de télédétection ……..….15

I.13.1 les prétraitements…….. 15

I.13.2. la classification……...…..16

14. Les indices de végétation…….….18

II. Présentation de la zone d'étude ……

II.1 Historique et création du parc nationale de Chrèa…….. ……..19

II.2 But de sa création……..19

II.3 Localisation géographique……..…20

II.4 Géomorphologie et limite territoriale……...…..20

II.5 Division sectorielle du parc…….... 22

II.6 Milieu abiotique…….……..…….. 23

II.6.1 La lithologie du parc…….….…….23.

II.6.2 L'hydrologie du parc…….. 23

II.6.3 Le relief du parc……..24

II.6.3 La géologie du parc…….……25

II.6.4 La pédologie du parc……...……25

II.7 Situation biogéographique……. 25

II.7.1 Occupation du sol……25

II.7.2 Etage de végétation ……..

II.8 Milieu biotique…….

II.8.1 La flore du parc ……..27

II.8.2 La faune du parc ……28

II.8.3 La population ……..29

II.9. Climat générale du parc…….30

II.10 Synthèse bioclimatique……..

III. Matériel et méthodes…….38.

III.1 Matériel utilisé……

III.1.2 Source des données……...……39

III.1.3 Outils informatiques (logiciels de traitement des données) …….38

III.1.4 Téléchargement de l'image satellitaire…….

III.1.5 Les images satellitaires……40

III.2 Approche Méthodologique…….

III.2.1 Choix des dates……..……41

III.2.2 Extraction des limites du parc national de Chréa……...41

III.2.3 Traitement des images satellitaires……43

III.2.3.1 Composition colorée ……..……43

III.2.4 Correction géométrique ……..……..47

III.2.5 Découpage des images selon les limites de la zone d'étude……47

III.2.6 Evaluation des changements et mutation de la biomasse végétale (1987 – 2020)…..…47

III.3.Réalisation des cartes finales ……...52

IV. Résultats et discussion …….

IV.1 Composition colorée……54

IV. 3 Découpage des images selon les limites de la zone d'étude …….54

IV.4 Evaluation des changements et mutation de la biomasse végétale (1987 –2020)…….56

IV.4.1 Application des indices de végétation……56

IV.4.2 Détection de mutation de biomasse végétale……...…58

VI.4Classification des images satellitaires multi dates…….62

VI.4.1Classification de l'image prise en 1987……..…….....…62

IV.4.2Classification de l'image prise en 2002……...66

IV.4.3 Classification de l'image prise en 2020……..…….....68

IV.5. Evaluation du changement de l'occupation des sols (1987, 2002 et 2020)…….71

IV.6 discussion générale ……..75

V. Conclusion……..

LISTE DES FIGURES

Fig.1 .Processus de télédétection (**C.C.T, 1999)……....2**
Fig.2 : Onde électromagnétique **(LILLESAND et KIEFFER, 1987) ……..…..... 3**
Fig.3 : Spectre électromagnétique et les systèmes de télédétection **(LILLESAND et KIEFFER, 1987)……4**
Fig.4 : Pourcentage du rayonnement absorbé par l'atmosphère **(source : Manuel TELCAN, 2013)……..….5**
Fig.5: Les types de réflexion **(BONN.et al, 1992)…….……...……..…6**
Fig.6 : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière **(BONN.et al, 1992)..6**
Fig.7 signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen **(ENVCAL) ……...……..7**
Fig.8 : Télédétection passive et télédétection active **(CCRS/CCT) …..……..….. 8**
Fig.9 : Résolution spatiale **(Source : Google)……..……10**
Fig.10 : les satellites Landsat lancés **(ENSG., 2021).....……...…… 12**
Fig.11: orbite Géostationnaire et Héliosynchrone **(CCRS/CCT)……...…….14**
Fig.12 Image satellite **(CCT, 2005) ……..……..….. 15**
Fig.13: Carte historique du Parc National de Chréa **(PNC,2013)……19**
Fig.14: Carte de situation géographique du Parc National de Chréa **(PNC, 2013)……..…20**
Fig.15.:Position du Parc National de Chréa entre Blida et Médéa. **(PNC, 2013)…….……21**
Fig.16: Carte administrative des secteurs du PNC **(P.N.C, 2020)……...23**
Fig.17 : carte d'Hydrographique du Parc national de Chréa **(PNC 2013)……..….24**
Fig.18 : Températures mensuelles maximales (M), minimales (m) et (M) moyennes de **PNC (2004-2016)……...…….31**
Fig. 19: Températures moyennes annuelles - **PNC (2004-2016)….……32**
Fig.20 : **Les** précipitations mensuelles - **PNC (1985-2016)…….33**
Fig.21: Variations interannuelles des précipitations – **PNC pour la période (1985-2016)…33**
Fig.22 : Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de la zone d'étude **PNC. (2004-2016)…….35**
Fig.23 : Climagramme pluviothermique **d'EMBERGER 1955…….37**
Fig.24 Etape de téléchargement de l'image Landsat……..40
Fig.25 Carte d'occupation réalisée par Sahli, 2016…….42
Fig.26. Calage de la carte du parc de Chrèa sous MapInfo……..….42

Fig.27.Délimitation du parc national de Chrèa sous MapInfo**……..43**

Fig.28 La composition colorée de l'image landsat8 pris en 2020**……44**

Fig29. Points de contrôle choisis et erreur quadratique moyenne « RMS »**……..45**

Fig30. Localisation des points d'appuis sur l'image à corriger et l'image de référence.**.....46**

Fig.31 Image prise en 1987 corrigée géométriquement**……..….46**

Fig.32 fichier vecteur de la limite du parc notionnel de Chréa sous ENVI**……..……47**

Fig.33. Etapes de l'application de l'NDVI**……48**

Fig.34 Etape de détection de mutation de la biomasse végétale**……..……49**

Fig.35 Etape de la classification supervisée**…….……50**

Fig.36: Organigramme des étapes de l'approche méthodologique utilisée pour l'analyse et le traitement des images satellites**……53**

Fig.37 Composition colorée de l'image Landsat prise en 1987**…….. 54**

Fig.38 Image Landsat 1987 découpée selon le parc de Chréa**……..55**

Fig.39 Image Landsat 2020 découpée selon le parc de Chréa**……...……55**

Fig.40 ; Image de l'NDVI en 1987**…….……..……57**

Fig.41 ; Image de l'NDVI en 2002**…….……..57**

Fig.42 ; Image de l'NDVI en 2020**…….……..57**

Fig.42 Carte de la densité de végétation du parc national de Chréa en 1987**……...58**

Fig.43 Carte de la densité de végétation du parc national de Chréa en 1987**….……..……58**

Fig.44 Carte de la densité de végétation du parc national de Chréa en 1987**….…….…….58**

Fig.45. Carte de changement de la biomasse végétale entre 1987 et 2020**……..……..60**

Fig.46 Histogramme de la superficie de la biomasse végétale du parc nationale de Chrèa**…..61**

Fig.47. Carte d'occupation du sol du parc nationale de Chréa en 1987**……...…….65**

Fig.48. Carte d'occupation du sol du parc nationale de Chréa en 2002**……68**

Fig.49 Carte d'occupation du sol du parc national de Chrèa en 2020**….…….…….71**

Fig.50 Histogramme de la superficie de la biomasse végétale du parc nationale de Chrèa**….72**

Fig.51 Carte de changement de la classe forêt dense du parc national de Chrèa (**1987-2020**)**……73**

Fig.52. Carte de changement de la classe forêt dégradée de parc national de Chréa (**1987-2020**)…**…….74**

Fig.53. Carte de changement de la classe forêt claire et maquis du parc de Chréa (**1987-2020)…….75**

LISTE DES TABLEAUX

Tab.1 : Caractéristiques spectrales du satellite spot **(Amina ,2019) ……..……..…11**

Tab.3 Superficies en hectares et en pourcentages des différentes communes Comprises dans le parc national de Chréa **(PNC,.2013)……...22**

Tab.4: Occupation du sol au niveau du Parc National de Chréa **(PNC 2013)…….26**

Tab.5 : Inventaire de la faune du parc national de Chréa**(PNC2013)…….…... 29**

Tab.6 : Températures mensuelles maximales (M), minimales (m) et (M) Moyennes de **PNC (2004-2016) ……31**

Tab.7: Températures moyennes annuelles de parc national de Chrèa **(2004-2016)……....31**

Tab.8: Les précipitations mensuelles du **PNC (1985-2016)……32**

Tab.9 : Données des images satellitaires de parc national de Chréa…….41

Tab.10 . Superficie de la densité de la biomasse végétale du parc national de Chrèa**……..61**

Tab.11. Matrice de confusion pour l'image classifiée de 1987**…….……64**

Tab.12. Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2002**…….67**

Tab.13. Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2020**……...…..70**

Tab.13. Superficies de déférents thèmes d'occupation de sol du parc national de Chréa en1987, 2002 et 2020**……..……..72**

Liste des abréviations

PNC : Parc national de Chréa

CTS : Centre des Techniques Spatiales

DGF : Direction Générale des Forêts.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

OLI: Operational Land Imager

ONM : Office Nationale Météorologique

SIG: Système d'information géographique

TM: Thematic Mapper

Introduction

L'occupation des sols est une description physique de l'espace. L'occupation (bio) physique observée de la surface terrestre**,** c'est-à-dire ce qui recouvre le sol. Elle distingue plusieurs catégories biophysiques les zones de végétation (arbres, buissons, champs, pelouses), les sols nus (même s'il s'agit d'un manque de couverture), les surfaces dures (roches, bâtiments), les surfaces humides et les plans d'eau (nappes et cours d'eau, zones inondables) **(Di Gregorio et Jansen, 1997).**

L'étude des changements d'occupation et d'usage des sols a donc émergé comme étant une composante fondamentale des recherches internationales menées sur le changement global. Elle apparaît même depuis une dizaine d'années comme une discipline scientifique à part entière, avec une approche interdisciplinaire solidement ancrée. **(Turner .BL, 2007).**

L'analyse diachronique de l'occupation du sol a permis à quelques études de mesurer l'évolution des paysages végétaux et de quantifier les changements du milieu aussi 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 favorise 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 général La procédure la plus efficace pour mesurer le degré de changement de l'environnement est l'étude multi-date de la couverture végétale **(Derdjini .H, 2017)**

La possibilité offerte par la télédétection spatiale d'observer de façon continue la surface de la Terre a permis de créer de grandes bases de données dont l'exploitation fournit des informations sur l'état des ressources naturelles, des écosystèmes locaux et de leur évolution. Le suivi de l'occupation du sol est capital pour établir un diagnostic et mieux comprendre les causes de la modification du couvert végétal. À ce titre, les cartes d'occupation et de changements du sol constituent de véritables outils de planification et d'aide à la décision surtout en matière de gestion et de préservation des ressources naturelles et des écosystèmes., pour obtenir ces cartes, plusieurs approches méthodologiques capables d'exploiter au mieux les images satellites existent. Parmi celles-ci, l'analyse multi-temporelle de l'occupation du sol, considérée comme l'une des plus utilisées.

La télédétection est devenue incontournable pour de nombreux domaines comme la climatologie, l'océanographie, l'environnement ou l'agriculture. De façon générale, grâce à la vision synoptique, répétitive et objective quelle apporte sur les différents éléments de la surface terrestre, la télédétection est un outil privilégié pour l'étude et le suivi de la végétation sur l'ensemble du globe. Cela passe par la compréhension des variations spatio-temporelles des différents types de végétation, de leurs propriétés structurales et biophysiques. **(BAH M, 2016)**

Le parc national de Chréa est un parc national d'Algérie dans la wilaya de Blida et Médéa étendre sur une superficie de **26.587 Ha**. C'est essentiellement un parc montagneux, partie de l'Atlas tellien. Connu surtout pour sa richesse écologique et la diversité floristique et faunistique, il abrite aussi de vastes forêts de cèdres pin d'Alep… etc. , ainsi que les gorges de Chiffa et plusieurs lacs et ressource d'eau. Le parc offre également la possibilité de faire des études sur les déférents changements de ce milieu.

L'objectif scientifique poursuivi est la détection des changements de l'occupation du sol sur le Parc notionnel du Chrèa d'une période de 33 ans entre les années 1987 et 2002 et 2020 en utilisant la télédétection. Il s'agit donc d'identifier les changements du parc nationale à différentes époques à l'aide du traitement et l'interprétation de trois satellitaires du capteur LANDSAT 5 et 8 captées par des satellites d'observation de la Terre. De ces analyses, il Résultera des images satellitaires transformées en cartes thématiques de l'occupation du sol pour Différentes années et ensuite en cartes de changement durant les33 ans. Une détection de l'ensemble de variation dans l'espace étudié pourrait être établie.

Pour se faire un stage d'une durée de 15 jours a été réalisé au niveau du Centre des Techniques Spatiale d'Arzew durant lequel nous avons pu maitriser les différentes techniques et méthodes de traitement d'images satellites ainsi que la maitrise d'outil de traitement.

Ce travail est structuré comme suit :

I. Une introduction générale ;
II. Le premier chapitre a été consacré à la présentation de la région d'étude par son milieu Biotique et abiotique;
III. Dans le deuxième chapitre on s'est intéressé auxprincipes de télédétection et au traitement d'images satellites ainsi que l'indice de végétation ;
IV. Le troisième chapitre a pour objet la méthodologie et l'application pour arriver à la

Carte du changement et la carte d'occupation du sol;

V. Dans le dernier chapitre, nous avons exposé les résultats et leur discussion dont la réalisation de la carte des changements et la carte d'occupation du sol.

VI. Enfin nous avons terminé notre travail par une conclusion générale.

I. Aperçu bibliographique sur la télédétection

I.1 Définition de la télédétection

C'est l'utilisation à distance (par exemple, d'un avion, d'un satellite ou encore d'un bateau) de n'importe type d'instrument permettant l'acquisition d'informations sur l'environnement. On fait souvent appel à des instruments tels qu'appareils photographiques, lasers, radars, sonars, sismographes ou gravimètres**. (DENIS A., 2012)**

Elle 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 véhiculées par le Rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : Géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, Etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phytomasse, matière organique du sol,…), etc. **(Soudani, 2005)**

Donc, La télédétection constitue le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux ; une source d'énergie, une cible et un capteur, et consiste à mesurer un signal électromagnétique émis ou réfléchi par une cible. (**Corbane, 2006**)

I.2 Domaines d'application

a. **Sciences de la terre** : des mesures par triangulation entre la terre et le satellite permettent de suivre la dérive des continents (moyenne de centaines de mesures) d'autres mesures permettent de dresser une "carte des risques" pour certaines régions menacées par exemple par des glissements des terrains. recherches géologiques et minières, volcanisme.
b. **Sciences de l'atmosphère** Météorologie - prévisions.
c. **Sciences biologiques et Ecologique** : surveillance de l'environnement terrestre et océanique, détection des nuisances (pollution, parasites de cultures), gestion des ressources renouvelables : état des cultures, estimation de biomasses, estimation de dégâts causés par le gel, la sécheresse, les incendies, les vents, les eaux, analyse des paysages, de migrations.
d. **Géographique** : Turbidité des côtes, estuaires, sédimentation, aménagements urbains, périurbains, cartographie, étude du parcellaire.
e. **Glaciologie** : Surveillance des glaciers, des icebergs.

I.3 Processus de télédétection

Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes suivantes **(Fig.1)**

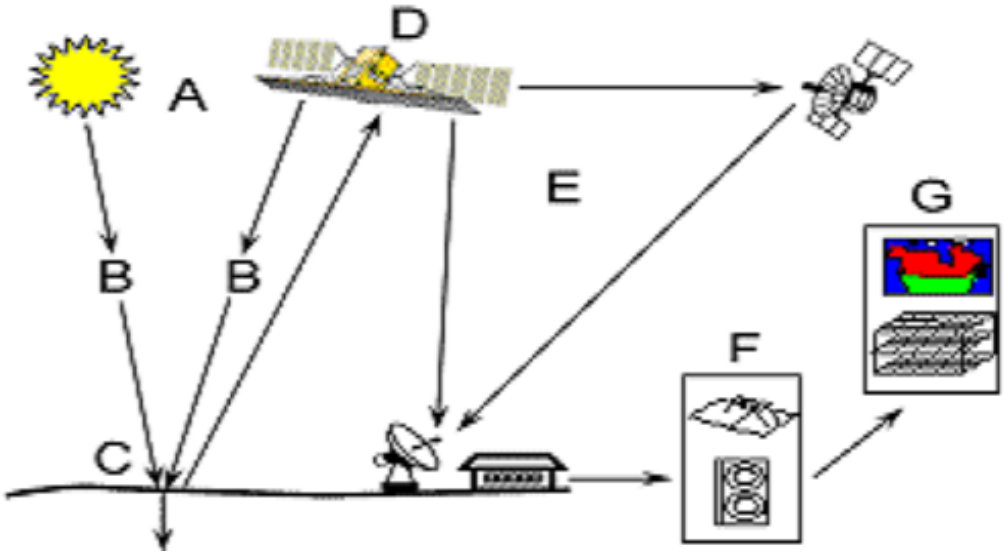


Fig.1 .Processus de télédétection **(CCT, 1999)**

- **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.
- **Rayonnement et atmosphère (B)** - Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère.
- **Interaction avec la cible (C**) - Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci.
- **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.
- **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.
- **Interprétation et analyse (F) -** Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

- **Application (G)** - La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. **(CCT, 1999)**

I.4 Le rayonnement électromagnétique et le spectre électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique peut être considéré comme étant un flux de particules élémentaires appelés photons. Le rayonnement électromagnétique est composé de deux vecteurs champ électrique et magnétique perpendiculaires et se déplaçant à la vitesse de la lumière **(fig.2).**

Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique : sa longueur et sa fréquence **(Soudani K, 2005)**

Le spectre électromagnétique présente toutes les gammes d'ondes depuis les plus Petites longueurs d'ondes (fréquence très élevée) jusqu'aux plus grandes (fréquence très basse). **(Mokhtari, 2009)**

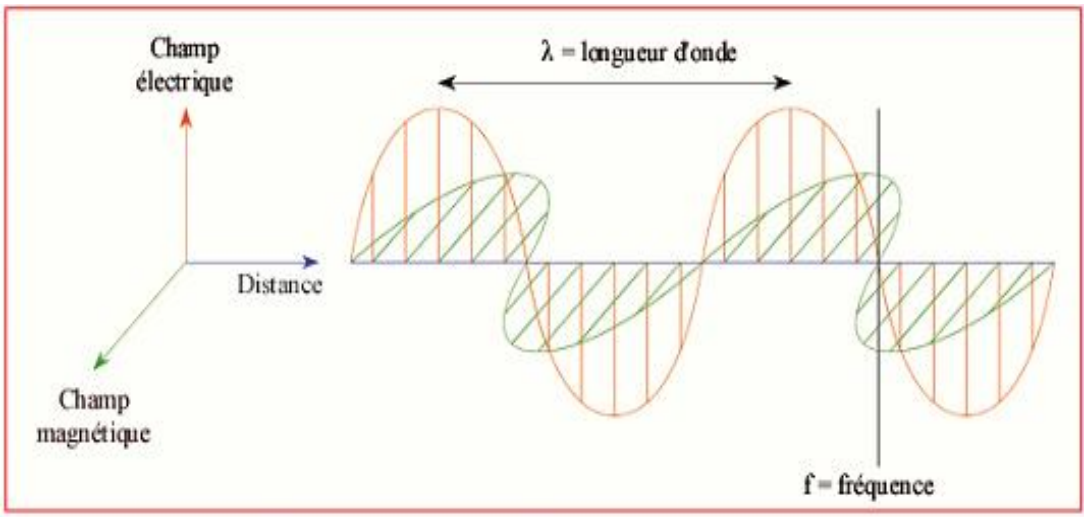


Fig.2 : Onde électromagnétique **(Lillesand et al, 1987).**

La télédétection utilise une partie du spectre électromagnétique présenté par les gammes de longueurs d'ondes sont **(fig.3)**

- **Le visible, rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres:** La partie visible du spectre va du 0,38µm à 0,78µm, toutes les couleurs de arc-en-ciel du violet (proche de 0,38µm) jusqu'au rouge (environ 0,65µm) en passant par le bleu (0,45µm) et le vert (0,55µm), la plupart des satellites d'observation de la terre ont des capteurs enregistrant dans cette partie du spectre.

- **Le proche infrarouge,** rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres : Centré sur environ 0,9µm, est très utilisé pour l'étude de la végétation et la détection de l'eau. Inter linge.
- **Le moyen infrarouge,** rayonnement à la fois réfléchi et émis par les surfaces terrestres **:** Centré sur environ 3µm, est un peu moins utilisé et sert à la détection de l'eau dans les plantes, la détection de la neige et de la glace, l'évaluation de l'humidité du sol.
- **L'infrarouge thermique, émis par les surfaces terrestres** : De 8 à 12µm est très utilisé en météorologie et climatologie
- **Le domaine des hyperfréquences, émis par une antenne et renvoyées par la surface terrestre pour les hyperfréquences actives et émises par les surfaces** Est compris entre 2 et 30cm de longueur d'onde. Elles sont de plus en plus utilisées, Océanographie et en agriculture **(CCT, 2005)**

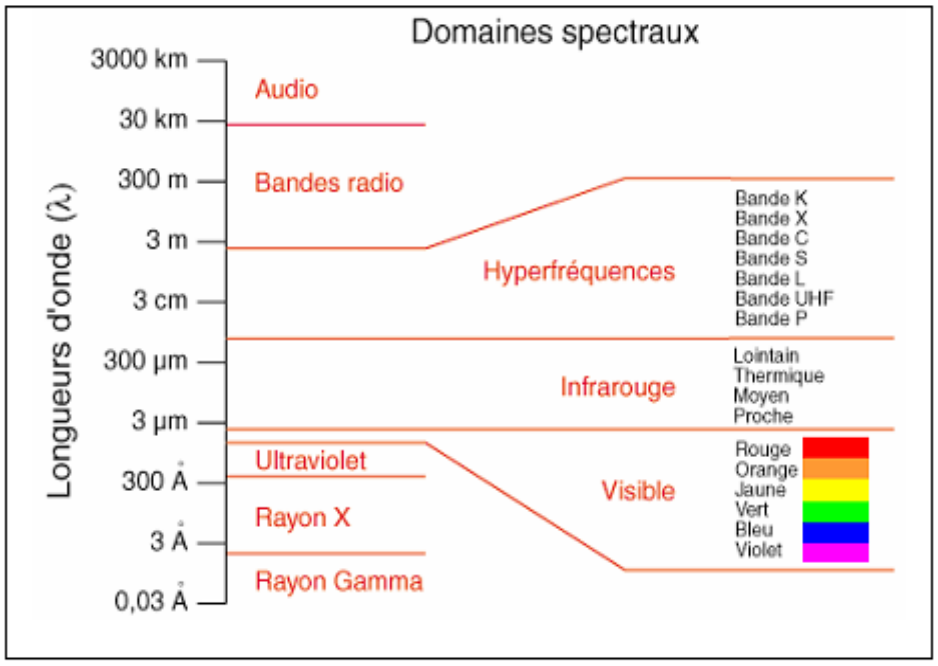


Fig.3 : Spectre électromagnétique et les systèmes de télédétection **(Lillesand et al, 1987)**

I.5 Interaction rayonnement atmosphère

L'atmosphère est un mélange de gaz, elle est divisée en plusieurs couches, les 80 premiers kilomètres contiennent plus de 99% de la masse totale de l'atmosphère de la Terre. **(Fig.4)** Lorsque le rayonnement EM traverse l'atmosphère, il peut être absorbé ou diffusé par les particules de l'atmosphère et elle émet également IR thermique. **(Telcan, 2013)**

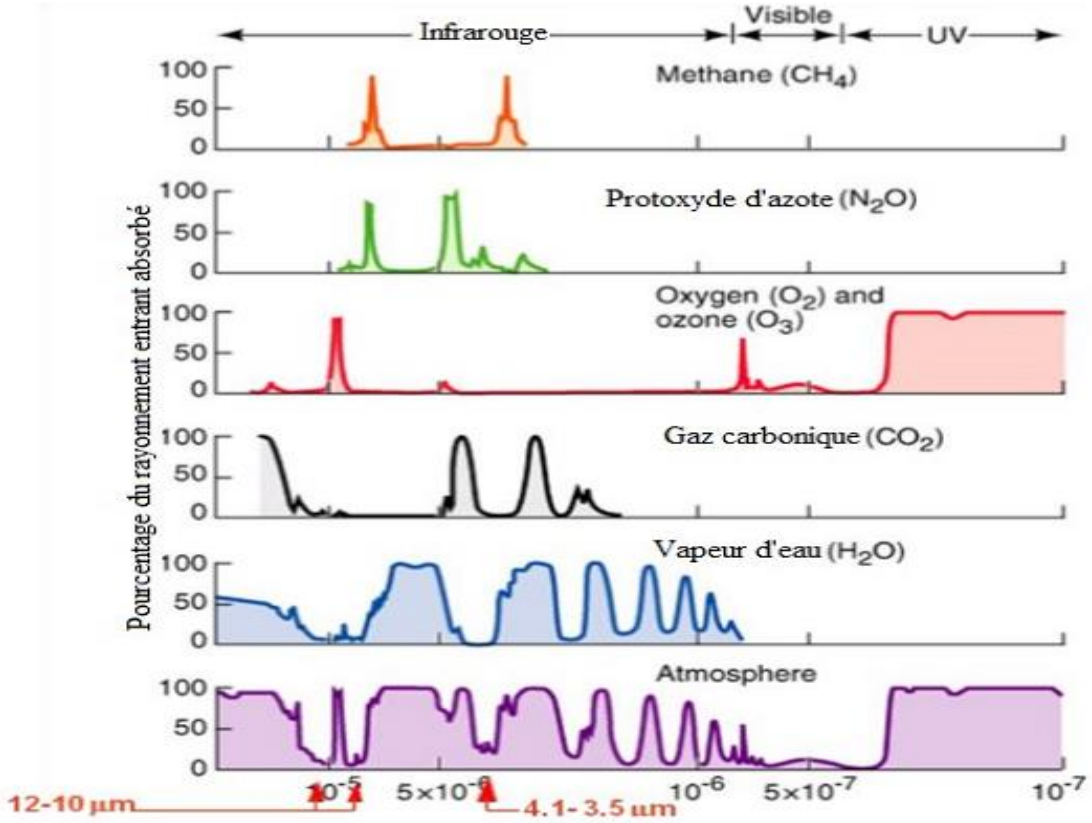


Fig.4 : Pourcentage du rayonnement absorbé par l'atmosphère **(Telcan, 2013)**

I.6 Interaction rayonnement matière

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique atteint un objet, certaines longueurs d'onde sont absorbées tandis que d'autres sont réfléchies par l'objet. Une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise à travers l'objet si celui-ci est plus ou moins transparent, avec un changement de direction de la propagation du à la réfraction.

La partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur qui sera réémise sous forme d'un rayonnement à une plus grande longueur d'onde **(UVED, 2008)**

Il existe trois types d'interaction rayonnement et matière quelconque **(UVED, 2008)**

- **Absorption**

Tous les corps naturels absorbent une partie du rayonnement qui leur parvient. La partie du rayonnement absorbé modifie l'énergie interne du corps. Il y a production de chaleur et réémission de l'énergie à une plus grande longueur d'onde

- **Réflexion**

La réflexion se définit comme un changement de direction du rayonnement électromagnétique quand celui-ci atteint une surface. La direction du rayonnement réfléchi peut varier, elle dépend de la rugosité des surfaces naturelles. On distingue ainsi trois types de réflexion : réflexion spéculaire, réflexion diffuse et réflexion de volume. **(fig.5)**

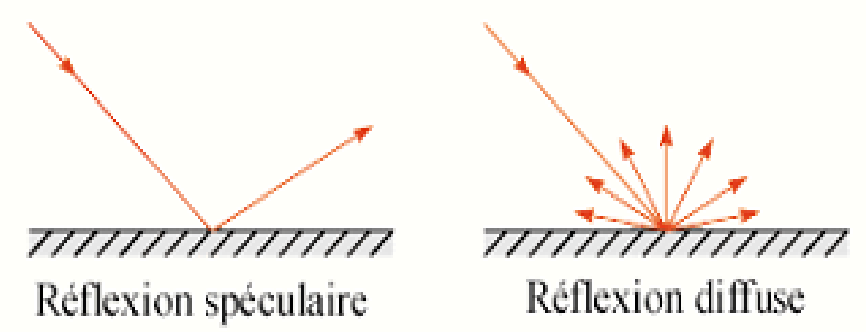


Fig.5: Les types de réflexion **(Bonn, 1992).**

- **Transmission**

Lorsqu'une partie du rayonnement incident passe à travers un milieu, on dit que le rayonnement est transmis.

Le phénomène de transmission concerne les milieux plus ou moins transparents comme l'eau, les nuages ou l'atmosphère, mais pas uniquement. Le feuillage des arbres par exemple se comporte comme un milieu transparent vis-à-vis du rayonnement proche infrarouge **(fig.6).**

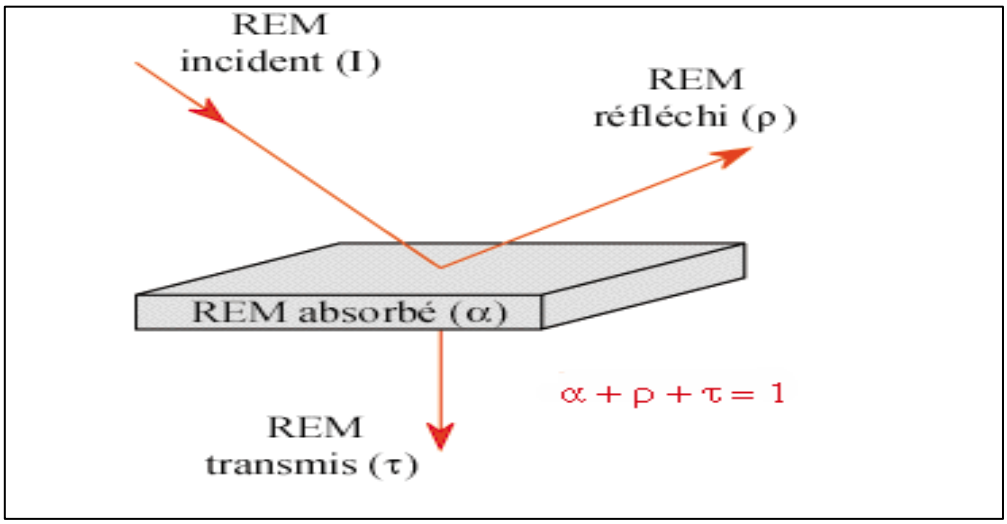


Fig.6 : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière **(Bonn.et al, 1992)**

L'énergie reçue (Er) par un objet est décomposée en trois énergies :

Réfléchie (R), transmise (T) et absorbée (A). Ainsi on a **: Er = A + R + T**

Ces trois coefficients ont des valeurs qui varient entre 0 et 1 et leur somme est toujours égale à 1, selon le principe de la conservation de l'énergie **(UVED, 2008).**

I.7 La signature spectrale

La signature spectrale d'un point d'une image est considéré comme l'information caractéristique de chaque pixel, or caractérisé complètement un pixel. **(Maredj, 1992)**

Chaque surface possède ainsi une signature spectrale une 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. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles. **(ENVCAL, 2016) (fig.7)**

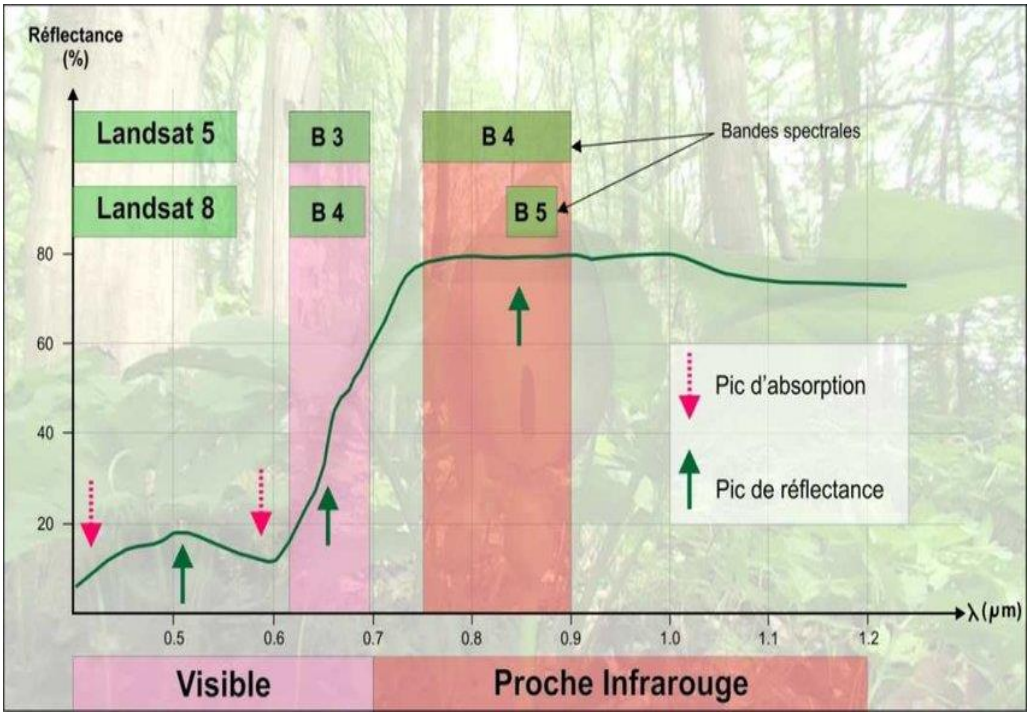


Fig.7 signature spectrale de la végétation verte et zonage des intervalles de discrimination des bandes Rouges et Infrarouges (Landsat 5 et Landsat 8 OLI) **(Jaziri , 2019)**

I.8 Systèmes Vecteurs - Capteurs

I.8.1 Les vecteurs

Un vecteur correspond à tout objet se déplaçant et susceptible de porter un capteur. On peut donc définir divers types de vecteurs ça dépanade la distance qui opèrent tel que :

Véhicules qui supportent des radiomètres ou appareils photographiques. Avions, hélicoptères les ballons stratosphériques les satellites soumis à l'attraction terrestre, qu'ils soient habités ou non. Ces derniers sont les plus courants pour l'observation de la terre **(Girard & Girard, 1999)**

I.8.2. Les capteurs

Ils sont représentés par des instruments permettant de mesurer, dans une longueur d'onde donnée, un signal électromagnétique délivré par une portion d'un territoire visé et le transformer sous forme mémorisable. On distingue classiquement deux types de capteurs: **(fig.8)**

- **Les capteurs actifs** envoient une énergie et recueillent la fraction que les objets renvoient ;(radar, lidar, laser, fluor mètre, etc.)
- **Les capteurs passifs** reçoivent l'énergie que les objets émettent ou réfléchissent (Radiomètre, cameras, spectroradiomètres, etc.), l'émetteur principale étant le plus souvent le soleil. Chaque capteur est constitué d'un nombre de bandes spectrales et d'une résolution spectrale. **(Girard & Girard, 1999)**

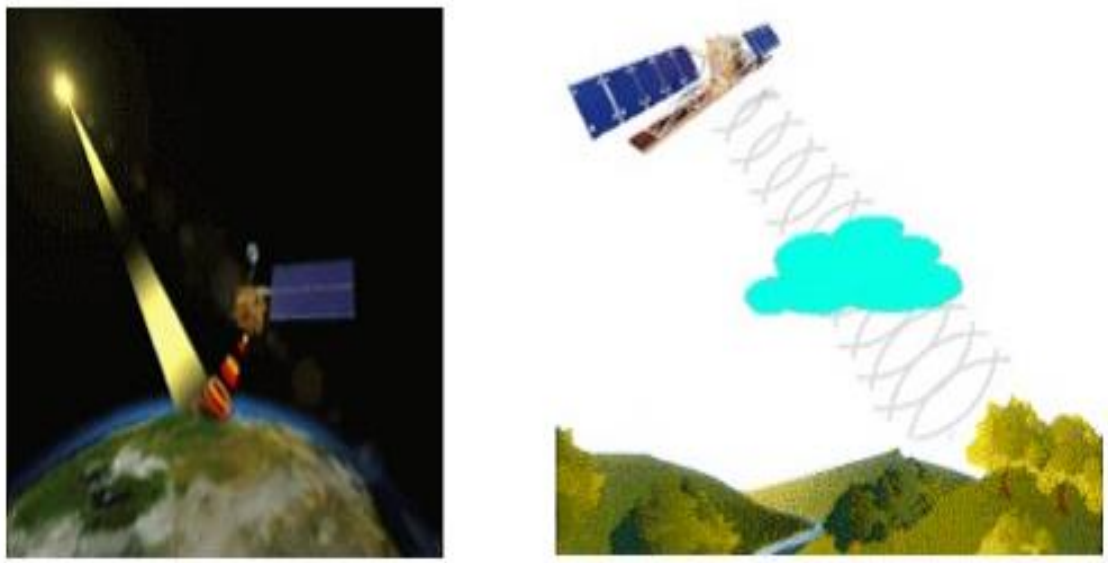


Fig.8 : Télédétection passive et télédétection active **(CCRS/CCT)**

I.9 La Résolution

Les capteurs satellitaires présentent différentes capacités techniques regroupées sous la dénomination de « résolutions ».

Elles fonctionnent comme un balancier dans lequel un équilibre doit toujours être respecté : il n'existe pas (encore) de satellite unique possédant de très bonnes résolutions spatiale et spectrale et radiométrique et temporelle. C'est pour cela que l'on développe des constellations de satellites permettant de pallier chacune des limitations.

On distingue principalement 4 types de résolution en détection passive : spatiale, spectrale, radiométrique et temporelle. **(Chuvieco, 1996)**

- **Résolution Spectrale**

Elle correspond aux bandes de longueurs d'onde auxquelles les capteurs sont sensibles.

La résolution spectrale est déterminée par la largeur des bandes spectrales utilisées par le capteur ainsi que par le nombre de bandes ; elle décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'onde. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites.

- **Résolution Spatiale**

Correspond à la surface élémentaire d'échantillonnage observée instantanément par le capteur satellitaire. Cette surface correspond au pixel (Picture élément). Par exemple, cette résolution est 20 m * 20 m pour le satellite SPOT, 30 m * 30 m pour le satellite Landsat Thématique Mapper, etc. selon les caractéristiques du capteur, l'altitude du satellite (donc son orbite autour de la Terre), les images seront composées de pixels couvrant une surface au sol plus ou moins grande du sol. On classera ainsi les images enregistrées en images **(Fig.9)** :

- Basse résolution 30-1000 m
- Moyenne résolution 4-30 m
- Haute résolution (HRS) 1-4 m
- Très haute résolution (THRS) 1m

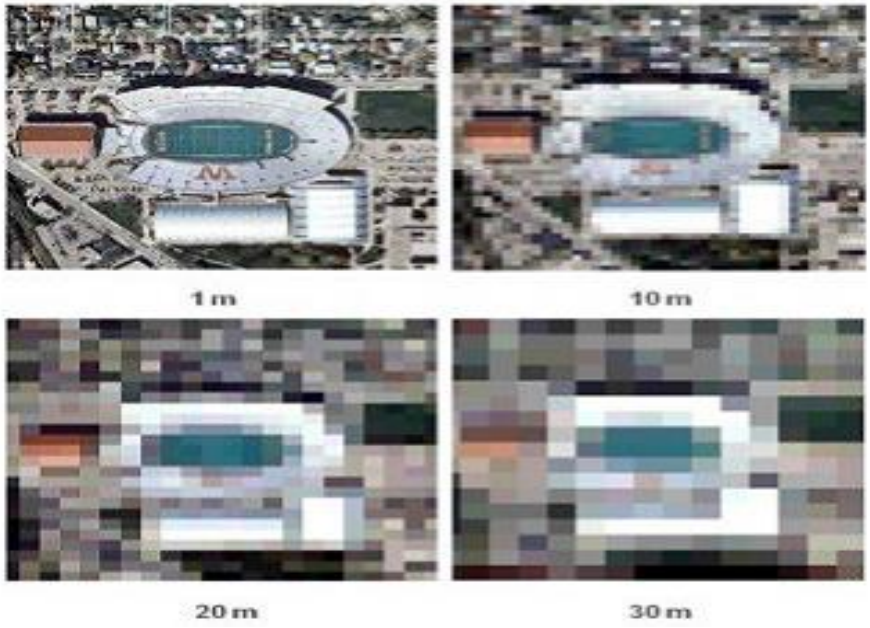


Fig.9 : Résolution spatiale **(Source : Google)**

- **Résolution radiométrique**

Elle correspond à 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. Pour un codage en 8 bits, le niveau de gris correspondant au rayonnement réfléchi varie entre 0 et 255 (soit 256 niveaux de gris). En 16 bits, le niveau de gris varie entre 0 et 65535.

- **Résolution temporelle ou répétitivité**

Correspond à la période entre deux acquisitions de la même scène. Cette résolution ne dépend pas du capteur mais de l'orbite et du mode de manœuvre du satellite. Sans manœuvre, la résolution temporelle de SPOT est de 26 jours, 16 jours pour LANDSAT TM … etc.

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

I.10 Les satellites d'observation de la terre

Parmi les satellites qui nous intéressent (LANDSAT, SPOT) pour l'observation des ressources terrestres, et (METEOSAT, NOAA) dont le but est l'environnement et la météorologie.

a. SPOT

Le système SPOT (Système pour l'observation de la Terre) est une série de satellites lancés par le Centre National d'Études Spatiales (CNES) de la France, avec l'aide de la Belgique et

de la Suède. SPOT-1 a été lancé en 1986, e. Tous les satellites sont en orbite héliosynchrone polaire à une altitude de 830 km, ce qui produit une répétitivité de 26 jours. Ils croisent l'équateur vers 10h30 heure solaire locale**. (Beldjazia A, 2019)**

Tab.1 : Caractéristiques spectrales du satellite spot **(Beldjazia A, 2019)**

Mode / bande	**Domaine spectral (microns)**
Panchromatique (PLA)	0.51-0.73 (bleu-vert-rouge)
Multi spectrale (MLA)	
Bande 1	0.50-0.59 (vert)
Bande 2	0.61-0.68 (rouge)
Bande 3	0.79-0.89 (proche infrarouge)

b. LANDSAT

Bien que plusieurs satellites météorologiques soient également utilisés pour la surveillance de la surface de la Terre, ceux-ci n'ont pas été conçus pour la cartographie détaillée de la surface terrestre.

Suite aux succès éclatants des premières images des satellites météorologiques dans les années 60, et par les images acquises lors des missions spatiales habitées, le premier satellite d'observation Landsat-1 a été lancé par la NASA en 1972.**(ENSG., 2021)**

Connu à l'origine sous l'acronyme ERTS-1 (EarthResourcesTechnology Satellite), Landsat avait été conçu pour tester la faisabilité d'une plate-forme multi spectrale d'observation de la Terre non habitée. Depuis, le programme Landsat a permis l'acquisition de données sur tous les coins de la planète. Le programme Landsat qui était gérée à l'origine par la NASA, est sous la responsabilité de la NOAA, en 1983. En 1985, le programme a été commercialisé pour fournir des données aux divers utilisateurs civils.

Les satellites de la série Landsat portent plusieurs capteurs comme les systèmes de caméras

RBV (Return Beam Vidicon), le système MSS (Multi Spectral Scanner), et plus tard, le TM (Thematic Mapper) Chacun de ces capteurs a une fauchée de 185 km, avec une scène complète de 185 km sur 185 km. **(Beldjazia A ,2019).**

8 satellites lancés **(Fig.10, 11) ,**Landsat 7 et 8 sont actuellement opérationnels.

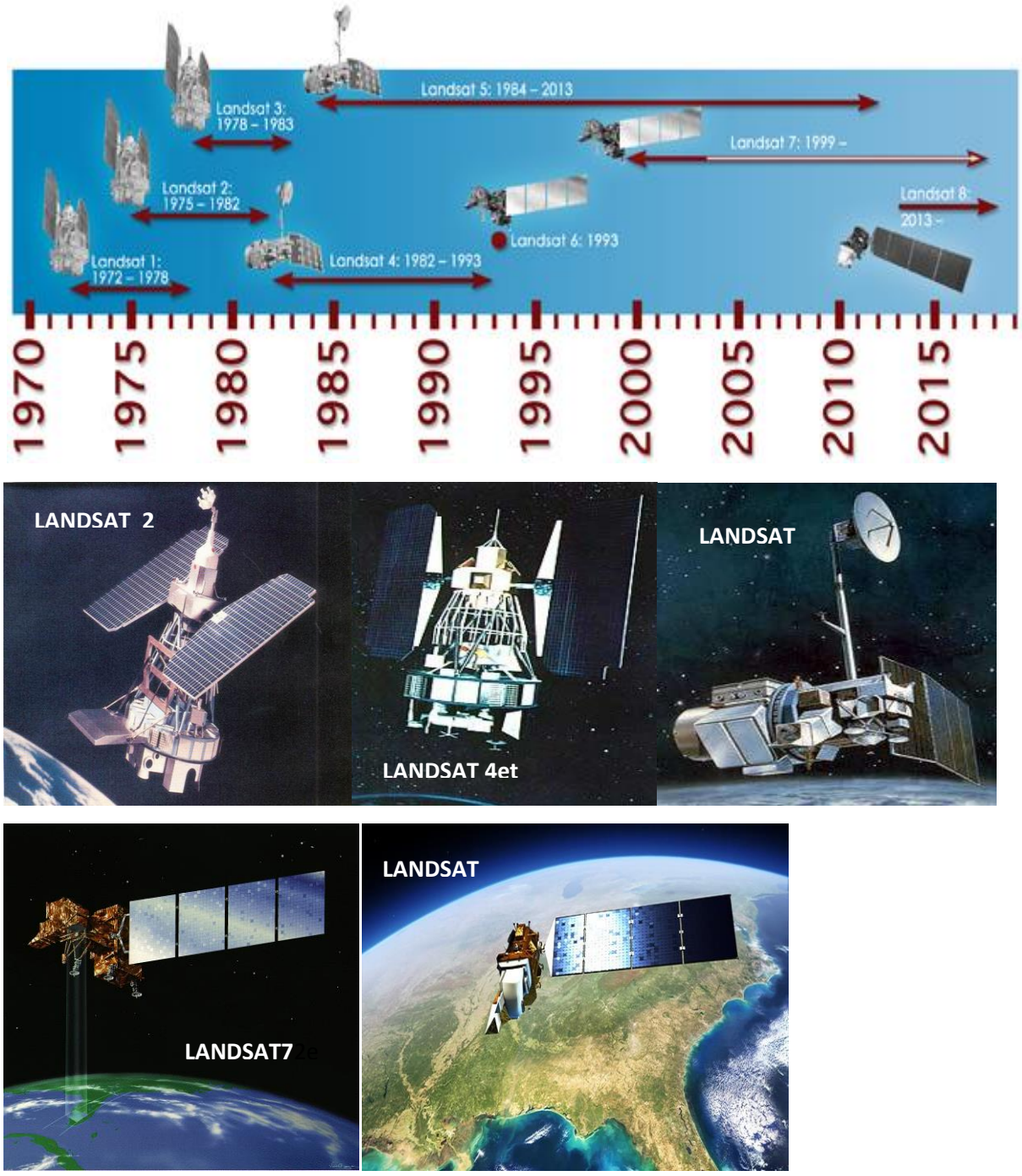


Fig.10: les satellites Landsat lancés **(ENSG, 2021)**

Tab.2 les caractéristiques des différents satellites LANDSAT **(Gilles .T, 2020)**

	LANDSAT	LANDSAT 4 et 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Pays	USA	USA	USA	USA
Date de lancement	1972	1984	avril 1999	11 février 2013
Altitude	705	705	705	705
Capteurs	MSS (Multispectral Scanner)	TM (Thematic Mapper)	ETM + (Enhance Thematic Mapper)	OLI (Operational Land Imager) TIRS (thermal infrared sensor)
Type	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage
Bandes spectrales	**1-** (V)[0,5-0,6µm] **2-** (R)[0,6-0,7 µm] **3-** (IR) [0,7-0,8 µm] **4-** (IR) [0,8-1,1 µm]	**1-** (B) [0, 45, 0,52 µm] **2-** (V) [0,52-0,60 µm] **3-** (R) [0,63-0,69 µm] **4-** (IR) [0,76-0,90 µm] **5-** (IRM) [1,55-1,75 µm] **6-** (IRT) [10,4-12,5 µm] **7-** (IRM) [2,08-2,35 µm]	**1-** (B) [0,45, 0,52 µm] **2-** (V) [0,53-0,61 µm] **3-** (R) [0,63-0,69 µm] **4-** (IR) [0,78-0,90 µm] **5-** (IRM) [1,55-1,75 µm] **6-** (IRT) [10,4-12,5 µm] **7-** (IRM) [2,09-2,35 µm]	**1-** Côtier/aérosol [0.43 - 0.45 µm] 30 m 2- (B) [0.450 - 0.51 µm] **3-** (V) [0.53 - 0.59 µm] 30 m **4-** (R) [0.64 - 0.67 µm] 30 m **5-** (PIR) [0.85 - 0.88 µm] 30 m **6-** (IRM1)[1.57 - 1.65 µm] 30 m **7-** (IRM2) [2.11 - 2.29 µm] 30 m **8-** (PAN) [0.50 - 0.68 µm] 15 m **9-** Cirrus [1.36 - 1.38 µm] 30 m **10-** (TIR) [10.60-11.19] **11-** (TIR) [11.50-12.51]
Résolution spatiale (dimension des pixels)	60 x 80 m	30 m Bande 6 : 120 m	30 m Bande 6 : 60 m Pan : 15 m	30 m Pan : 15 m

I.11 Les différentes orbites des satellites

L'orbite correspond à la trajectoire effectuée par le satellite autour de la Terre. On distingue trois types d'orbite : **(fig.11)**

- ✓ **L'orbite circulaire**: Le satellite tourne autour de la terre à une même altitude. Les satellites TIROS, NOAA et ERS-1 ont des orbites circulaires.
- ✓ **L'orbite géostationnaire**: Le satellite reste fixe au-dessus d'un point de la terre .Les satellites : METEOSAT (France), GOES (Etats- Unis), GMS (Japon), et INSAT (Inde) ont des orbites géostationnaires.
- ✓ **L'orbite héliosynchrone**: Le satellite passe toujours à la même heure solaire locale en un même point de la terre. Il faut donc que le plan orbital du satellite reste fixe par rapport au plan orbital de la terre autour du soleil. Les satellites NIMBUS, LANDSAT (Américain) et SPOT (France) ont des orbites héliosynchrones. **(CCRS/CCT)**

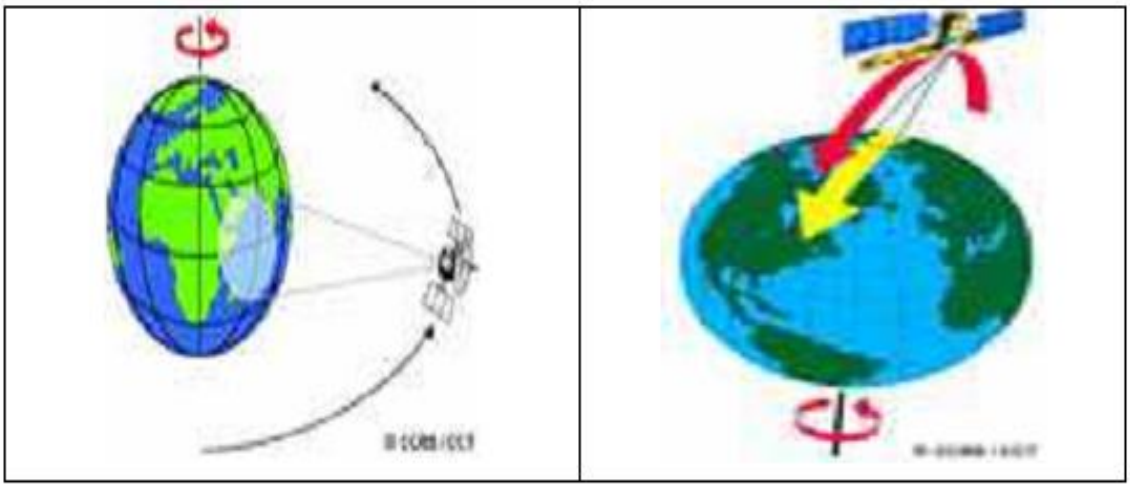


Fig.11:orbite Géostationnaire et Héliosynchrone **(CCRS/CCT)**

I.12 L'image satellitaire

Les informations acquises par télédétection spatiale sont restituées sous forme d'images ou l'unité de résolution est de pixel **(fig.12).** Ce dernier est défini comme étant « la plus petite surface homogène enregistrée de la maille d'échantillonnage » **(Robin, 1998)**

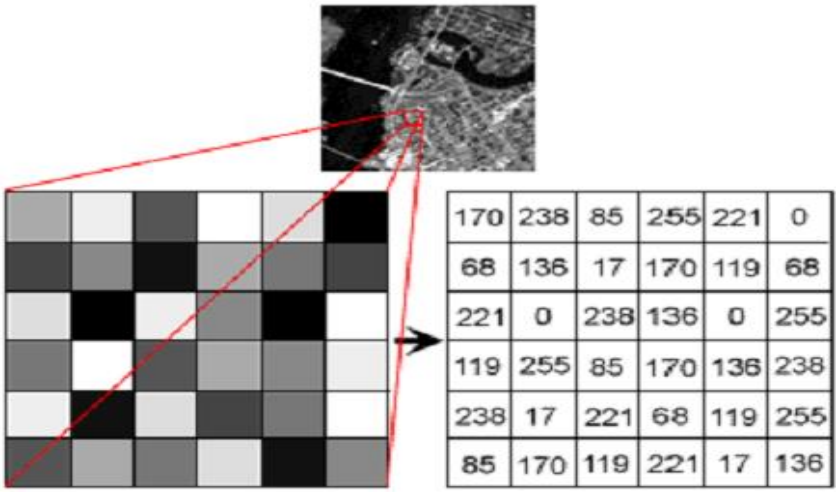


Fig.12 : Image satellite **(CCT, 2005)**

I.13 Traitements des données de télédétection

Les fonctions de traitement des images communément disponibles en analyse d'images en :

I.13.1 Les prétraitements

Les prétraitements Les prétraitements sont des opérations effectuées sur les images en amont de tous traitements de façon à les corriger ou les améliorer géométriquement et thématiquement. Il existe trois types de prétraitements : les corrections radiométriques, les corrections géométriques et les c atmosphériques. **(LEG G, 1992).**

a. Les corrections radiométriques

Elles permettent de diminuer les perturbations dues à l'atmosphère et aux capteurs.

Deux images d'une même région, acquises à des différentes dates peuvent avoir des valeurs numériques différentes ; ceci est dû à des différences dans l'élévation solaire qui dépend de la saison et de l'année ou à des différences de transmission et d'absorption de l'atmosphère ou encore à des changements dans l'occupation du sol de la région étudiée. Ce dernier facteur fait l'objet des études dites" multi dates" **.**La correction radiométrique pour compenser la différence de l'élévation solaire entre différentes dates et la différence dans le calibrage du capteur, est importante pour la détection des changements **(LEG G,1992)**

b. Les corrections géométriques

Elles sont destinées à corriger l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de sol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte.

Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'altitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu (UTM ou Lambert par exemple). Les lois de déformation sont calculées de point particulier, encore appelés amers, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image **(Deshayes. M et *al,* 1990)**

c. Les corrections atmosphériques

Le signal lumineux mesuré par les capteurs d'un satellite traverse deux fois l'atmosphère terrestre, la première fois lors du trajet soleil-cible et le seconde lors du trajet cible-capteurs. A chacun de ces deux traversées, le rayonnement électromagnétique va subir des transformations dues aux propriétés physico-chimiques des deux composants majeurs de l'atmosphère terrestre qui sont les gaz (oxygène, ozone, vapeur d'eau…) et les aérosols (poussières, pollens…). Parmi les logiciels de corrections atmosphériques les plus connus 5S **(Tanre et al, 1992)**

Le logiciel 5S (Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire) permet, grâce à un modèle de simulation du transfert radiatif à travers l'atmosphère non nuageuse, d'évaluer l'importance des effets de l'atmosphère sur les images satellitales et de les corriger partiellement**. (Beldjazia A, 2019)**

I.13 La classification

La classification d'une image satellitale est une transformation quantitative en image thématique. Elle consiste à rassembler 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 al, 1990)**

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre des classes d'information et des classes spectrales **(Cherel , 2010)**

- les **classes d'information** sont des **catégories d'intérêt** que l'analyste cherche à identifier dans les images, comme différents types de cultures, d'espèce d'arbres, différents types de caractéristiques géologiques, etc.

- les **classes spectrales** sont des groupes de pixels qui ont les **mêmes caractéristiques spectrales** (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur radiométrique dans les différents canaux.**(Cherel , 2010)**

L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Dans ce contexte, l'analyste a le rôle de déterminer de l'utilité des différentes classes spectrales et de valider leur correspondance à des classes d'informations utiles.**(Cherel , 2010)**

I.13.1 Classification non supervisée

Dans un premier cas, aucune information préliminaire sur les signatures des objets à classifier n'est communiquée à l'ordinateur qui doit alors rechercher, par association entre les pixels, les signatures les plus communes dans la scène : on dit alors que la classification est non dirigée **(Gay, 1999).**

La classification non dirigée est une classification de données d'image numérique, par traitement informatique uniquement basé sur les statistiques d'image sans recours à des échantillons d'entraînement. **(Gay, 1999)**.

I.13.2 Classification supervisée

Dans le deuxième cas, on possède des connaissances a priori sur la nature des objets contenus dans l'image et il suffit alors de communiquer ces informations à l'ordinateur pour son apprentissage : on dit alors que la classification est dirigée **(Gay, 1999)**.

La classification dirigée est une procédure utilisée pour l'identification de zones « spectralement similaires » d'une image. On identifie d'abord des sites d'entraînement dont on extrait la signature spectrale et à partir desquels on extrapole pour le reste de l'image **(Gay, 1999)**

- **Méthodes paramétriques :** Méthode Maximum de Vraissemblance (Maximum Likelihood).
- **Méthodes non-paramétriques :** Méthode hyperboite ou paralléloïde.Méthode distance minimum.

Les méthodes de classifications par pixels sont délicates à mener car les confusions radiométriques entre classes augmentent avec la résolution des capteurs et l'hétérogénéité spatiale des milieux.

I.14 Les indices de végétation

Les indices de végétation constituent une approche empirique pour identifier et suivre l'évolution temporelle des couverts végétaux. Ils sont calculés à partir des mesures de réflectance sur le terrain ou de comptes numériques fournit par les données satellitaires, afin d'évaluer l'indice foliaire, le développement de la végétation, les effets de stress, l'évaporation de la végétation, et certains paramètres du couvert comme la biomasse aérienne chlorophyllienne. Ce qui a donné lieu à l'élaboration de diverses formules avec des coefficients de pondération **(Girard & Girard, 1999).**

La complexité structurale des couverts et la multitude des facteurs externes perturbateurs (géométrie de visée et élévation solaire, effets atmosphériques et propriétés optiques du sol) sont à l'origine de la multiplicité des indices. Ils sont classés en deux catégories **(Baret & Guyot, 1991):**

a. **Indices caractérisés par une pente** : RVI (Ratio Vegetation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index), etc.
b. **Indices caractérisés par une distance** : WDVI (Weighted Difference Vegetation Index), PVI (Perpendicular Vegetation Index).

L'indice le plus utilisé reste incontestablement le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) pour la bonne corrélation qu'il présente avec la densité de la végétation au sol.**(Rouse et al, 1974)**

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

Dont les valeurs varient entre - 1 et + 1

Pour comprendre le principe de cet indice, on se souviendra que la signature spectrale de la végétation est très particulière, car elle montre un pic très marqué dans le proche infrarouge, et une réflectance moindre dans le rouge.

Cet indice est très efficace pour déterminer la présence de végétation, mais il peut également servir à évaluer l'importance de la biomasse végétale ainsi que l'intensité de l'activité de photosynthèse

II. Présentation de la zone d'étude

II.1 Historique de création du parc national de Chrèa

C'est en 1912, sous l'impulsion de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord que fût projetée l'idée de création du Parc National de Chrèa.

Afin de parer à toute dégradation du milieu et mettre rationnellement ses ressources et beautés naturelles au profit de l'homme, le parc fut créé autour de la station estivale de Chréa fréquentée par une population importante de visiteurs en quête de repos, de loisirs et de détente. Déjà à l'époque.

Le 03 Septembre 1925, le Parc National de Chrèa est constitué par arrêté gouvernemental pris en application de l'arrêté général du 17 Février 1921 fixant le statut type des Parcs Nationaux en Algérie. Il renfermait alors l'ensemble de la forêt de Cèdre, couvrant près de 1351 ha.

En application du décret n° 83 - 458 du 23.07. 83, portant statut-type des Parcs Nationaux en Algérie, le Parc national de Chrèa est de nouveau crée par décret n° 83-461 du 23.07.83. Il porte sur une superficie de **26.587 Ha** dégagée d'après une étude réalisée par le Bureau National des Etudes Forestières. **(PNC, 2013) (Fig.13)**

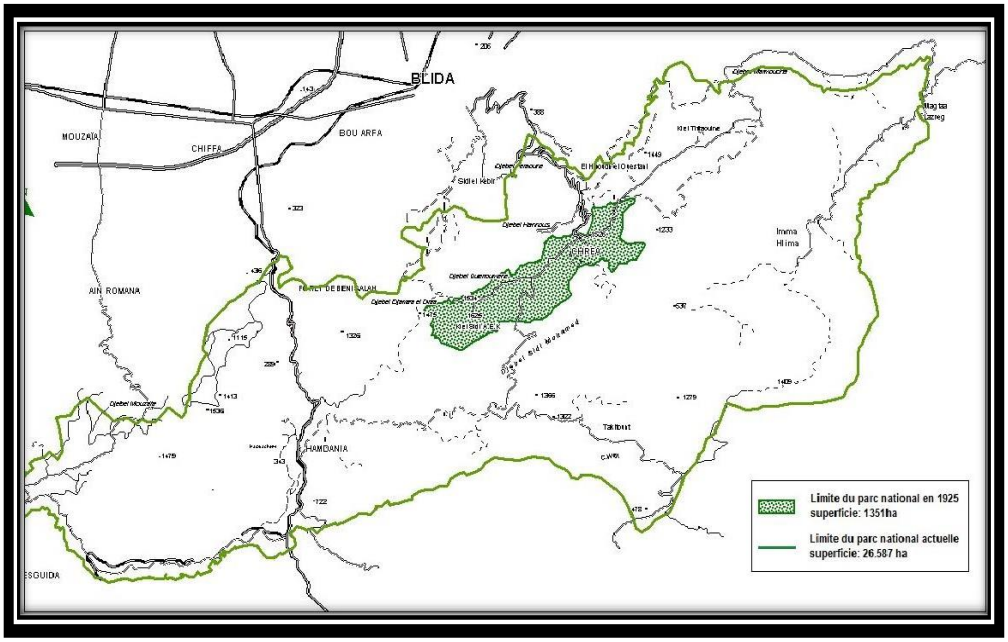


Fig.13: Carte historique du Parc National de Chréa **(PNC, 2013)**

II.2 But de sa création

Le but de sa création est la conservation de la nature et des sites remarquables et de ses ressources naturelles contre toute atteinte et dégradation. Doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. **(Dahel, 2015)**

Le Parc National est classé réserve de Biosphère par le programme MAB de l'UNISCO. En plus du rôle vital qu'il joue pour le secteur de l'Algérois en tant que réservoir d'eau pour les grandes villes du centre, il offre un intérêt pour la conservation des écosystèmes rare et menacés de l'Atlas du Nord. **(UNISCO, 2015)**

II.3 Localisation géographique

Situé à 5O km au sud-ouest d'Alger (**fig.14)**, le Parc National de Chrèa s'étend en écharpe sur **26 587 Ha** le long des parties centrales de la chaîne de l'Atlas Tellien, comprises entre les latitudes Nord 36°19' / 36°30', et les longitudes Est 2°38' / 36°02. (**PNC, 2013)**

Le parc national de Chréa se présente comme une barrière rocheuse dont les limites sont constituées par les lisières des forêts ou de lignes de crête et par une multitude d'oued dont les principaux sont Oued Chiffa, Oued Kébir, Oued Mousaoud et Oued et Mektâa. **(Bensaada ,1986).**

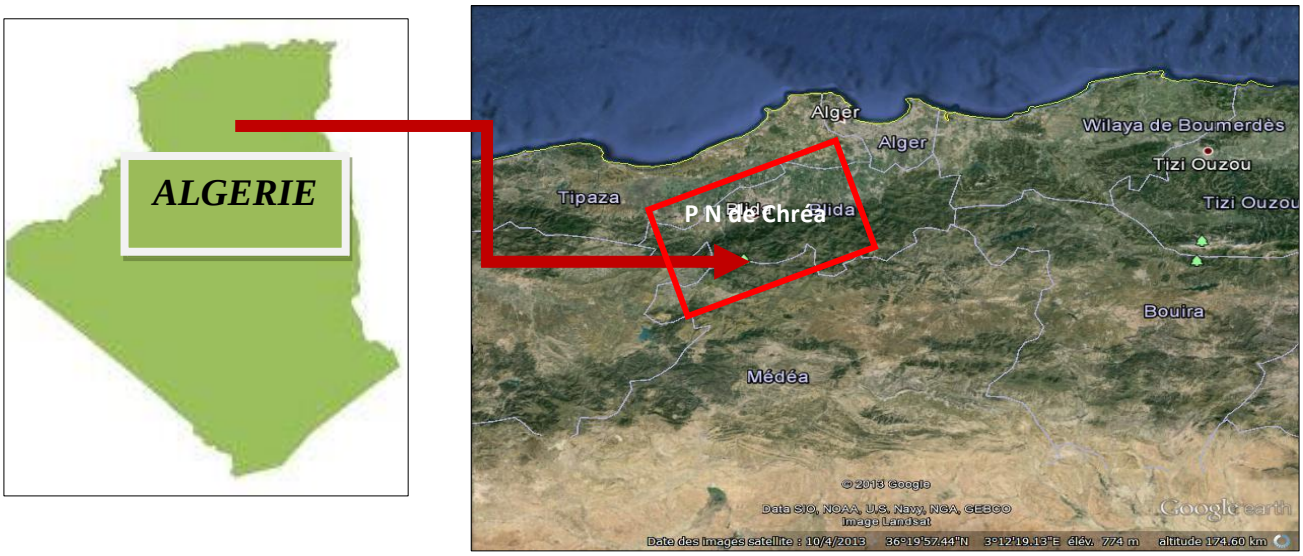


Fig.14: Carte de situation géographique du Parc National de Chréa **(PNC, 2013)**

II.4 Géomorphologie et limite territoriale

Situé à mi-distance entre le chef-lieu des wilayas de Blida et de Médéa **(fig.15)**, le Parc National de Chrèa chevauche entre les wilayas de Blida et Médéa, selon le nouveau découpage territorial datant de 1984 par le décret n° 91 306 du 24/08/91.

La wilaya de Blida compte près de **17875 Ha** soit **67,43%** de la superficie totale. Elle regroupe principalement les reliefs septentrionaux des djebels Mouzaia, Guerroumane et Ferroukha situés successivement , dans les communes de Ain Romana, Chiffa, Bouarfa, Blida, Chréa, OuledYaïch, Bouinan, Soumaâ et Hammam Melouane .

La wilaya de Médéa, compte près de **8 650 Ha** soit **32,57%** de la superficie totale. Elle regroupe en particulier les reliefs méridionaux des djebels Mouzaia, les versants nord et sud et adrets des djebels AzrouMouch, de Sidi Mohamed, ainsi que toutes les topographies de Koudiat El Kalàa, Kudirat Alloua, et Kudirat El Guettera. Il est à noter que la commune d'El Hamdania est totalement englobée dans le territoire du Parc.

Les **8650 ha** que totalise la wilaya de Médéa sont répartis entre les communes de Tamezguida, et El Hamdania. Elle couvre toute la partie méridionale du Parc national de Chréa qui repose avec sa zone périphérique, sur un milieu épars fortement ponctué par une anthropisation rurale. **(PNC, 2013)**

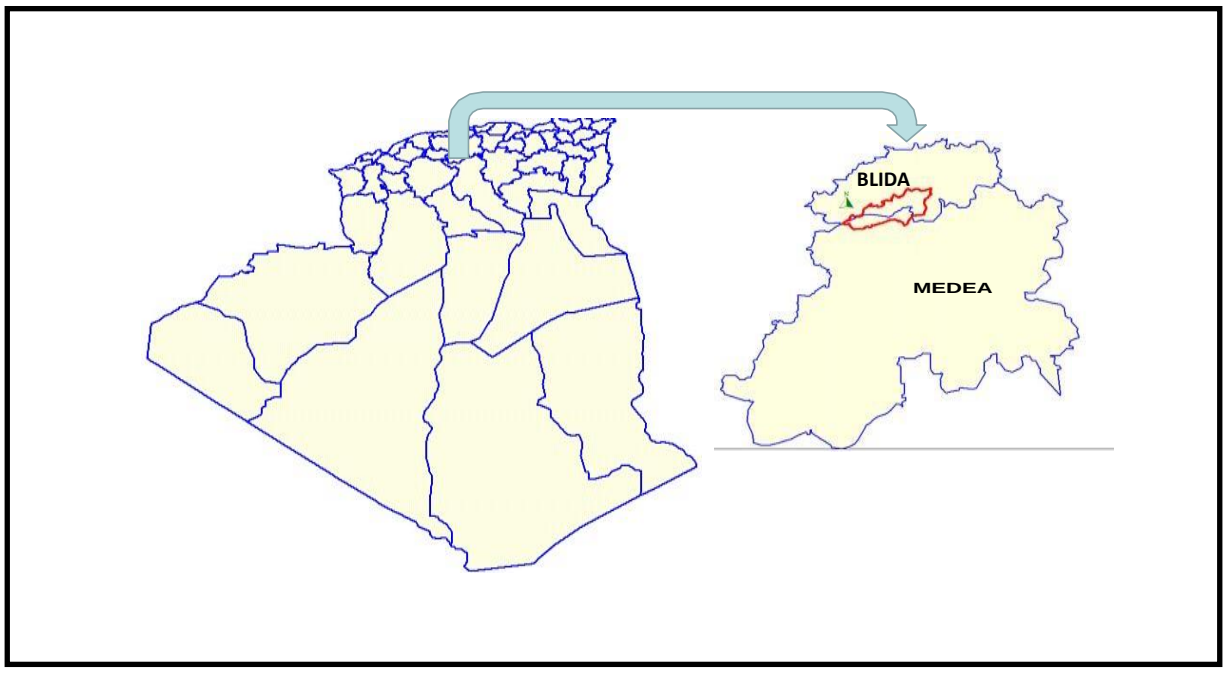


Fig.15.: Position du Parc National de Chrèa entre Blida et Médéa. **(PNC, 2013)**

Tab.3 Superficies en hectares et en pourcentages des différentes communes Comprises dans le parc national de Chrèa **(PNC,2013)**

WILAYAS	Communes	Superficie	%	% Wilaya
BLIDA	**Ain Romana**	**316 ha**	***1,26%***	***67,43%***
	Chiffa	**1225 ha**	***4,61%***	
	Bouarfa	**3343 ha**	***12,57%***	
	Blida	**84 ha**	***0,32%***	
	Chréa	**7602 ha**	***28,59%***	
	OuledYaïch	**56 ha**	***0,21%***	
	Soumaâ	**273 ha**	***1,03%***	
	Bouinan	**174 ha**	***0,65%***	
	Hammam Melouane	**4764 ha**	***17,92%***	
	Total de la wilaya	**17857ha**	***67,43%***	
MEDEA	**Tamezguida**	**4100 ha**	***15,45%***	***32,57%***
	El Hamdania	**4550 ha**	***17,12%***	
	Total de la wilaya	**8650ha**	***32,55%***	
	T O T A L	**26587ha**	**100%**	**100%**

II.5 La division sectorielle du parc

Le Parc national de Chréa compte 03 zones d'intérêt majeures :

- **La zone d'El Hamdania:** à l'ouest qui se distingue par des capacités naturelles importantes dont la réserve du singe magot, le gite des rapaces, les gorges de la Chiffa, les cascades d'eau, le lac de haute altitude de Tamesguida 1230 m avec diversité végétale de Formation à chêne vert , à chêne liège , à chêne zeen .à pin d'Alep.à thuya de Berbérine et à ripisylves.
- **La zone de Chréa:** au centre qui renferme une cédraie centenaire majestueuse, un arboretum riche et varié, des espèces végétales rares et rarissimes, des lieux d'activités sportives d'été et d'hiver avec une diversité végétale de Formation à cèdre de l'Atlas, à chêne vert, à chêne liège et à pin d'Alep.
- **La zone de Hammam Melouane:** à l'est qui se distingue par ses richesses thermales importantes, une vocation rurale caractérisée, et des lieux de détente et d'évasion en nature importants avec diversité de Formation à chêne vert,à pin d'Alep et à ripisylves.**(Fig.16)**. **(PNC, 2013)**

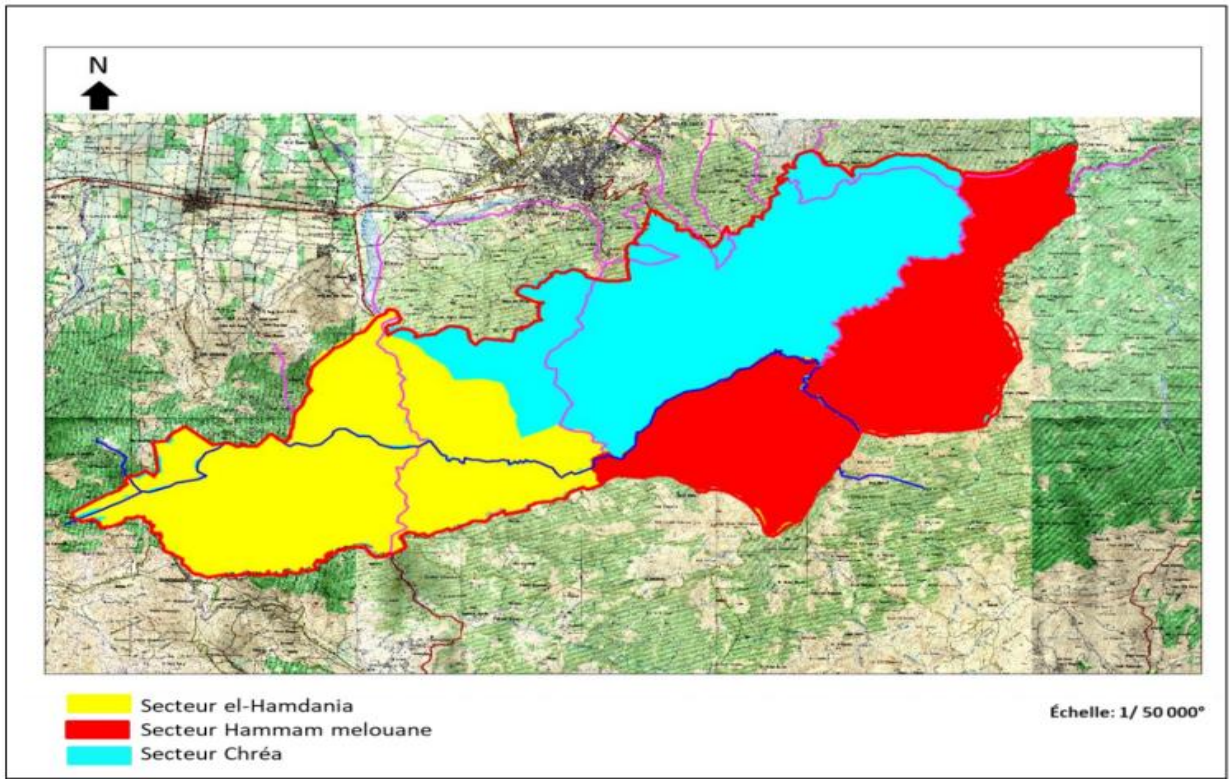


Fig.16: Carte administrative des secteurs du PNC **(PNC, 2020)**

II.6 Milieu abiotique

II.6.1. Lithologie du parc

La région étudiée n'offre pas une grande diversité de roches ; en effet, les formations les plus anciennes sont représentées par de puissantes assises de schistes argileux (dit : schiste de la Chiffa) avec quelques taches de calcaires jurassiques, puis viennent la formation composée d'Argile et quartzite et enfin le facies marneux qui se développe sur la bordure Nord du pied du contrefort de Blida. (**BNEF, 1981)**

II.6.2 Hydrologie du parc

Le Parc National de Chréa présente de par sa position géographique, une potentialité hydrique importante. C'est une zone très arrosée: 1000 mm de précipitation sur les sommets et les zones d'altitude du versant Nord, et autour de 900 mm pour la majorité des stations.

La composante hydrographique de ce territoire est divisée en deux grandes parties appartenant aux deux bassins versants des oueds El Harrach et Mazafran. (**PNC, 2013**).

- A l'Est le bassin versant de l'Oued El Harrach s'étendant sur 12 450ha.
- A l'Ouest le bassin versant de l'Ouest Mazafran s'étendant sur 14 137ha.

Les eaux du Parc liées au bassin versant de l'oued El Harrach sont principalement drainées par oued Maktaa (dont les principaux affluents sont oued Kerrache, oued Tamda, oued Edhib, oued Taberbout, oued Isslsel et oued Boussaad), et oued Boumaane (drainant les eaux situées au sud de cette partie). L'oued Boumaane constitue la limite Sud-Est du Parc. Les eaux déversés par l'oued Chiffa dans l'oued Mazafran, forment un plus grand étenduet regroupent plusieurs zones **(fig.17)**. (**PNC, 2013**)

- **La zone Nord:** drainée essentiellement par oued El Kébir qui se déverse dans l'oued Chiffa.
- **La zone Sud:** les eaux situées à l'Est de l'oued Chiffa constituent l'origine de l'oued Merdja, principal collecteur des eaux de la région. Elles sont déversées dans l'oued Chiffa.
- **La zone de l'extrême Ouest:** une grande partie de ses eaux proviennent en grande majorité du massif de Mouzaia, à travers oued El Kébir, oued Sidi Bou Abdellah et ouedErha.

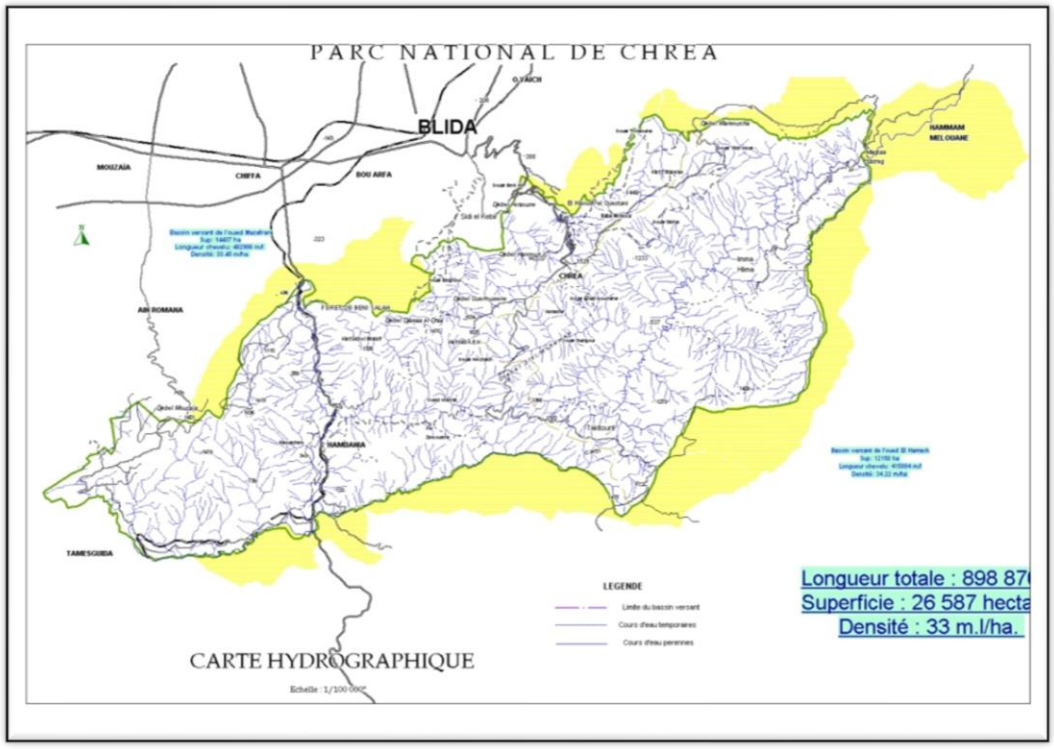


Fig.17 : carte d'Hydrographique du Parc national de Chréa **(PNC, 2013)**

II.6.3Relief du parc

Le Parc National de Chréa est une région à aspect structural très accidenté **(Meddour, 2002).** Il regroupe le relief montagneux composé respectivement d'est en ouest des monts de Hammam Melouane, du massif de Chréa et des monts de Mouzaia. Sa ligne de crête oscille

entre 1400 et 1600m d'altitude, sur une longueur d'environ 8km **(Meddour, 2002).** Il enregistre une dénivelée très importante marquée par le point culminant à 1627m à Koudiat Sidi-Abdel-Kader (Crêtes de Chréa) et le point le plus bas 217m (Chiffa**).** **(Meddour,2002.Yahi, 2007**).

L'orientation générale W-SW et E-NE entraine entre les deux versants principaux une dissymétrie tant climatique que phytocénotique. **(Meddour, 2002)**

II.6.4 Géologie du parc

Le massif de Blida, sur lequel s'étend le Parc National de Chréa, fait partie des zones externes de la chaîne alpine en Algérie **(Faurel, 1947 in Meddour, 2002).** Il se situe au sud des massifs anciens kabyles et des massifs du Chenoua et de Bouzaréah dont il est séparé par le synclinal plio-quaternaire de la Mitidja. Ce massif a été le théâtre de violents mouvements orogéniques datant de la dernière partie du tertiaire, lui donnant surtout dans sa partie centrale un aspect très mouvementé. Il se compose presque entièrement de schistes d'âge crétacé inférieur sans fossiles, avec quelques affleurements de calcaires marneux **(Faurel, 1947 in Meddour, 2002).** Ces schistes se prolongent régulièrement vers le sud sud-est sous des argiles variant entre 40 et 60% et forment la base sur laquelle se sont accumulés les dépôts des terrains postérieurs: calcaires marneux, grés, argiles sableuses et conglomérats.

II.6.5 Pédologie du parc

Selon Killian et Martin (1957) in Douaer et Selmane (1994), les sols du massif de Chréa sont toujours très décalcifiés, même si la roche mère est calcaire ; les pentes et les sommets présentent un sol maigre schisteux prédominant avec un PH voisin de la neutralité (6,2 à 7,2). Par contre, les sols des bas-fonds et des pentes douces sont plus épais, plus évolués et riches en matière organique dans la zone Nord et Nord-Ouest.

II.7 Situation biogéographique

II.7.1 L'occupation de sol du parc

Le Parc National de Chréa renferme un tapis végétal couvrant près de **22.673 ha** de son territoire soit un taux de boisement de **85%**. Le reste représente les terrains dénudés occupés par l'homme, par l'agriculture et ayant été irréversiblement érodé.

Les études et les inventaires portant sur l'occupation du sol et les potentialités naturelles au niveau du parc, révèlent l'existence d'occupations (strates) de type :

- **Arborescente**, elle concerne 5400 ha, soit 20.31% de la superficie totale duParc.
- **Arbustive,** cette strate se couvre sur 17 274 ha soit 65% de la superficie totale du Parc. Elle concerne les zones à végétation arbustive se présentant dans sa majorité en maquis.
- **Les terrains dénudés**, couvrent près de 2911 ha soit 11% du Parc National de Chréa, caractérisés par une végétation rabougrie laissant apparaitre des sols partiellement nus ou des affleurements rocheux, taillés par l'érosion, empêchant toute possibilité de remontée biologique. Ils se localisent en général dans le versant Sud-Est du Parc, de coté de Hammam Melouane et d'ImmaHlima.
- **Les terrains occupés**, regroupent les 1003 ha restant, soit 3.77% de la superficie totale du Parc. Ce sont tous les bocages et jardins vivriers, ainsi que toutes les pelouses naturelles à forte pression pastorale.**(PNC,2013)**

Tab.4: Occupation du sol au niveau du Parc National de Chréa **(PNC, 2013)**

OCCUPATION	Nature	Surface (ha)	Taux (%)
Strate Arborescente	Cèdre	1292,95	4,86%
	Chêne vert	172,80	0,60%
	Pin d'alep	3345,02	12,58%
	Maquis arboré	588.85	2.21%
T O T A L		5399,62	20,31%
Strate arbustive et herbacée	Maquis	16958,18	63,78%
	Reboisements	218,85	0,80%
	Pelouse	96,75	0,30%
T O T A L		17273.78	64.97%
Terrains Dénudés	Terrains nus	2787,72	10,49%
	Terrains rocheux	91,10	0,30%
	Bad Land	31,90	0,10%
T O T A L		2910,72	10,95%
Autres	Terrains cultivés	728,35	2,74%
	Habitat	192,48	0,72%
	TPF	56,35	0,10%
	Lacs	26,10	0,92%
T O T A L		1003,28	3,77%
TOTAL GENERAL		26 .587	100%

II.7.2. Étages de végétation

La notion d'étage de végétation a fait l'objet de plusieurs travaux : **Emberger (1936)**, **Ozenda (1975)** et **Rivas Martinez (1982)**.

Selon **Emberger (1936)** : « on appelle étage de végétation, les différentes ceintures ou zones de végétation qui se succèdent en altitude, sur massif montagneux, depuis la base jusqu'au sommet ».

L'étude de étage de végétation de l'Atlas Blidéen a été réalisée par : **Halimi (1980)** et **Meddour (1994).**Trois étages caractérisent notre zone d'étude :

- **L'étage supra méditerranéen :** Caractérisent les altitudes supérieurs à 1400 m. le bioclimat est per humide à variante fraîche, et la valeur de « m » est égale ou inférieur à 0°c. On y rencontre : Le cèdre de l'Atlas (***Cedrus atlantica***), le chêne vert et les pelouses écorchées.
- **L'étage méso méditerranéen :** Selon **Meddour (1994),** l'altitude de cet étage est comprise entre 600 et 1400 m. Il se situe dans le bioclimat humide à variante fraîche, avec des valeurs de « m », comprises entre 0 et 3°C. Les essences majeures sont : Le chêne vert (***Quercus ilex***), le chêne liège (***Quercus suber***) et également celle de Chêne zeen (***Quercus faginea***) à l'état résiduel.
- **L'étage thermo méditerranéen :** Il se situe dans le bioclimat subhumide et humide tempère chaud, avec une valeur de « m » comprise entre 3 et 7°C. Il occupe une tranche altitudinale allant de 0 à 600 m, et coïncide avec la série de l'Oléo lentisque et de pin d'Alep (***Pinus halepensis***), qui comprend aussi des formations conservées à Chêne liége (***Quercus suber***) **(Meddour, 1994)** .

II.8 Milieu biologique

II.8.1 La flore du parc

Sur le plan floristique le parc compte 816 espèces végétales réparties à travers 08 unités écologiques :

- ✓ **L'unité du cèdre** : Elle occupe la tranche altitudinale allant de 1300 à 1600 m. Elle se situe dans un étage bioclimatique perhumide et couvre environ 1200 ha. Elle renferme 02 groupements végétaux: l'un à (***Taxus baccata)***, (***Ilex aquifolium)***, (***Sorbus aria)***, l'autre à (***Bupleurum spinoum), (Asphopdelussp)(Genista tricuspidat)***. L'habitat à Cèdre abrite 237 espèces.

- ✓ **L'unité du chêne vert** : Elle couvre sous forme d'un taillis de 6 à 8m de hauteur la tranche altitudinale allant de 800 m L'habitat à Chéne Vert est riche de 397 espèces dont 103 spécifiques et 05 protégées. Il regroupe près de 50% de la Flore recensée au parc.
- ✓ **L'unité du Chêne liège** : Les suberaies du pare national de Chréa se présentent en bouquets sur des superficies réduites à travers notamment les reliefs septentrionaux. Ces formations fragmentaires se caractérisent par l'abondance de (***Cytisus triflorus)***. . L'habitat du Chêne Liège, quand à lui, présente 183 espèces dont 12 sont spécifiques et représente 23 % de la Flore du Pare National de CHREA.
- ✓ **L'unité du Chêne zeen**: Elle se limite à quelques impacts notamment au niveau des stations fraîches et humides caractérisées par la présence de (***Ptéridium aquilium).***
- ✓ **L'unité du pin d'Alep et du thuya de Berberie**: Cette unité se présente sous forme d'un maquis très dense à (***Tétraclinis articulata)*** enrésiné par du pin d'Alep appartenant au (***Callitreto rosmarinetum tournefortii)***. Cette association constitue l'expression la plus orientale de la tétraclinaie oranaise.
- ✓ **L'unité du Pin d'Alep**: Elle occupe près de 7000 ha à travers le versant méridional du parc national. La PINEDE abrite 135 espèces végétales dont 25 sont spécifiques et 02 protégées.
- ✓ **Les terrains vides**: Ce sont les espaces dénudés plus les pelouses couvertes par un tapis herbacé.
- ✓ **L'unité des ripisylves**: Cette unité se caractérise principalement par la présence des groupements suivants au niveau des abords des oueds:(***iridi populetum albae)***, (***prunus avium),Lamio alnetum glutinosae,*** et (***Celtis australis)*** **(PDG3 ,2015)**

Parmi les 1153 espèces 200 sont médicinales, 72 des champignons et 29 lichens. D'après les listes nationales et la flore de Quezel et Santa, 62espèces sont endémiques, 136 rares, 25 menacées et 37 protégées.**(PDG3 ,2015)**

II.8.2 La faune du parc

- **Les Mammifères**: La diversité mammalienne du Parc est estimée selon les inventaires à 31 espèces (29 mammifères terrestres et 2 aériens) parmi elles 10 sont protégée dont le Singe magot ***Maccaca sylvanus***.

- **Les Oiseaux** : Parc est estimée à 123 espèces dont 13 sont des rapaces Les espèces protégées sont au nombre de 30 (17 passereaux et 13 rapaces) dont 12 charognards (Vautour fauve, faucon pèlerin...).
- **Les Poissons**: au nombre de cinq (05): 02 cyprinidés (la carpe commune et le barbeau) et une (01) espèce d'anguillidés (Anguille européenne)
- **Les Reptiles et Batraciens** : 9 espèces de reptiles sont connues dont 1 seule espèce est protégée par Décret ; Les batraciens sont au nombre de 7
- **Les Crustacés**: Ils sont représentés par deux (03) espèces : le cloporte et le crabe d'eau douce.
- **Les insectes:** 214 espèces ont été inventoriées elles se répartissent sur les taxons suivants : 18 Arachnides, 85 Coléoptères, 20 lépidoptères, et 91 représentants plusieurs autres taxons.
- **Les myriapodes**: Ils sont au nombre de 6 dont 3 Diplopodes et 3 Chilopodes.

Tab.5: Inventaire de la faune du parc national de Chréa **(PNC, 2013)**

Faune	Richesse du pnc	Richesse nationale	%
Mammifères	**31**	**108**	**28 ,7%**
Oiseaux	**123**	**404**	**30,5%**
Insectes + arachnides	**470**	**1900**	**25.1%**
Myriapodes	**06**		
Mollusques	**11**	**75**	**14,6%**
Reptiles	**13**	**40**	**32,5**
Poissons	**05**	**300**	**1,66%**
Crustacés	**03**		
Amphibiens	**11**	**12**	**91.6%**
Annélides	**1**	**16**	**6,25%**
TOTAL	**674**	**2851**	**23.64%**

.

II.8.3 La population

Deux catégories principales peuvent être distinguées:

- **La population résidente:** c'est une population principalement rurale, regroupées dans quelques agglomérations principales ou disséminées sur de petits villages, elle est estimée à 600 habitants selon le (**RGPH, 2008**).
- **La population non résidente:** représentée principalement par les touristes les propriétaires de résidences secondaires et les visiteurs journaliers (qui viennent en excursion pour une seule journée).

Cette dernière catégorie a été estimée par les services du **PNC**, ceci s'explique d'une part par le fait que le **PNC** est le seul espace naturel qui présente des services de récréation environnementale, d'autre part par sa proximité avec la capitale Alger (**50 km**) et avec un nombre important de villes représentant une population estimée à **23%** de la population Algérienne (**ONS, 2009**).

II.9 Climat générale du parc de Chrèa

Le climat méditerranéen est également défini comme un climat extratropical à photopériodisme saisonnier et quotidien, à pluviosité concentrée durant les saisons froides, l'été, saison plus chaude, étant plus sec (**Emberger, 1955**).

Le parc national de Chréa appartient à un climat méditerranéen caractérisé par les pluies peu fréquentes de courte durée et surtout par une longue sécheresse estivale. **(Bidaulte et Debrache,1948)**

Les données climatiques utilisées dans cette étude relèvent de la période 1985-2016 pour la pluviosité et de la période **2004-2016** pour la température.

II.9.1Températures

Le Parc National de Chréa est compris entre les isothermes **8 et 11°C** de températures moyennes annuelles, les sommets étant plus froids et les piémonts plus chauds.

II.9.1.1 Températures moyennes mensuelles

Les températures de la zone d'étude collectées durant la période allant de 2004 à 2016 sont récapitulées dans le Tableau01, elles éprouvent d'énormes balancements au cours des mois de l'année.

Le Tab.6 et la **fig.18** représentent les variations annuelles de température durant la période 2006-2017.

Tab.6 : Températures mensuelles maximales (M), minimales (m) et (M) Moyennes De PNC (2004-2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
m (°C)	1.7	1.8	4	6.5	10.3	14.7	18.8	17.9	14.4	11.8	5	3.1
T.moy (°C)	5.45	5.3	8.7	11.6	16.3	20.9	25.1	24.2	20	16.7	8.7	5.8
M(°C)	**9.2**	**8.8**	**13.4**	**16.8**	**22.4**	**27.2**	**31.5**	**30.5**	**25.7**	**21.6**	**12.5**	**8.5**

Avec :

M : Moyenne des températures maximales en degré Celsius.

m : Moyenne des températures minimales en degré Celsius.

(M+m)/2: Moyenne des températures en degré Celsius**.**

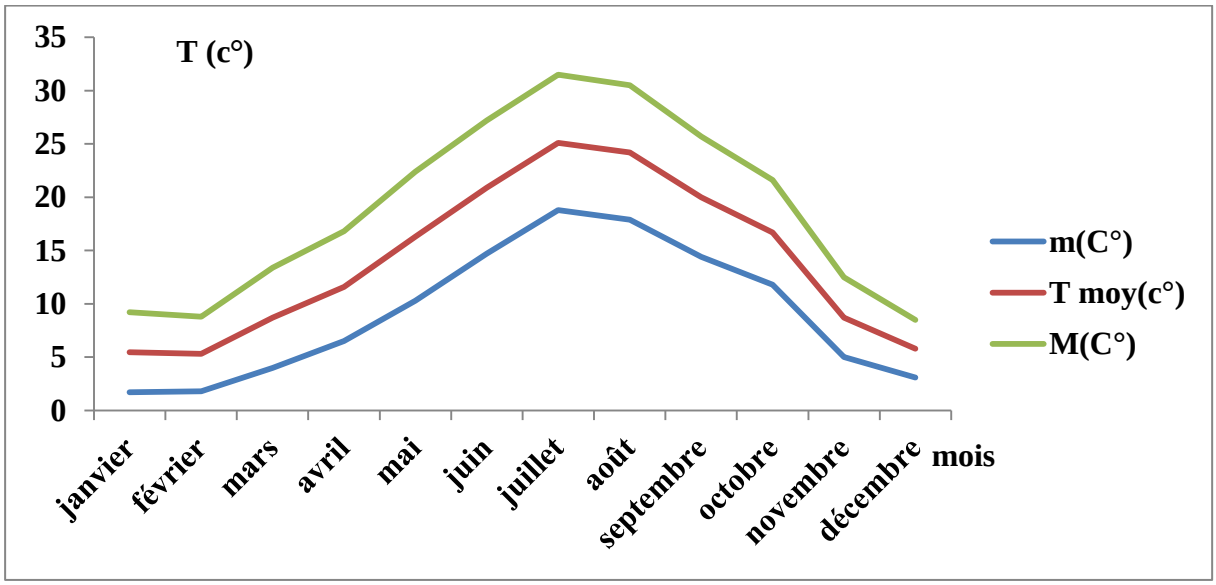


Fig.18: Températures mensuelles maximales (M), minimales (m) et (M) moyennes de PNC (2004-2016).

D'après ces données, nous relevons que dans la zone d'étude le mois de février est le mois le plus froid avec une température moyenne de 5,3 °C. Au contraire, le mois le plus chaud est celui de juillet avec une moyenne de 25,1 °C.

II.9.1.2Températures moyennes annuelles

Tab.7: Températures moyennes annuelles de parc national de Chrèa (2004-2016).

Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
T (°C)	13.87	14	14.75	13.75	13.82	13.51	14.3	13.53	13.64	13.3	13.83	12.55	12.79

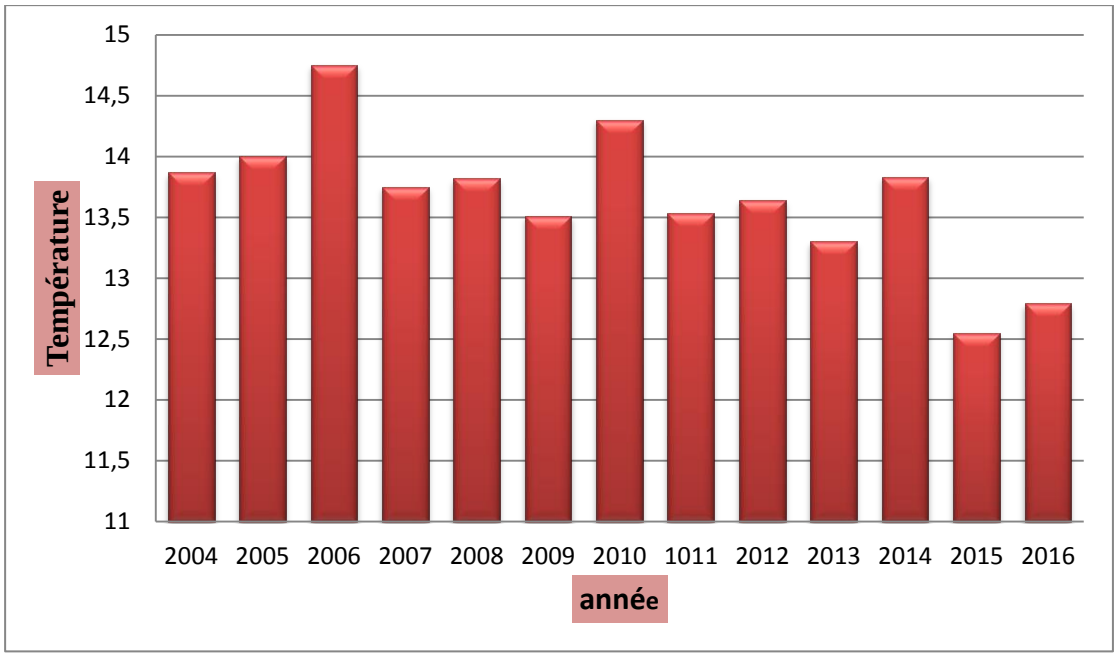


Fig.19: Températures moyennes annuelles – PNC (2004-2016)

L'analyse des données annuelles reflète une faible variation annuelle durant la période 2004-2016 avec une moyenne de 13,54 °C avec une légère élévation pendant l'année 2006 enregistrant une moyenne de 14.75°C. L'année qui présente la température annuelle la plus basse est l'année 2016 avec moyenne annuelle de 11.29°C.

II.9.2Précipitations

II.9.2.1 Les précipitations mensuelles

Les mois les plus pluvieux s'étalent du mois de novembre au mois de février. La saison pluvieuse commence en mois de novembre. Les pluies d'Hiver sont parfois torrentielles et plus ou moins catastrophiques. Quant aux pluies d'automne, elles sont moins violentes. **(Tab.6)**

Tab.8: Les précipitations mensuelles du PNC (1985-2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P(mm)	110.53	105.60	94.08	75.39	62.40	23.91	20.19	21.63	46.98	59.30	98.94	109.01

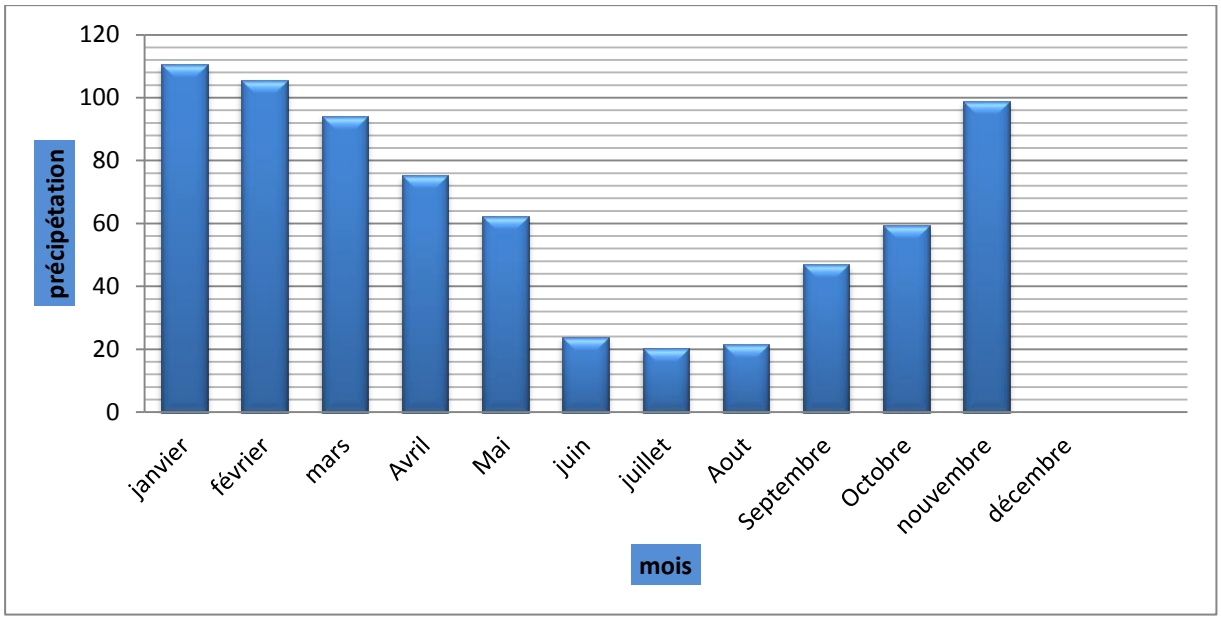


Fig.20: **Les** précipitations mensuelles – **PNC (1985-2016)**

L'analyse des données pluviométriques reflète l'irrégularité des précipitations qui connaissent de grandes fluctuations d'un mois à un autre durant la période retenue pour cette étude (1985-2016).Généralement, la zone d'étude connaît une plus grande quantité des précipitations au cours des périodes automnales et hivernales. , par contre la période estivale est moins arrosée.

II.9.2.2 Les précipitations annuelles

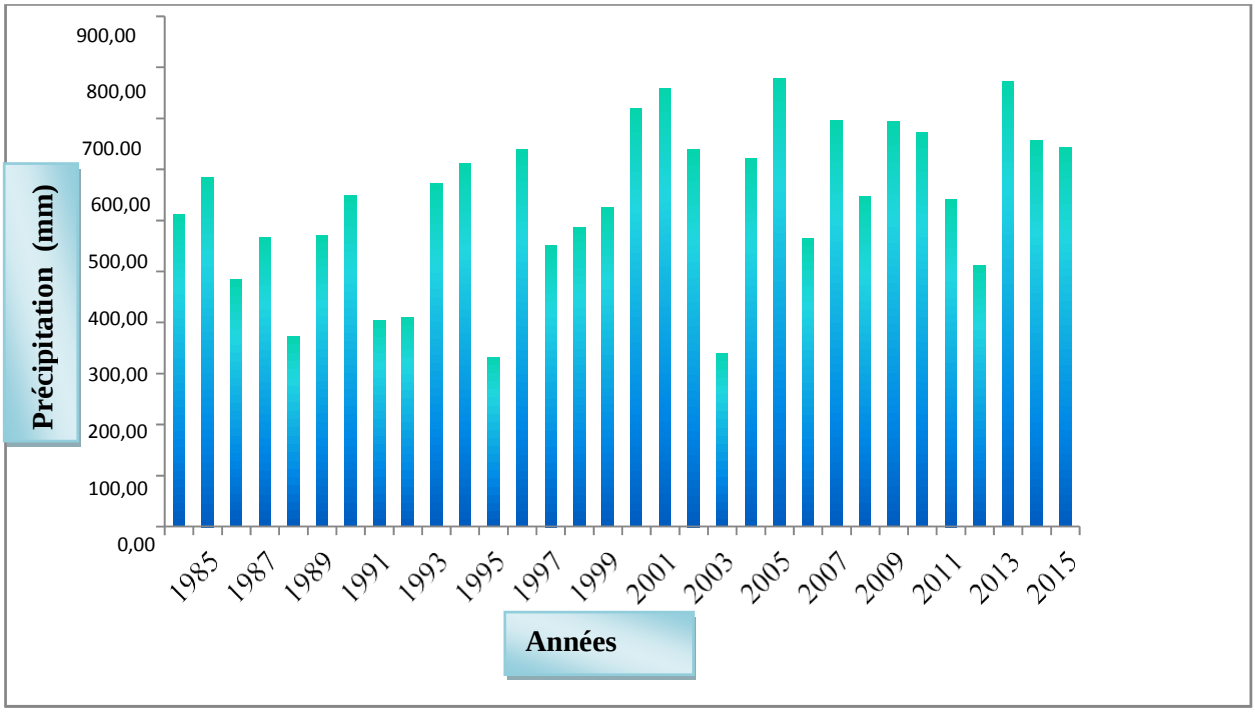


Fig.21: Variations interannuelles des précipitations – PNC pour la période **1985-2016**

La pluviosité annuelle varie du PNC varient de 332 mm en 1996 et 862.90 mm en2014 **(Fig.21)**

Le graphe montre une dissymétrie pluviométrique plus au moins importante .Cette dissymétrie interannuelle dans le régime pluviométrique peut être expliquée par l'irrégularité des précipitations qui caractérise les climats méditerranéens.

D'après le graphe nous avons remarqué que la première période de 1985 à 2000 a marqué des faibles précipitations par rapport aux périodes suivants ou le maximum des précipitations était <600.00mm et le minimum était

Par contre dans la période de 2001 à 2016 nous avons remarqué une augmentation significative des précipitations par rapport à la période précédente, atteint jusqu'à 862.90mm

Le graphique montre une amélioration des moyenne des précipitations dans le parc national de Chrèa pendant la période d'étude donc le parc a connait une évolution dans le teneure de la précipitation..

II.9.3La neige

La couche de neige qui en moyenne est de **15 à 20 cm**, atteint parfois **50 cm** .Les moyennes annuelles des jours d'enneigement dans le Parc national de Chréa, atteignent la fréquence moyenne de 26 jours pour Chréa, et de 20,2 jours pour le lac de Mouzaia. **(PNC,2013)**

II.9.4 Le vent

C'est un facteur climatique qui entraine aussi des variations de températures et d'humidité et exerce une action mécanique et physiologique sur les arbres forestiers. **(Belabbaci et Khiatine,2019).**

Dans la réserve de biosphère de Parc National de Chréa, ce sont essentiellement les vents Nord-Ouest qui prédominent à longueur d'année, et comme la région d'El-Hamdania appartient de PNC, elle a les mêmes valeurs. **(Bouneffouf et Haider,2009**).

En ce qui concerne le sirocco, il se manifeste un à trois jours/an.

II.9.5 Le brouillard

Le brouillard est relativement fréquent dans les parties hautes du Parc national qui sont souvent plongées dans les nuages. Pour le col de Chréa, les observations faites sur une dizaine d'années seulement ont donné 104 jours/an de brouillard. **(PNC,2013)**

II.9.6 La gelée et la grêle

Les gelées blanches se manifestent surtout en Septembre. Elles apparaissent en automne et disparaissent au début du printemps (fin Mars début Avril). Le risque de gelées blanches commence lorsque le minimum moyen tombe au-dessous de 10 C°. Elle tombe durant presque toute la période allant de Décembre à Mars. **(PNC, 2013)**

II.10. Synthèse climatique du parc

Afin de caractériser d'une manière objective le climat de notre zone d'étude, nous avons utilisé le diagramme ombrothermique de Gaussen et le climagramme d'EMBERGER.

II.10.1 Diagrammes ombrothermiques

Le diagramme ombrothermique permet d'estimer les éléments du climat d'une région du point de vue précipitations et températures pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides **(Dajoz, 1985).**

D'après **Dajoz (1975),** la sécheresse s'établit lorsque la pluviosité mensuelle (P) exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius (P(mm)<2T(°C)).

A cet effet, nous pouvons constater, en se référant aux données météorologiques de 12 ans (2006 /2017), que le parc Chréa subit une période sèche de 4 mois qui s'étale de Juin à Septembre et qui culmine au mois de juillet. La période humide couvre les huit mois de l'année entre Octobre et Mai **(Fig. 22)**

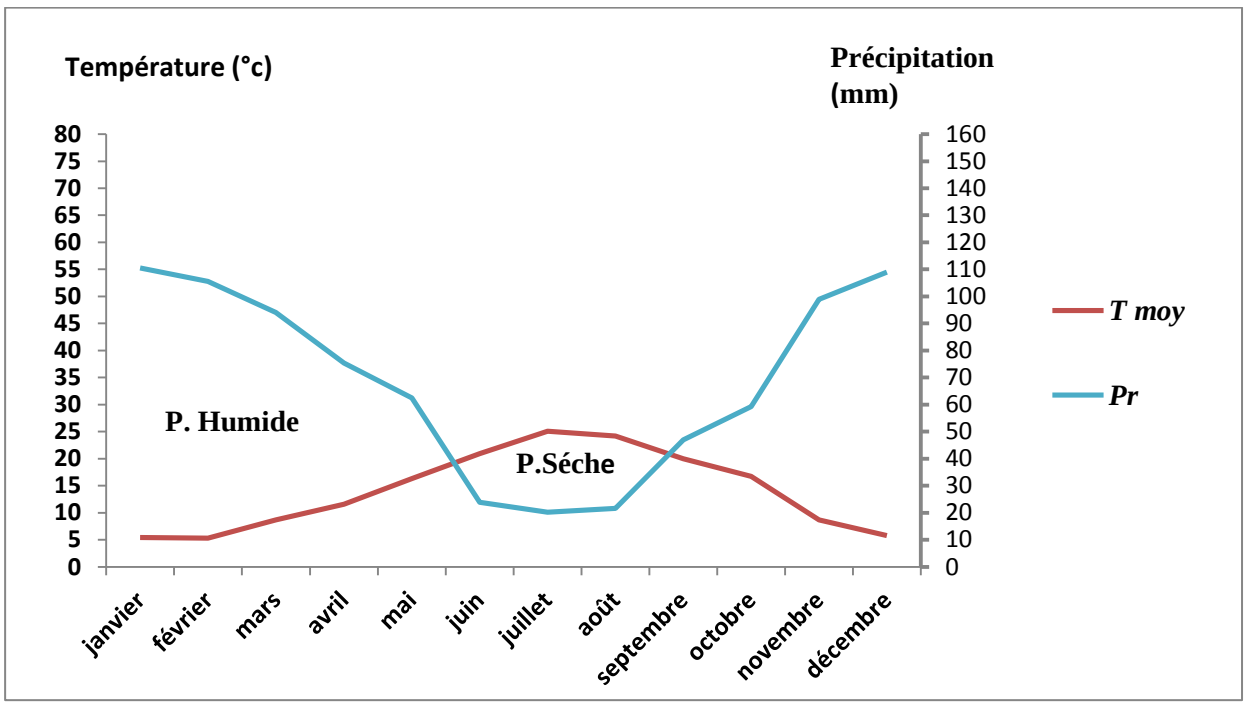


Fig.22: Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de la zone d'étude PNC. (2004- 2016).

II.10.2 Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviothermique d'EMBERGER (Q) permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région méditerranéenne et de la situer dans le climagramme d'EMBERGER.

C'est un quotient qui est fonction de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaud, de la moyenne minimale (m) du mois le plus froid en degrés Celsius et de la pluviosité moyenne annuelle (P) en mm. Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat de la région est humide. Il est calculé par la formule suivante :

Ce quotient a été simplifié par STEWART :

$\mathbf{Q_2}= 3.43\times \frac{p}{M-m}$ (**STEWART, 1969**)

Avec :

P : Pluviométrie annuelle.

M : Température maximale du mois le plus chaud.

m: Température minimale du mois le plus froid.

ce quotient est évalué comme suit :

On a :

m= 1.7 C

M=31.5C donc $\mathbf{Q_2}$= 145.93k

P=1267.88mm

Par conséquent, nous pouvons classer la région de parc nationale de Chréa dans l'étage méditerranéen humide à hiver frais **(Fig.23)**

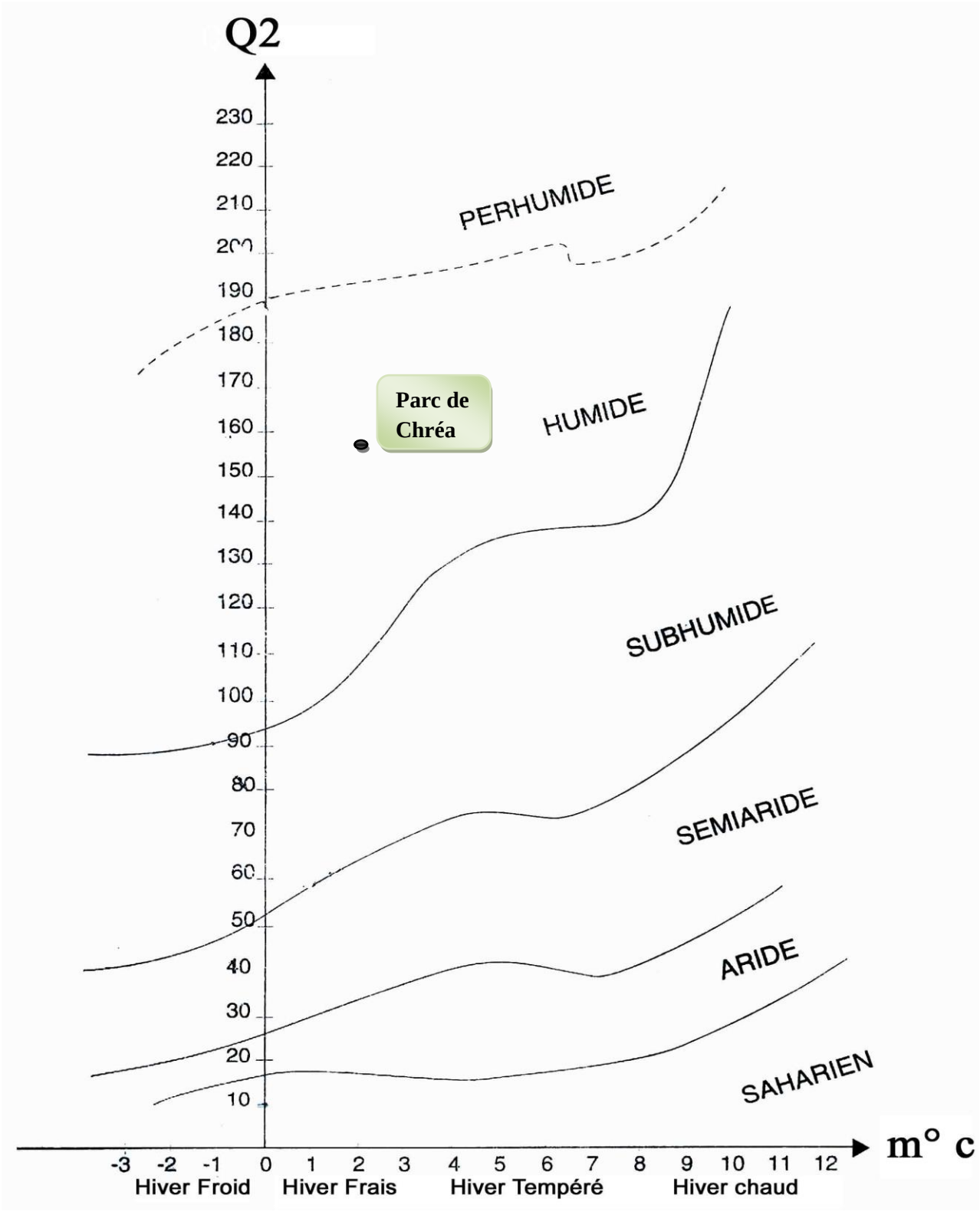


Fig.23 ; Climagramme pluviothermique d'EMBERGER (1955)

III. Matériel et méthodes

Notre étude est une étude multi temporelle sur une période de 33 ans (1987-2020). Le travail consiste à détecter les mutations du couvert végétal dans le parc national de Chrèa à l'aide des outils SIG et télédétection. À cet effet, nous avons traité et interprété trois images satellitaires du capteur LANDSAT 5 et 8 à savoir celles des années 1987, 2002 et 2020 afin de détecter les variations et identifier les zones de dégradation ou d'amélioration de l'espace. Cette détection est basée sur l'application des indices de végétation en deux périodes afin de produire une carte de changement et de mutation de la biomasse végétale.

Dans ce chapitre nous allons présenter ce que nous avons utilisés comme matériel et la méthodologie du travail.

III.1 Matériel utilisé

Nous avons utilisé comme matériel pour cette étude

- Un ordinateur portable
- Les images satellitaires téléchargées à partir du site web https://earthexplorer.usgs.gov/
- Les logiciels de télédétection.

III.2 Outils informatiques (logiciels de traitement des données)

Nous avons choisi trois outils pour implémenter notre méthodologie afin d'évaluer les changements d'occupation de sol, qui sont ENVI, MapInfoet Arc GIS, décrits comme suit :

✓ **ENVI :** est un logiciel professionnel de la société EXELIS qui permet la visualisation, le traitement, l'analyse, et la présentation de nombreux types d'images numériques, dont les images satellites.

Il permet de travailler sur différents types de données (multispectrale, hyperspectrale, radar), d'intégrer des données de type matriciel et vectoriel et il est compatible avec des données de type SIG. Il permet d'entre autres de contraster les images, de les corriger géométriquement, de les classifier, de réaliser des analyses à l'aide de données d'élévations, etc **(Denis.A, 2012). Le logiciel est téléchargeable gratuitement du site:**

(http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx).

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 multi spectrale et hyperspectrale
- Géo référencement 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.

- ✓ **Arc GIS :** est un système d'information géographique (SIG) développés par la société américaine Esri (EnvironmentalSystemsResearch Institute, Inc.) pour travailler avec des cartes et des informations géographiques. Ce système est utilisé pour: créer et utiliser des cartes; compiler les données géographiques, analyser les informations cartographiées, partager et découvrir les informations géographique.**(Denis A, 2012)**
- ✓ **Map Info :** MAPINFO est largement utilisé en tant que support d'applications diverses utilisant des données géographiques. Ses quatre fonctions de base sont :
  - Entrée des données : elle se fait de multiples façons, manuellement ou non, interactivement ou par lecture de fichiers ou de table d'information ;
  - Gestion des données : (alphanumériques et spatiales – Système de Gestion de Base de données relationnel (INFO) ;
  - Analyse des données (alphanumériques et spatiales) ;
  - Sortie et conversion des données d'un produit cartographique sur papier ou sur écran (affichage des données sous différentes formes, cartes, tableaux ou graphes. **(Elzerey W, 2014)**

III.1.3 Source des données et téléchargement de l'image satellitaire

Nous avons téléchargé les images satellitaires des périodes étudié (1987, 2002, 2020) à partir de site web https://earthexplorer.usgs.gov/

Nous avons créé un compte sur earth explorer qui nous a permet de téléchargé les images satellitaire de déférents année fournissent par des déférents satellites **(fig.24)**

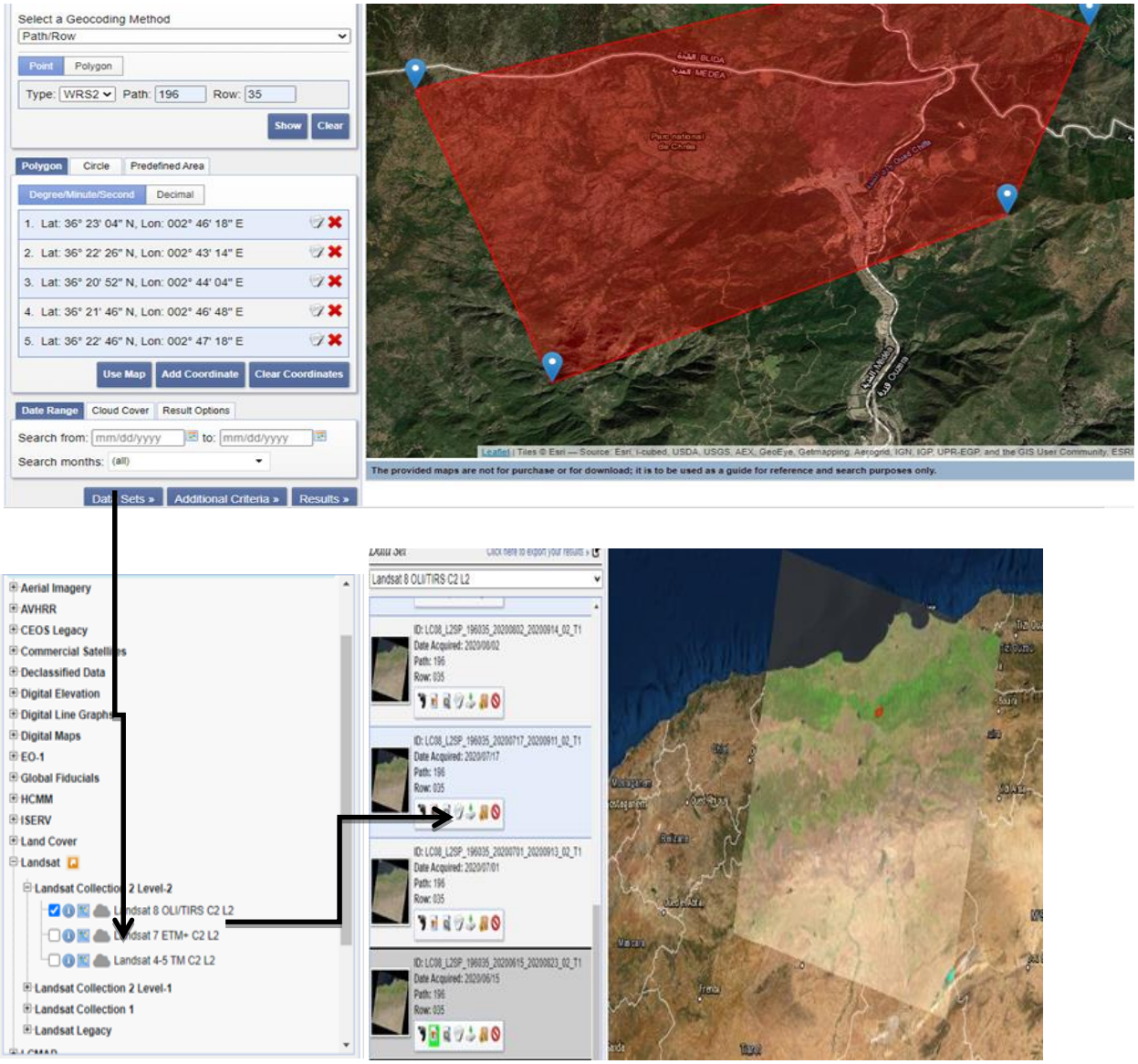


Fig.24 Etape de téléchargement de l'image Landsat

III.1.4 Les images satellitaires

Pour notre étude nous avons utilisée des images issues de deux types de capteur :TM 5 (Thematic Mapper) et OLI 8 (Operational Land Imager).

Le tableau suivant résume l'ensemble des caractéristiques de chaque image Landsat utilisée dans ce travail.

Tab.8 : Données des images satellitaires de parc national de Chréa

capteur	Dattes d'acquisition	Path / Row	résolution	Nombre de bande	Géo-référence
Landsat 5 TM	13/06/1987	196-36	**30**	**7**	proj: UTM zone 31 North Datum: WGS 84
	13/05/2002	196-36			
Landsat 8 OLI	06/06/2020	196-36	**30**	**11**	proj: UTM zone 31 North Datum: WGS 84

III.2 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 satellitaire par télédétection.

L'approche méthodologique consiste à détecter les changements et les mutations dans le couvert végétalà partir d'une classification supervisée. Cette dernière est appliquée sur des images LANDSA. L'analyse de l'évolution de la biomasse se fait à travers l'interprétation de l'indice de végétation NDVI des images satellitaires acquisesà différents dates afin de produire une carte de changement et de mutation de la biomasse végétale.Pour se faire nous sommes passés par plusieurs étapes.

III.2.1 Choix des dates

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

Dans notre étude, nous avons opté pour la saisondu printemps car lavégétation est plus dense et donc il nous est facile d'étudier le changement de l'occupationdu sol et ressortir les classes de végétation présentes dans le parc national de Chréa entre 1987 et 2020.

III.2.2 Extraction des limites du parc national deChréa

Pour la délimitation de notre zone d'étude, nous avons basé sur une carte d'occupation collectée auprès d'un rapport technique réalisé par Sahli 2016. (**fig.25**)

Cette carte a été géo-référenciée au sein d'un système d'information géographique (SIG) MapInfo (**Fig.26**). Pour se faire, nous avons sélectionné 4 points de calage dans la projection géographique Longitude-latitude (Datum : Nord Sahara 1959). A l'aide d'un logiciel SIG,

nous avons digitalisé les limites naturelles du Parc en format table **(fig.27)**.

Pour superposer ces limites sur une image satellite, nous avons exporté ce fichier en format **Shape.**

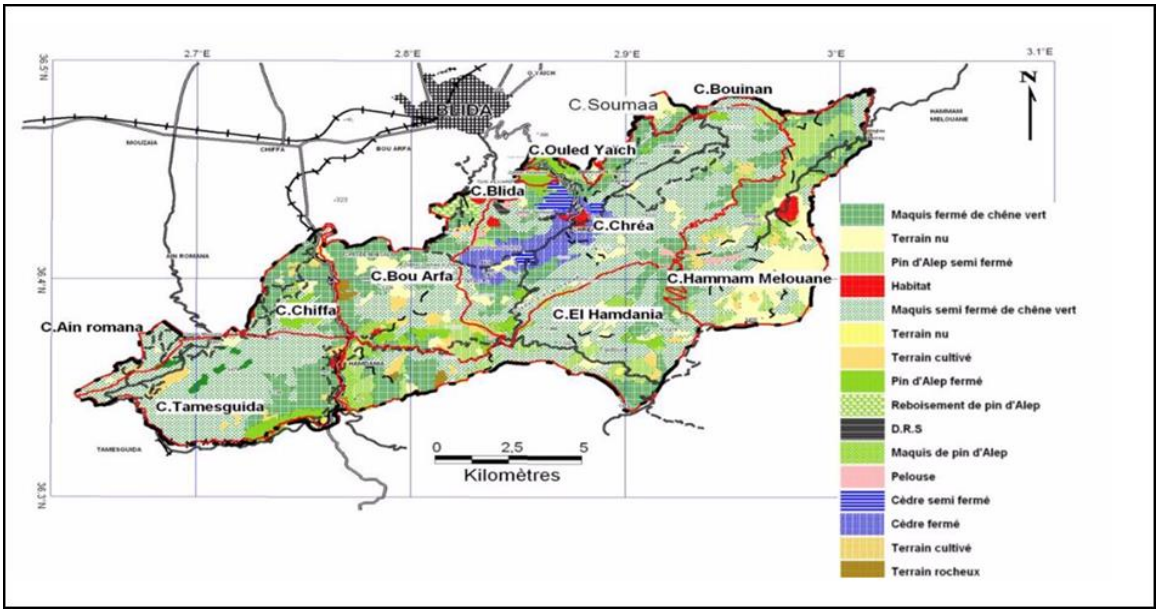


Fig. 25 Carte d'occupation réalisée par Sahli, 2016

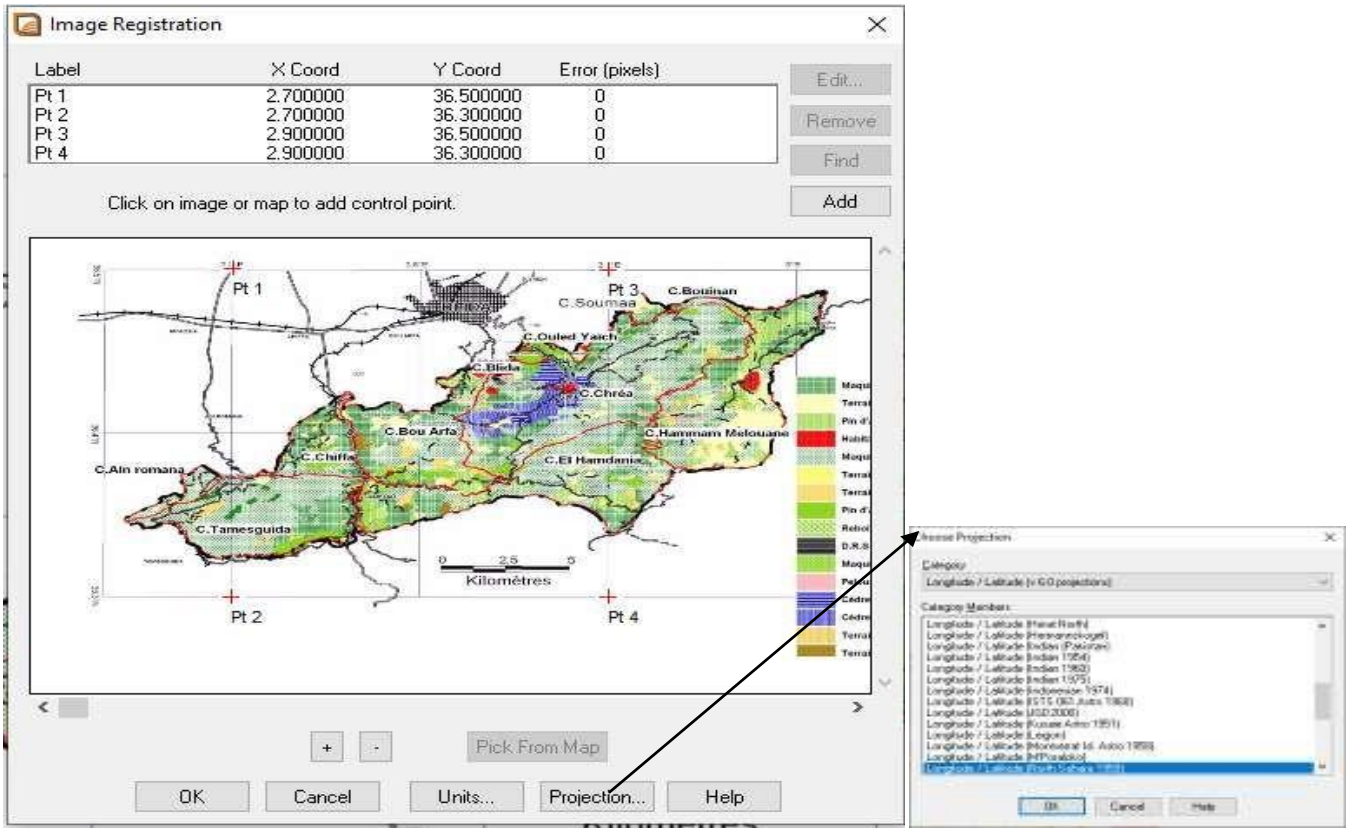


Fig.26. Calage de la carte du parc de Chrèa sous MapInfo

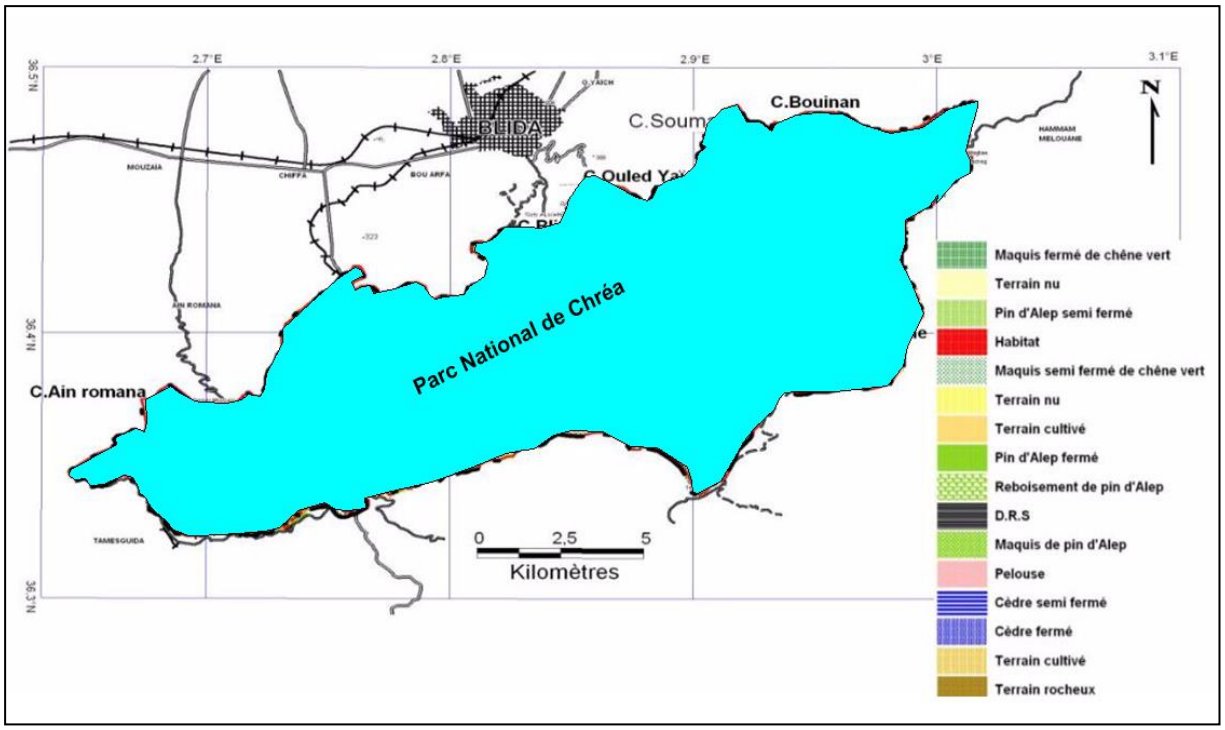


Fig.27.Délimitation du parc national de Chrèa sous MapInfo

III.2.3 Traitement des imagessatellitaires

III.2.3.1 Compositioncolorée

Dans ce cas, il est nécessaire de faire une composition colorée. Dans le cadre de cette application nous avons réalisé une trichromie des trois bandes :

Pour le capteur Landsat 5 nous avons utilisé bleu (TM1) ; rouge (TM3) ; proche infrarouge (TM4)

Et les bandes : bleu(TM2) ;rouge(TM4); procheinfrarouge(TM5) pour le capteur landsat8.

En effectuant à chaque canal les trois couleurs fondamentales : bleu, vert, rouge. C'est-à-dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de Classement correspond à leur longueur d'onde.**(fig.28)**

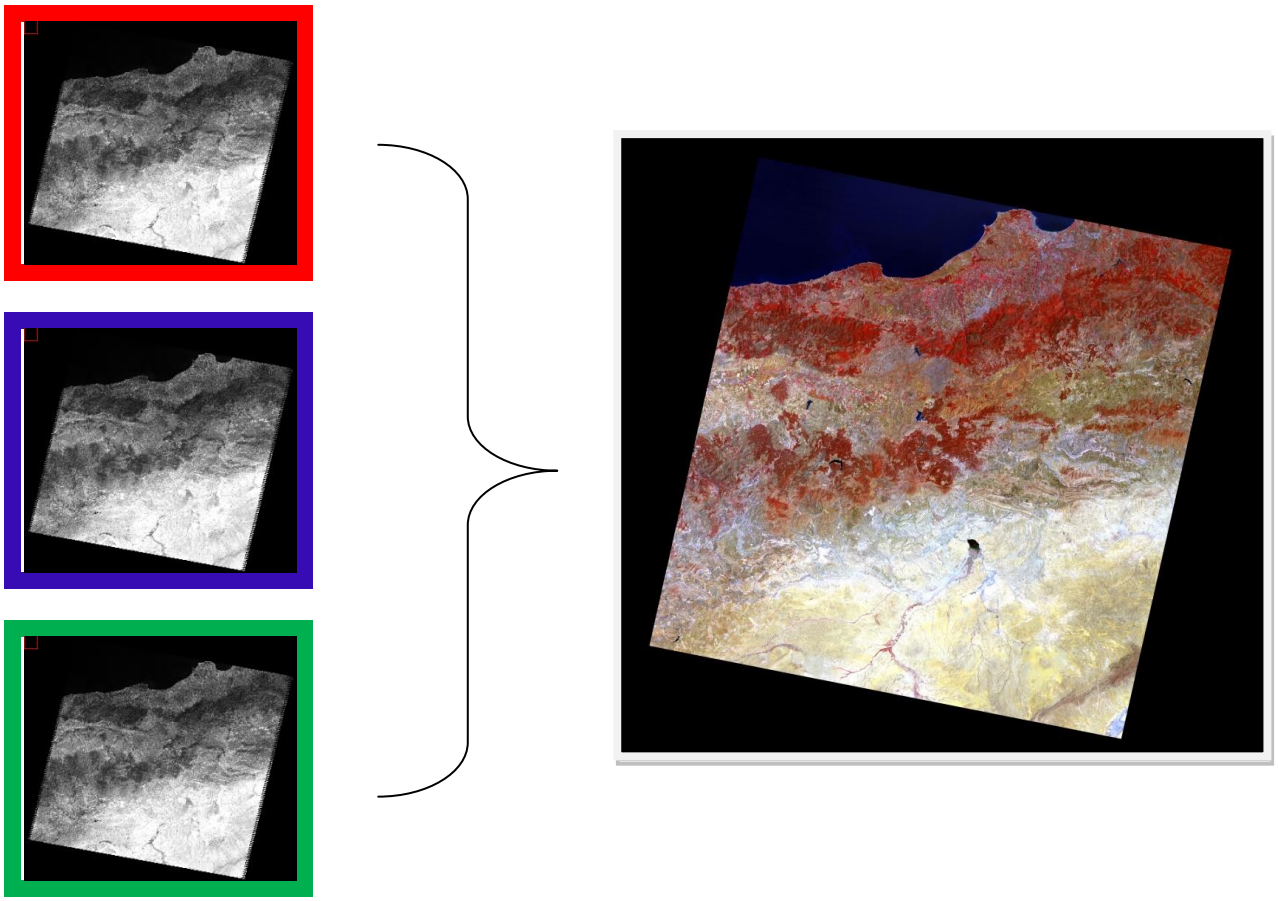


fig.28 La composition colorée de l'image landsat8 pris en 2020

III.2.4 Correction géométrique

Dans notre cas, nous avons réalisé un regéoréférencement de l'image prise en 1987 du capteur Landsat 5 sur la base d'une image de référence prise en 2020 du capteur Landsat8.

En raison du décalage important retrouvé entre les deux cartes lors leurs superpositions. Il est à noter que ces images sont géo- référencées par le fournisseur.

Les étapes de cette correction sont comme suite :

1. La première étape consiste à trouver des points d'appui (dits aussi de calage ou d'amer) communs entre l'image de référence (prise en 2020) et l'image à corriger (prise en 1987), nous avons sélectionné 37 points sur l'image satellite à corriger et sur l'image de référence. Parmi tous ces points sélectionnés, seuls 21 points ont été retenus (Fig.8). Ces points sont bien répartis sur toute l'image, afin que la modèle transformation soit représentative de l'image àredresser (répartition homogène).
2. La seconde étape correspond à calculer la relation entre points sources et points de référence. Plus il y a de grands changements entre les deux cartes, plus il faut utiliser un modèle de polynôme de degré élevé (c'est-à-dire plus que les points d'appui est élevé

plus le degré est élevé)

3. La troisième et dernière étape consiste à appliquer le polynôme de déformation sur image à corriger pour créer une nouvelle image dans le référentiel choisi. Dans notre travail, un model polynomial du second degré est utilisé alors que l'interpolation est de type «plus proche voisin» par prise de points d'appui .Cette méthode est la méthode préférable lorsqu'on travaille avec les valeurs radiométriques (telles que les classifications et l'application des indices). Cette méthode utilise la valeur numérique de l'image originale qui se trouve le plus près de la localisation du nouveau pixel dans l'image corrigée.

Enfin nous évaluons l'erreur quadratique moyenne de la correction (RMS), plus est moins de 1, plus la correction est correcte, dans notre cas, le RMS est égale à 0.89 **(Fig.29.30).** Nous pouvons lancer la correction de l'image prise en 1987,le résultat est une nouvelle image superposable à l'image de 2020.

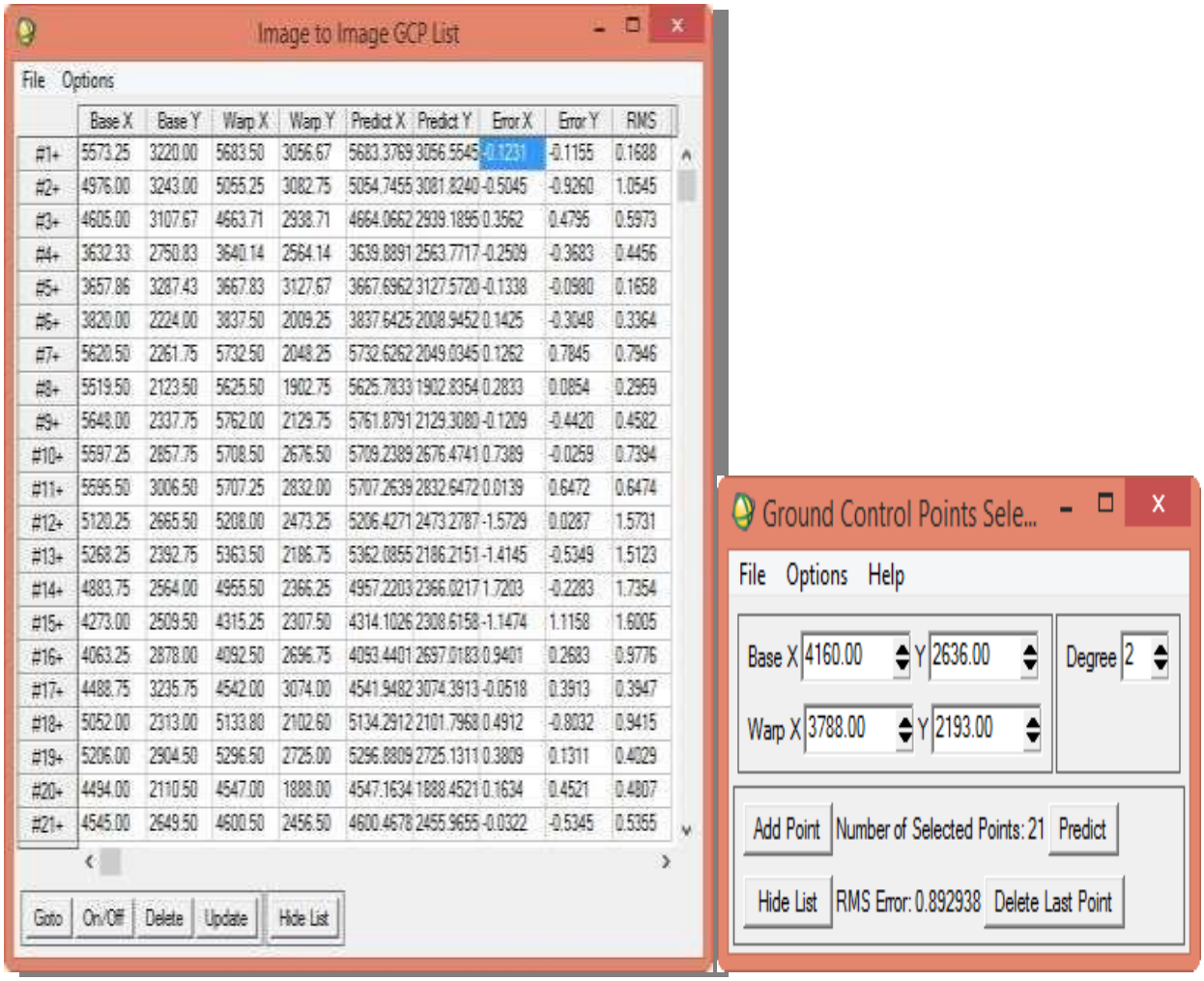


Fig29. Points de contrôle choisis et erreur quadratique moyenne « RMS »

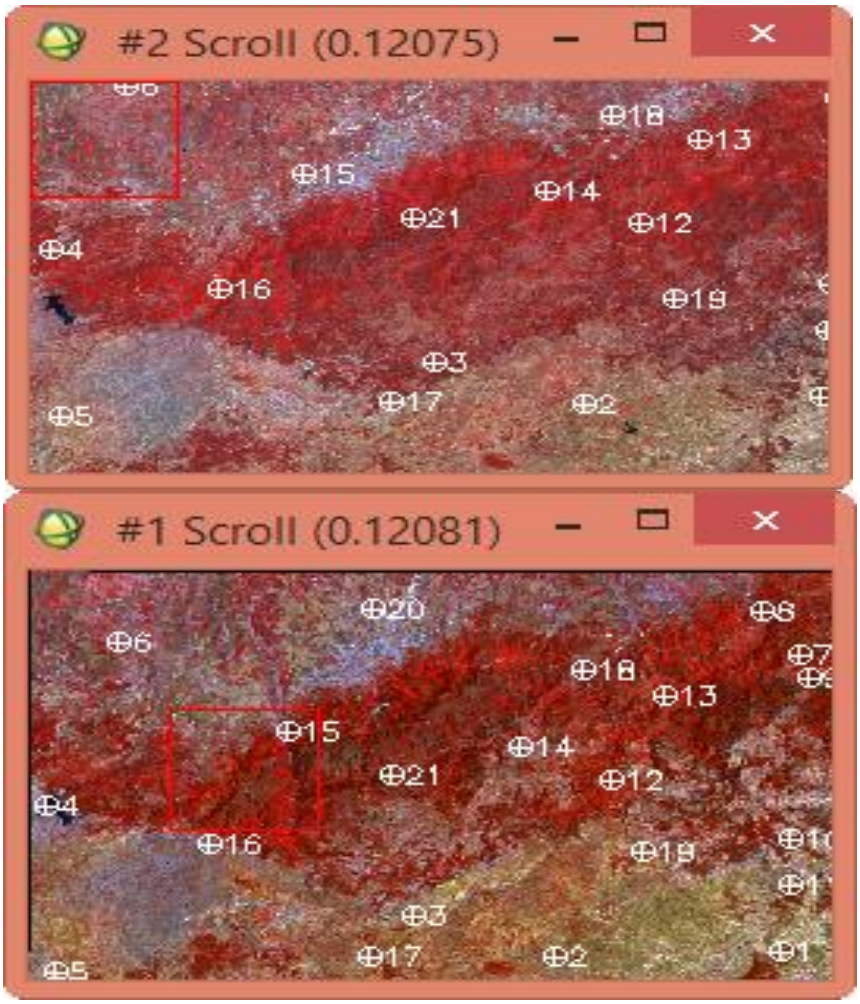


Fig30. Localisation des points d'appuis sur l'image à corriger et l'image de référence

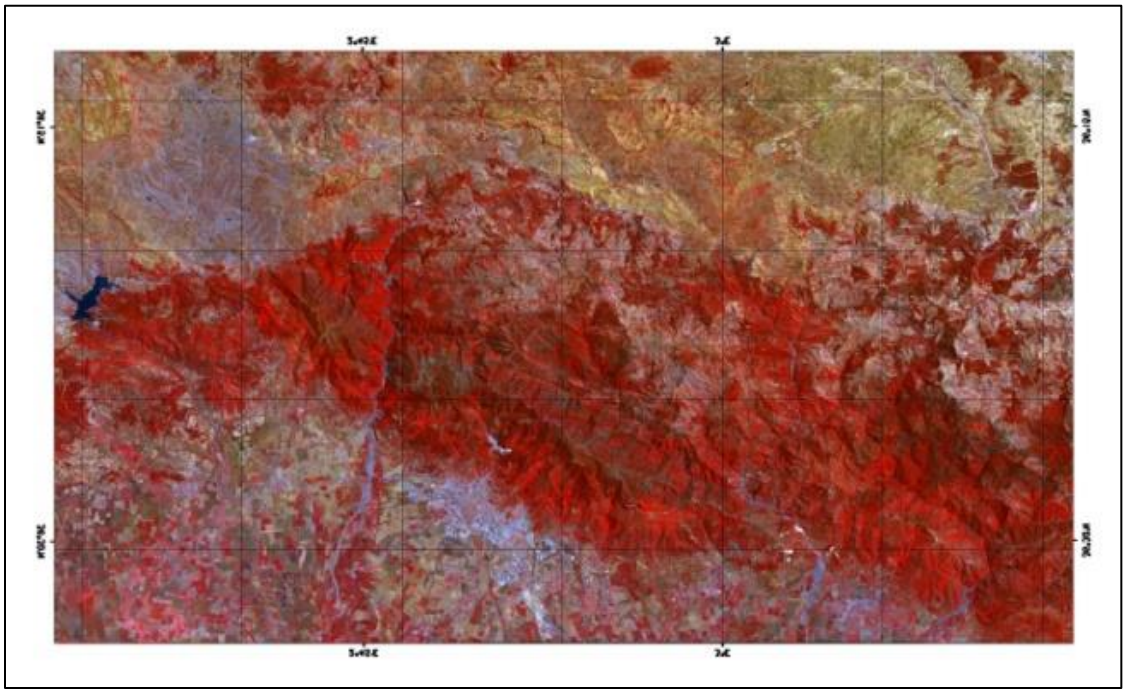


Fig.31 Image prise en 1987 corrigée géométriquement

III.2.5 Découpage des images selon les limites de la zone d'étude

Une fois les images sont corrigées géométriquement, nous avons superposé le fichier (vecteur) (**Fig.31)** deslimites du parc de Chréa sur ces images.

Nous avons réalisé une extraction de la zone d'étude par l'application d'un masque Nous pouvons ressortir trois images (1987.2002.2020) découpées selon la zone d'étude.

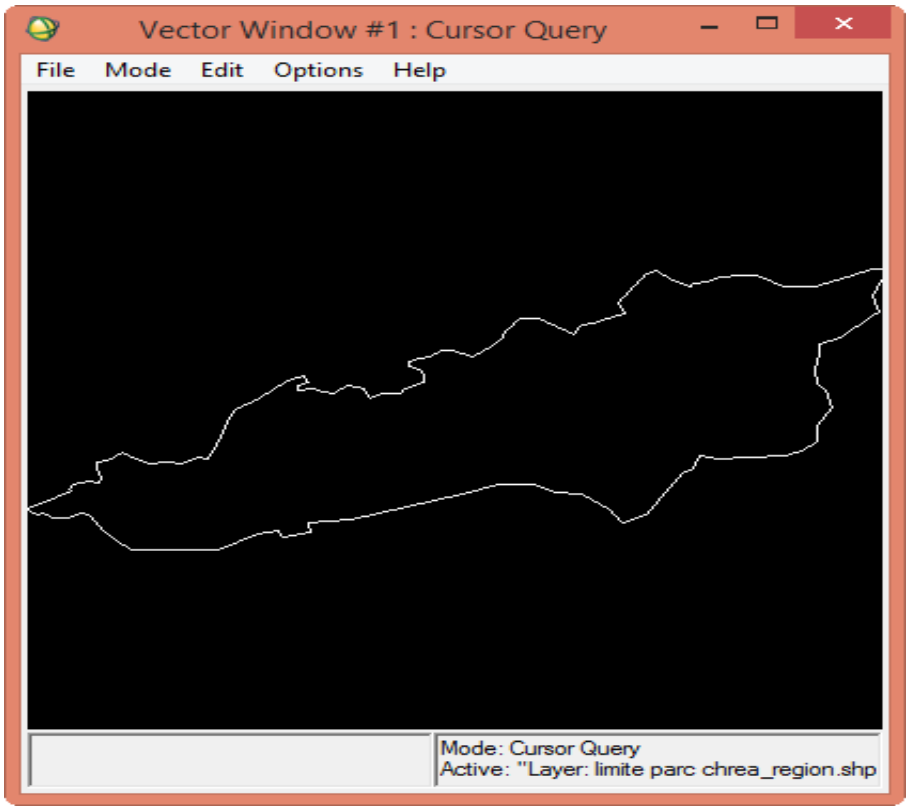


Fig.32 fichier vecteur de la limite du parc notionnel de Chréa sous ENVI

III.2.6 Evaluation des changements et mutation de la biomasse végétale (1987.2002.2020)

III.2.6.1 Application des indices de végétation

Notre travail se base sur l'évaluation des mutations de la biomasse végétale entre deux années, afin de détecter l'état du couvert végétal en 1987, 2002 et en 2020, d'une période de 33 ans à l'aide des images satellite à moyenne résolution spatiale (30m). Cette détection permet de ressortir les dégradations et les améliorations du couvert végétal. A cet effet, l'application des indices de végétation est très nécessaire.

NDVI = (PIR-R)/ (PIR+R) avec R : le canal rouge et PIR : le canal proche infrarouge

- Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces, 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 0,8, les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses comme les forêts.

Sur les images prise par le capteur Landsat en 1987et 2002 ,2020 nous avons appliquée sous le logiciel ENVI la thématique de l'indice de végétation. (**Fig.33**)

Cette application mathématique permet d'extraire une image formée de nuance de gris, la couleur blanche détecte une forte activité chlorophyllienne, ainsi que la couleur noire traduit une absence totale du couvert végétal.

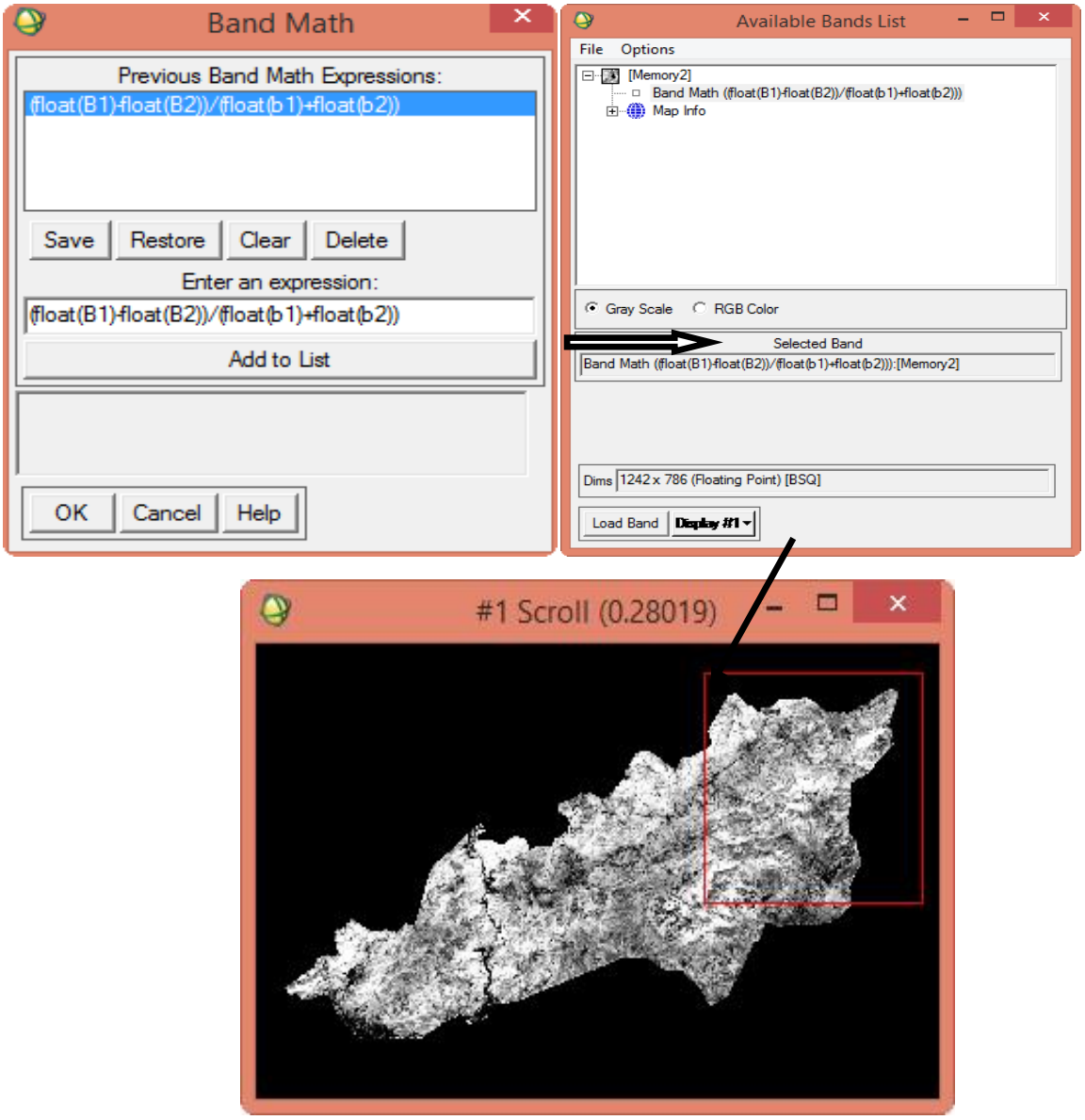


Fig.33. Etapes de l'application de l'NDVI

III.2.7 Détection de mutation de la biomasse végétale

Afin de réaliser une carte de densité de la biomasse végétale à partir d'un NDVI, nous avons appliqué un seuillage des valeurs de l'indice 1987 ,2002 et 2020.

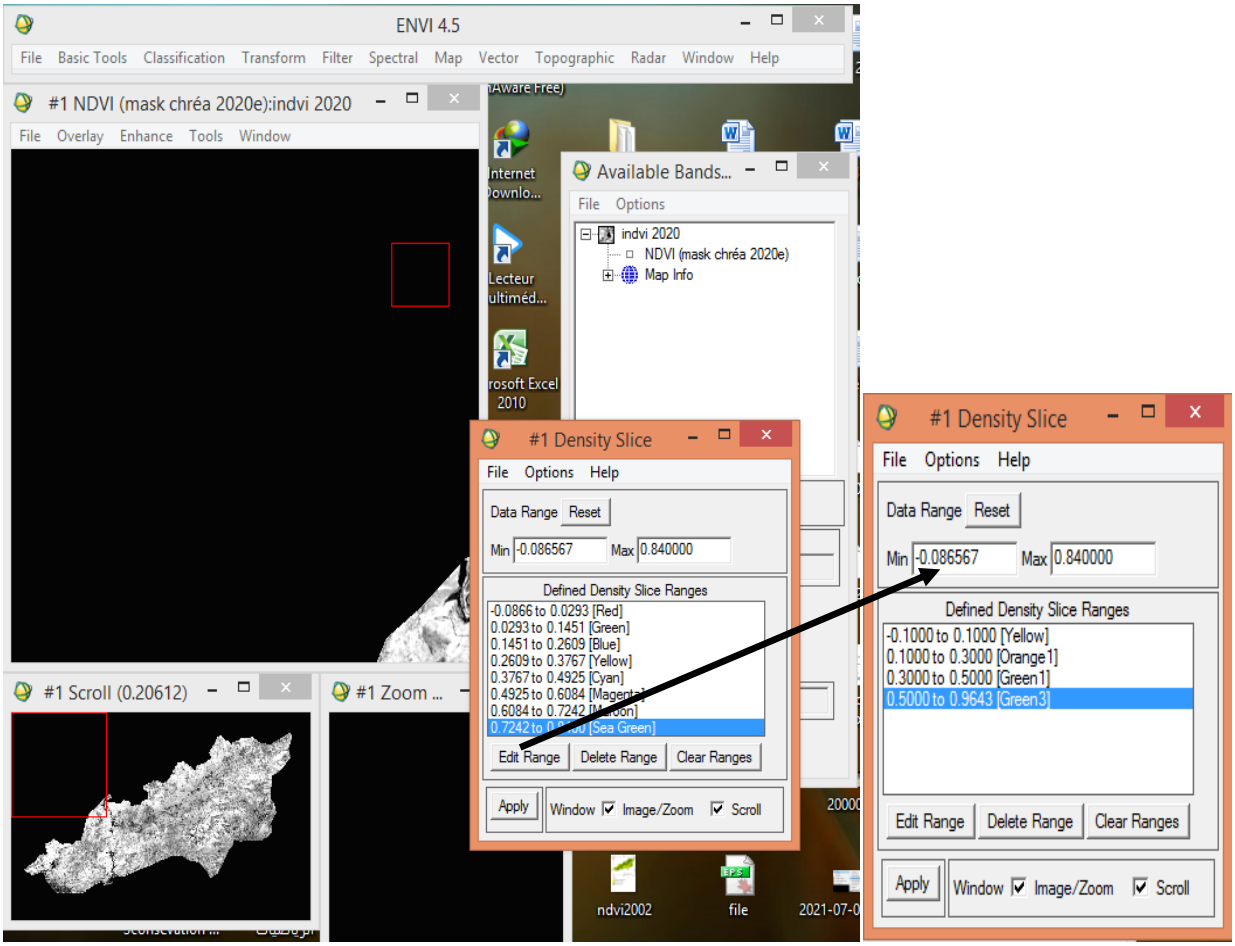


Fig.34 Etape de détection de mutation de la biomasse végétale

Nous avons donné aux valeurs suivantes :

- **Entre - 0.1 à 0.1:**Absences totales du couvert végétal
- **Entre 0.1 à 0.3:**Faibles densités de la biomasse végétale
- **Entre 0.3 à 0.5:**Moyenne densité du couvert végétale
- **De 0.5 à 1:**Forte densité du couvert végétale végétale

Enfin, trois cartes de la densité de la biomasse végétale ont été produites et une carte de Changement entre (1987-2002-2020)

III.2.8 Classification des images satellitaires multi-date

A fin d'établir une carte d'occupation du sol de parc national de Chréa,nous avons réalisé une

Classification des images satellitesLandsat5 prise en juin 1987 et en mai 2002 , Landsat 8 prise en juin 2020, la classification d'une image de télédétection consiste a une reconnaissance automatique des réflectances.

Dans notre cas, nous avons réalisé une classification supervisée, 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 connaissance sur la zone d'étude. Ce type de traitement donne des résultats souvent bien meilleurs.

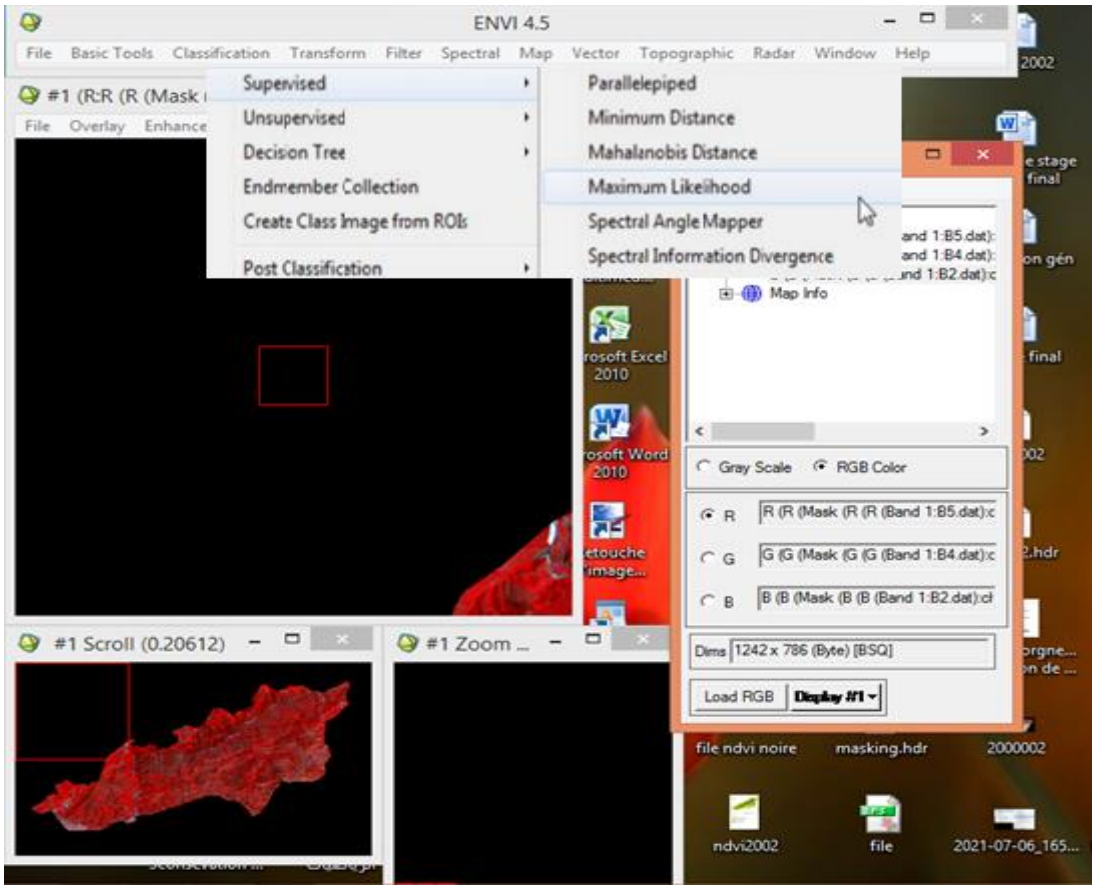


Fig.35 Etape de la classification supervisée

III.2.8.1 Étapes de la classification supervisée des images prisent en1987 ; 2002 et 2020

a) Sélection des échantillons d'apprentissage

Afin de faciliter le choix des classes, une photo interprétation de la composition colorée (RGB) de la zone d'étude est nécessaire, cette interprétation selon les reconnaissances de la zone 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 :

- **Forêt dense**
- **Foret claire et maquis**
- **Formation forestière dégradée**
- **Sol nu**
- **L'eau**
- **Végétation clairsemée**

b) Algorithme de la classification

Il existe quatre algorithmes ou méthodes de classification supervisée qui sont :

- Minimum distance
- Mahalanobis distance
- Parallelepiped
- Maximum likelihood (maximum de vraisemblance)

Pour notre classification ,nous avons choisi l'algorithme de Maximum de vraisemblance (maximum likelihood)

c) Sélection des échantillons de validation

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 reconnaissance du terrain et sur la base de l'interprétation visuelle de l'image.

Les échantillons de la validation de la classification sont comme suit :

- **Forêt dense1**
- **Foret claire etmaquis1**
- **Formation forestière dégradé1**
- **Sol nu1**

- **L'eau1**
- **Végétation clairsemé1**

d) Matrice de confusion

Pour évaluer notre classification, nous avons établi une matrice de confusion qui a parvenu de mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications.

La matrice de confusion permet de confronter des échantillons de validation au résultat delaclassificationetd'évaluerlaprécisiondelaclassificationparrapportàlaréférence sur les échantillons de validation.

III.3 Réalisation des cartes finales

Après avoir terminé les etapes précédentes, l'etape finale consiste à réaliser des cartes de synthèse des changements de l'occupation du sol et des cartes du NDVI pour les différentes dates ainsi que l'élaboration de tableaux de résultats en apportant des précisions sur les superficies des différentes classes.

La méthodologie suivie comprend plusieurs étapes qui sont récapitulées dans l'organigramme ci-dessous **(Fig.36).**

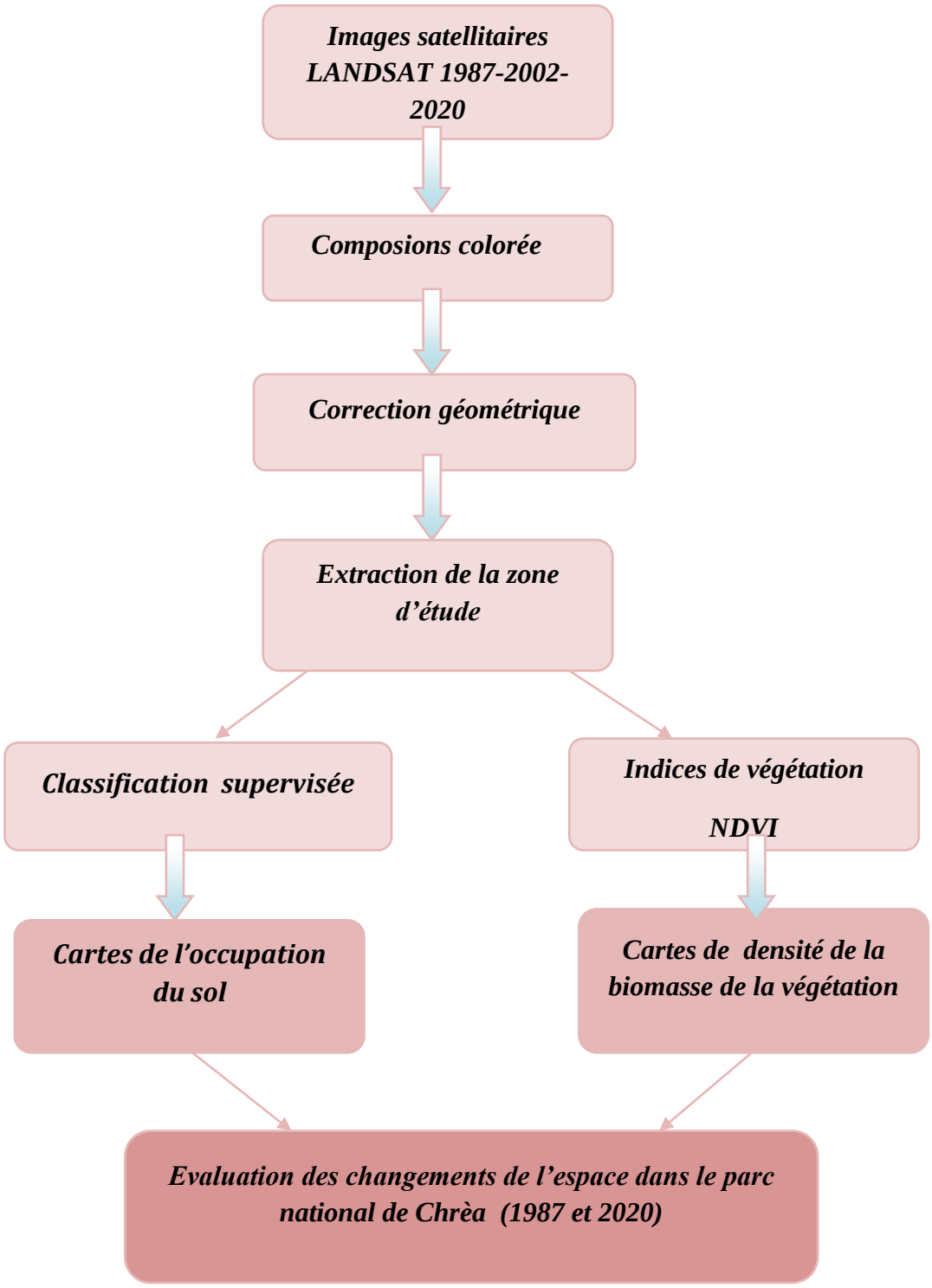


Fig.36: Organigramme des étapes de l'approche méthodologique utilisée pour l'analyse et le traitement des images satellites

IV. Résultats et discussion

IV.1 Composition colorée

En télédétection la représentation significative d'une image, obtenue par une ou plusieurs combinaisons des couleurs en générale chaque couleur correspond à une bande d'image.

Pour les images de 1987 et 2002 la trichromie comporte **(Fig.37)**

- Le canal proche infrarouge (TM4) est codé en couleur rouge
- Le canal rouge (TM3) est codé par la couleur verte
- Le canal bleu (TM1) est codé par la couleur bleue

Pour l'image de 2020 : la trichromie comporte

- Le canal proche infrarouge (TM5) est codé en couleur rouge
- Le canal rouge (TM4) est codé par la couleur verte
- Le canal bleu (TM2) est codé par la couleur bleu

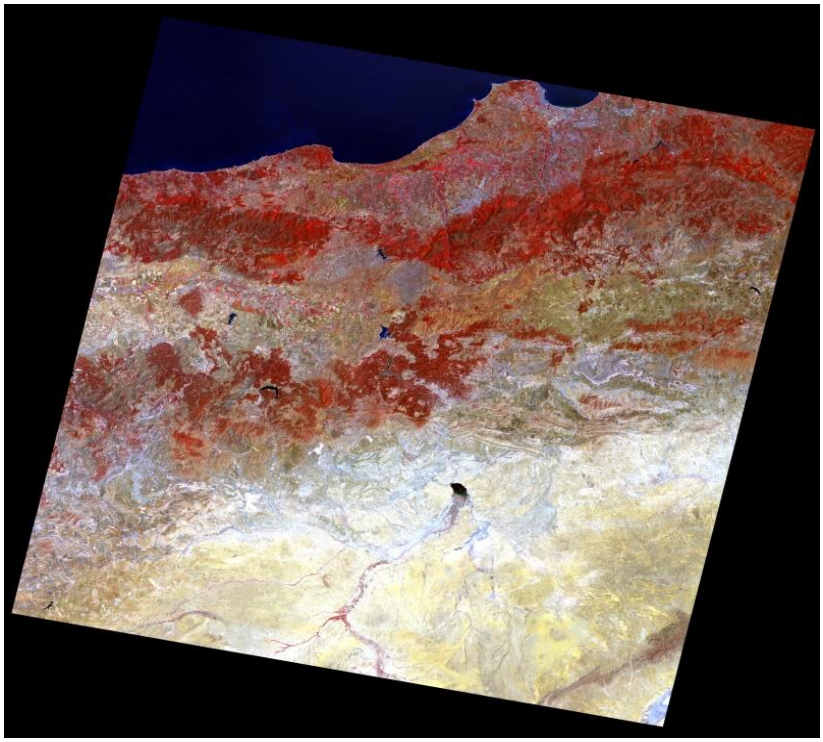


Fig.37 Composition colorée de l'image Landsat prise en 1987

IV. 2Découpage des images selon les limites de la zone d'étude

Nous pouvons ressortir deux images découpées selon la zone d'étude **(fig.38 .39**.)

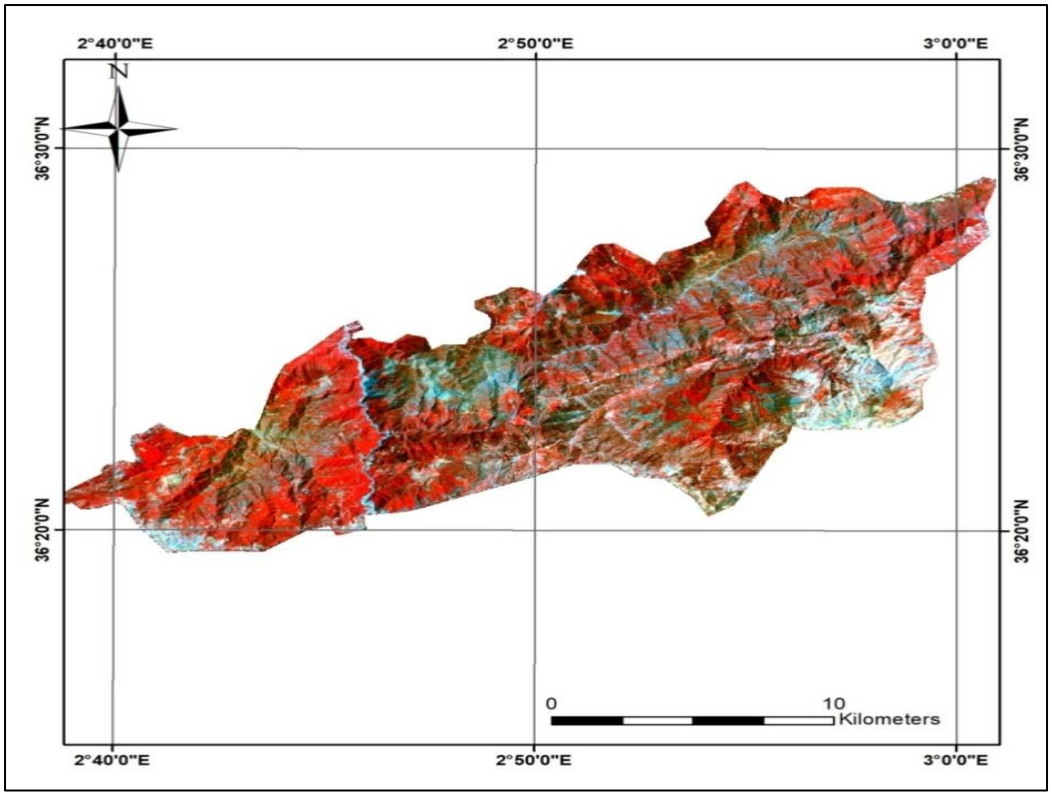


Fig.38 Image Landsat 1987 découpée selon le parc de Chréa

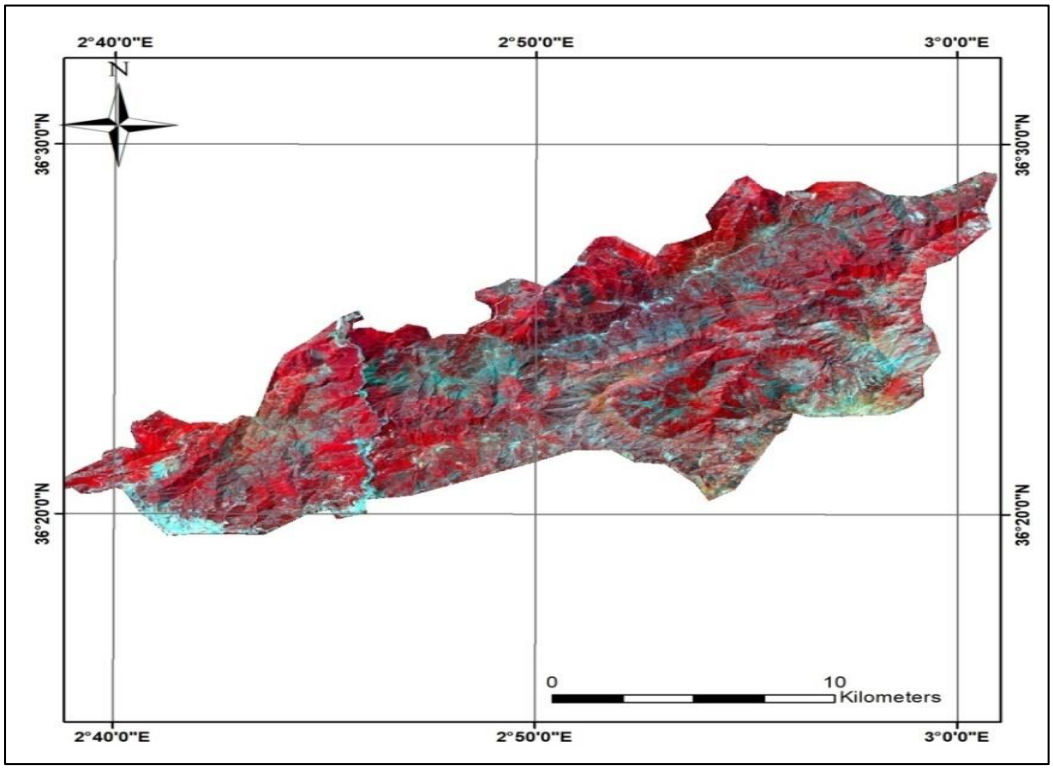


Fig.39 Image Landsat 2020 découpée selon le parc de Chréa

IV.3Evaluation des changements et mutation de la biomasse végétale (1987-2002-2020)

IV.3.1Application des indices de végétation

L'indice de végétation normalisé consiste à soustraire au canal infrarouge (où la couverture végétale a de fortes réflectances) le canal rouge (où les surfaces minéralisées ont de fortes réflectances).
Le néo canal résultant présente un gradient croissant d'activité végétale allant de la noir signifiant absence de couverture, au blanc qui rend compte d'une activité chlorophyllienne très élevée.

La réponse spectrale d'un couvert végétal dense est forte dans les longueurs d'ondes proche-infrarouges (à cause de l'activité chlorophyllienne) et faible dans les longueurs d'ondes rouges, alors que la réponse spectrale d'un couvert très clairsemé est inverse (forte influence des minéraux par rapport à l'activité chlorophyllienne).

Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, la valeur de chaque pixel étant comprise entre 0 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal).C'est l'analyse de la palette de nuances s'étendant entre ces valeurs extrêmes (très peu fréquentes) qui va renseigner l'observateur sur la densité du couvert végétal et la quantité de biomasse verte.

D'après l'analyse des trois images satellitaires de l'NDVI (1987-2002-2020), on observe que la couleur blanche correspond à une densité moyenne à forte de végétation dont les valeurs s'étalent entre 0.4 à 0.9, par contre, lacouleur noire correspond à une faible densité de végétation, dont les valeurs sont entre - 0.1 à 0.4. **(Fig. 40.41.42)**

A cet effet, le résultat de l'application de l'indice de végétation normalisé (NDVI) sur les trois images satellitaires **1987-2002-2020** montre une forte activité chlorophyllienne au niveau des formations forestières, et une absence totale du couvert végétal dans les sols nus et les terrains érodés.

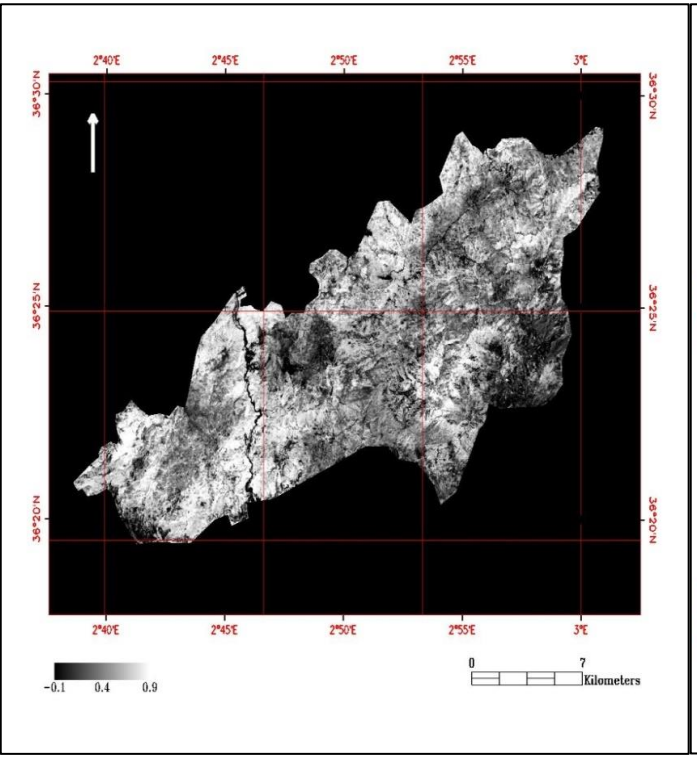


Fig.40 ; Image de l'NDVI en 1987

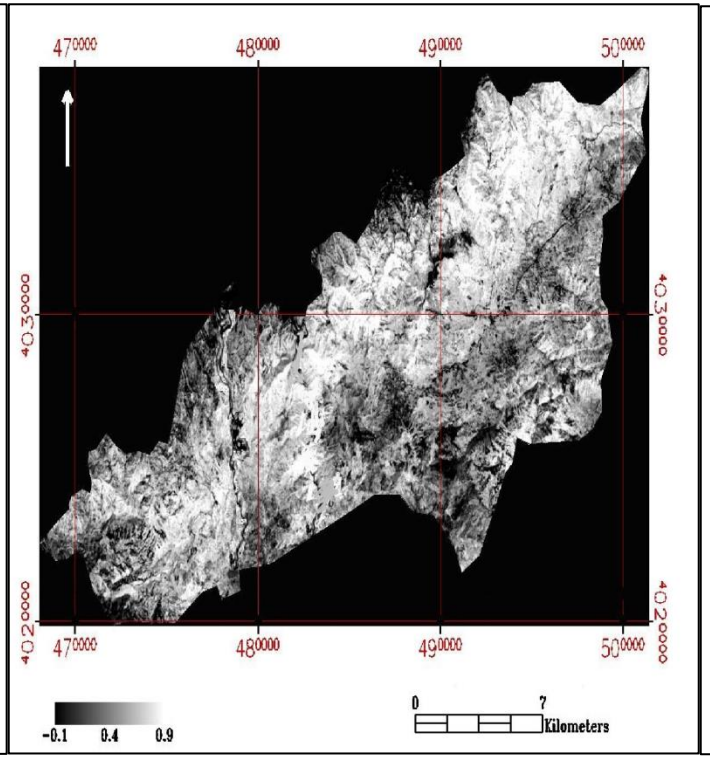


Fig.41 ; Image de l'NDVI en 2002

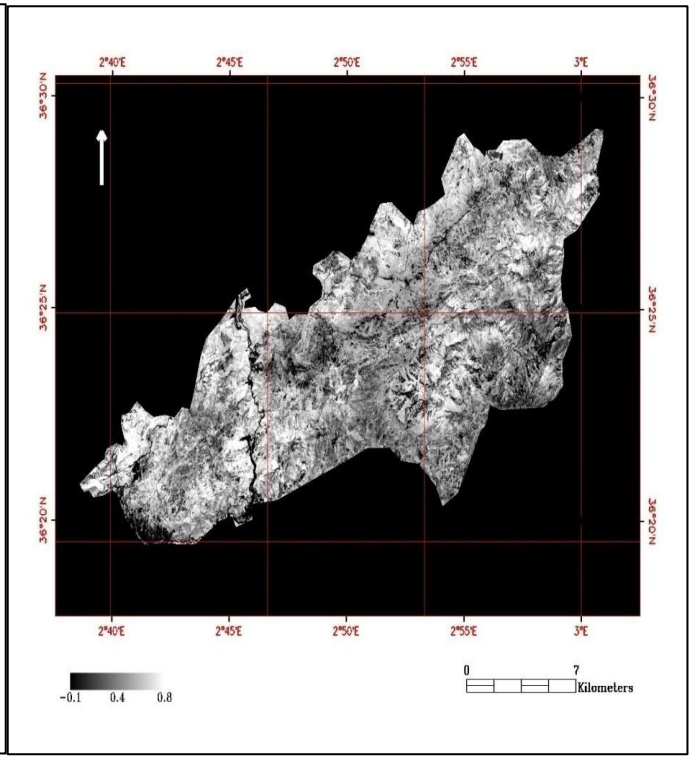


Fig.42 ; Image de l'NDVI en 2020

IV.3.2 Détection de mutation de biomasse végétale

Après l'application du seuillage des valeurs de l'indice 1987 ,2002 et 2020, trois cartes de la densité de la biomasse végétale ont été produites **(Fig.43 ; Fig.44 ; Fig.45).**

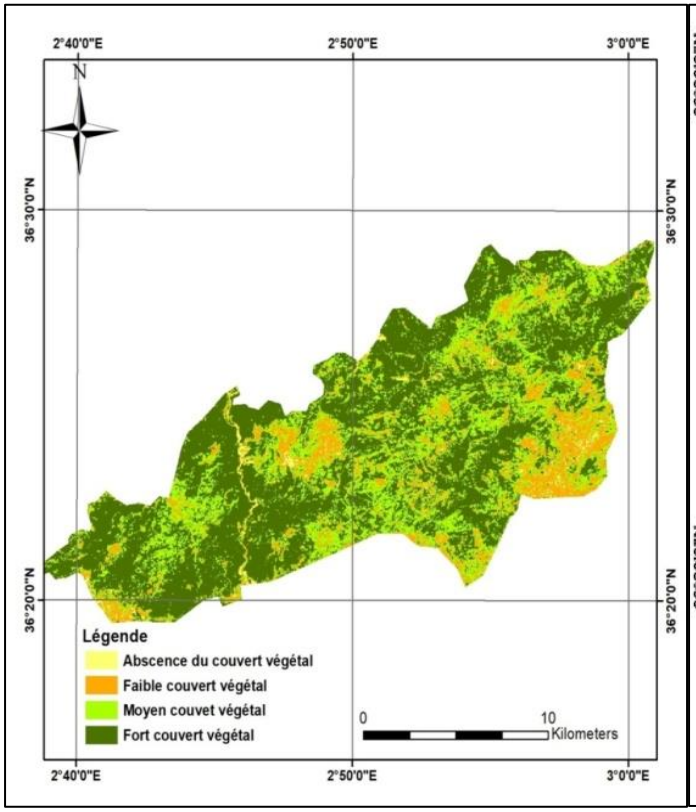


Fig.42 Carte de la densité de végétation du parc national de Chréa en 1987.

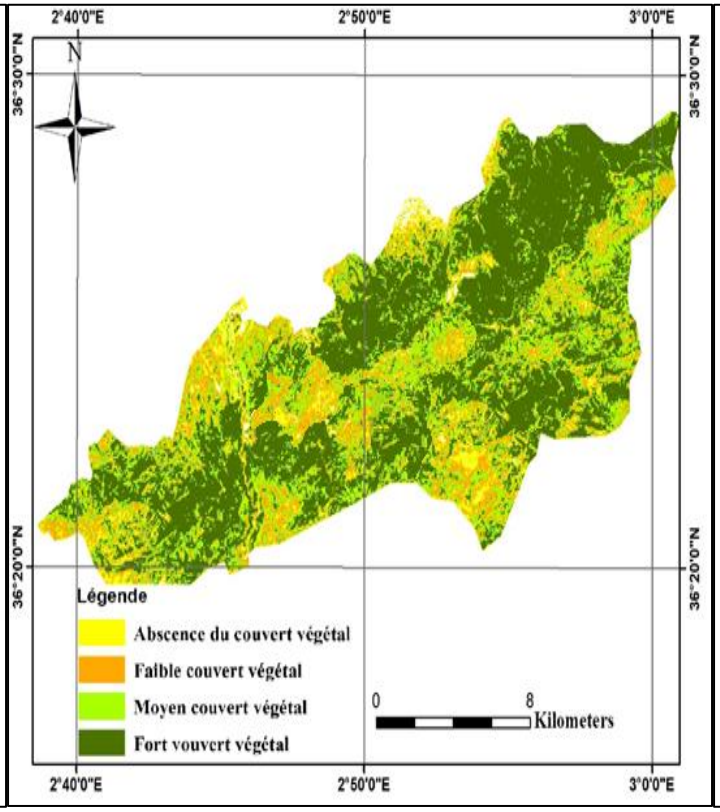


Fig.43 Carte de la densité de végétation du parc national de Chréa en 2002.

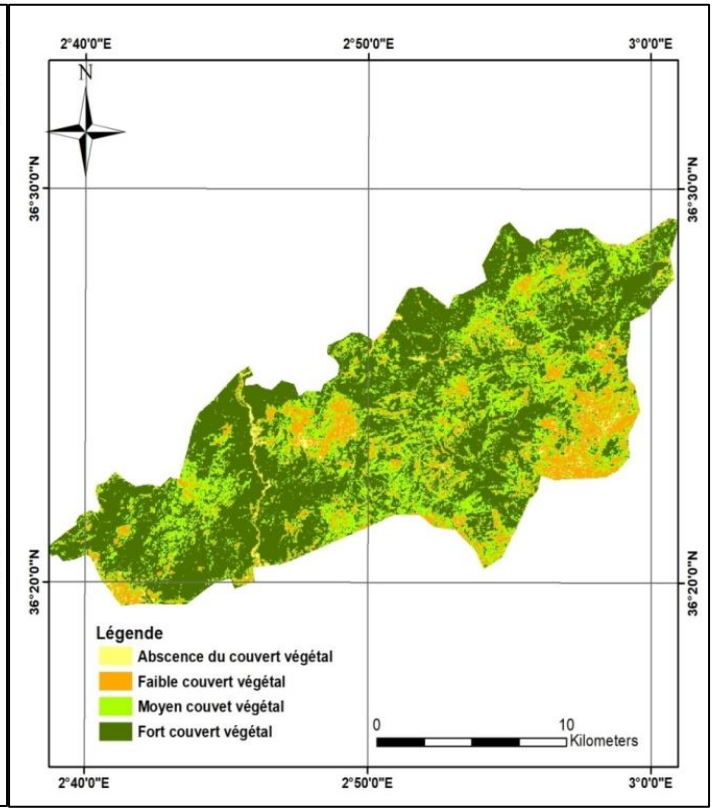


Fig.44 Carte de la densité de végétation du parc national de Chréa en 2020.

Quatre catégories de la biomasse végétale ont été identifiées dans les cartes de 1987-2002-2020, à savoir :

- Le couleur jaune correspond à une absence du couvert végétal.
- La couleur orange correspond à une faible couverture végétale.
- La couleur vert clair correspond à la moyenne couverture végétale.
- Enfin la couleur vert foncé correspond à un fort couvert végétal.

Une autre démarche a permis de détecter les changements et ressortir les mutations de l'espace effectué entre les deux cartes de la densité de la biomasse végétale 1987 et 2020, à savoir:

- Sur la base des images résultats obtenues dans la première méthode, par la technique des indices de végétation, nous avons attribué une couleur rouge à l'indice NDVI de 1987, et une couleur verte à l'indice NDVI du2020. Ainsi que nous avons établi une image vide qui contient les mêmes dimensions des images 1987 et 2020, ainsi que les même cordonnées, cette image a été réalisée sous le logiciel ENVI par la méthode "generate test data".
- Ces mutations sont traduites par la présence de la couleur rouge et la couleur verte.
- Cette superposition a permis de réaliser une synthèse additive pouvant nous renseigner sur les différents changements de manière suivante : La dominance de la couleur rouge ou verte, traduit l'existence de l'activité chlorophyllienne pour l'année à laquelle correspond cette couleur. L'apparition de la couleur jaune (rouge + vert) n'indique aucun changement c'est la stabilité.

Toutefois nous remarquons que la couleur rouge traduite la présence significative de la végétation en 2020, tandis que la couleur verte nous informe sur le changement établit en 1987 **(Fig.45).**

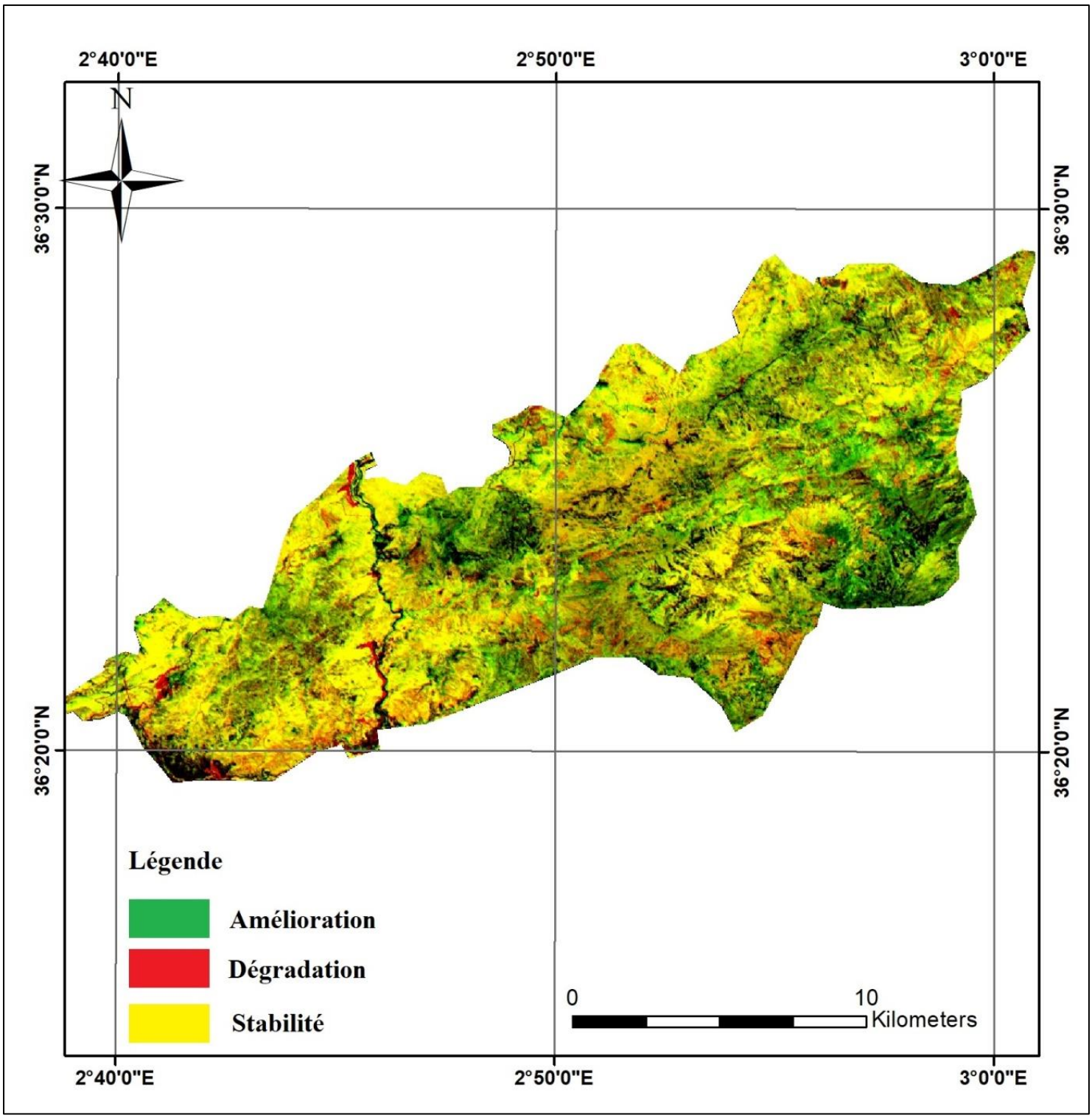


Fig.45. Carte de changement de la biomasse végétale entre 1987 et 2020

A l'aide du logiciel de traitement d'image ENVI, nous avons pu calculer les superficies de chaque classe de densité de la biomasse végétale, illustrée en **tableau 9**.

Tab.9 . Superficie de la densité de la biomasse végétale du parc national de Chrèa

Classes des densités de la végétation	Année 1987 (ha)	Année 2002 (ha)	Année 2020 (ha)	Changement (1987-2020) (ha)
Absence de couvert végétale	425.79	1929,51	282.51	**-143.28**
Faible couverture végétale	3.664.08	4467,51	2.090.07	**-1574.01**
Moyenne couverture végétale	8.133.24	7489,35	9.827.19	**+1693.24**
Forte densité végétale	15.80.84	13950,8	15.890.31	**+88.47**

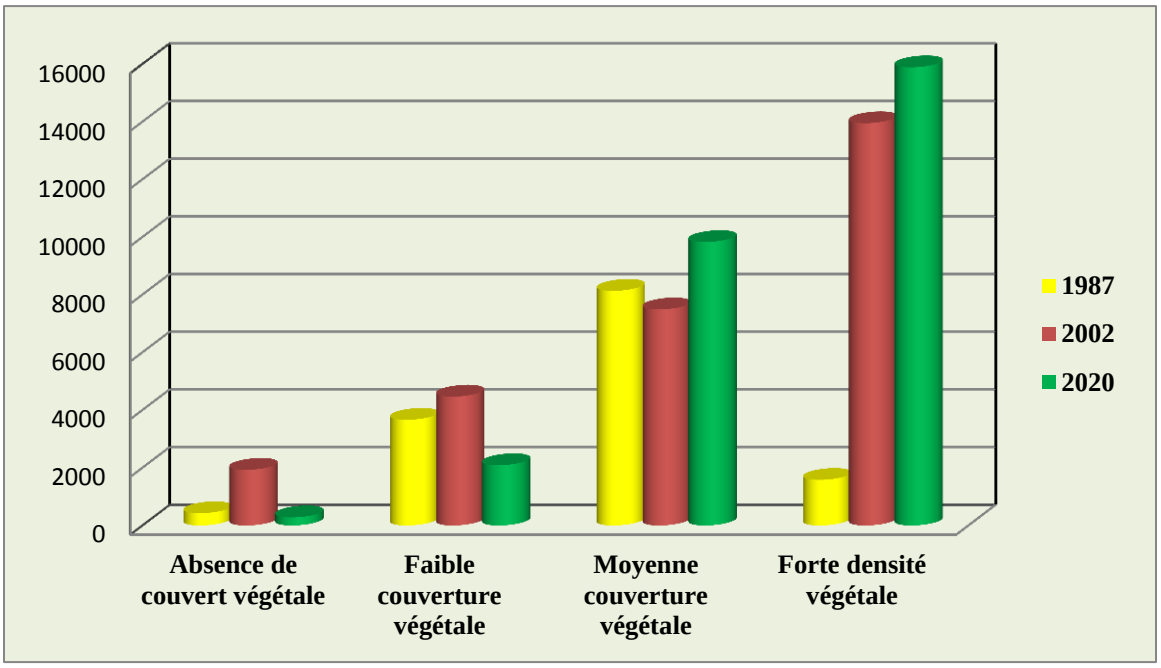


Fig.46 Histogramme de la superficie de la biomasse végétale du parc nationale de Chrèa

D'après le graphe illustré en **fig.46**, nous avons remarqué les mutations suivantes :

- Une réduction significative du sol nu dans l'année 2020 par rapport à l'année 1987 et une réduction des surfaces en faible couverture végétale dans l'année 2020 par rapport à l'année1987, cette réduction signifie une amélioration de la couverture végétale, car ces espaces ont été transformé en végétation.
- Une augmentation des superficies de la moyenne densité végétale dans l'année 2020 par rapport à l'année 1987 ainsi qu'une augmentation de la superficie de forte végétation

dans l'année 2020 par rapport à l'année 1987, c'est changement positif de la végétation où une amélioration de l'espace.

Pour la carte de 2002 :

- Une augmentation significative du sol nu et une amélioration de surfaces en faible couverture végétale par rapport à l'année 1987 et 2020
- Une réduction de la superficie de la class de (moyenne densité végétale) ainsi que une réduction de la superficie de la classe de (forte densité végétale) dans l'année 2002 par rapport à l'année 1987 et 2020. cette réduction signifie une dégradation du couvert végétal car ces espaces sont transformées en sol nu
- Finalement, nous pouvons dire que le parc de Chrèa a connu une bonne amélioration de son espace pendant les 33 ans d'une superficie de 1781.7 ha.

VI.4Classification des images satellitaires multi dates

VI.4.1Classification de l'image prise en 1987

- **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 inter classes 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 une autre est faible doit être soit confondue avec celle-ci ou redéfinie.

Dans notre cas et pour les échantillons d'apprentissage (image satellitaire prise en 1987) nous avons calculé la séparabilité entre les classes, nous avons trouvé que les valeurs de séparabilité varient entre 1.32 et 1.92, donc une bonne séparabilité.

Les forêts denses ont une bonne séparabilité avec l'eau, les sols nus et les forêts dégradées (valeur égale à 1.9.).

Les sols nus ont une bonne séparabilité avec les forêts claires et maquis ; et avec la végétation clairsemée (valeur égale à 1.8).

- **Evaluation de la séparabilité des classes 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, forêt dense ont une parfaite séparabilité avec l'eau et (valeur égale à 2) et une bonne séparabilité avec sol nu (valeur égale 1.99).

- **Matrice de confusion**

La matrice de confusion calculée représente une **précision globale** de 256/269qui soit **95.16%** de pixels bien classés par rapport au total des pixels.

Un coefficient **Kappa** égale à **0.94**, Les thèmes représentés par les **diagonales** sont dotés par les pourcentages supérieurs à**86%.**

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

- 13.04% de pixels mal classés correspondant à la confusion produite lors de la classification entre les forêts dégradées et l'eau.
- 4% entre sol nu et l'eau.
- 5.71%entre forêt claire et végétation clairsemée.**(Tableau.10)**

Tab.10. Matrice de confusion pour l'image classifiée de 1987

Classes	Forêt dense	Sol nu	Eau	Végétation clairsemée	Forêt dégradée	Forêt claire	User accuracy	Commission
Forêt dense	96.72	0	0	0	0	0	100	0
Sol nu	0	100	4	0	0	0	94.74	5.26
Eau	0	0	96.00	0	13.04	0	88.89	11.11
Végétation clairsemée	3.28	0	0	94.29	0	2.44	91.67	8.33
Forêt dégradée	0	0	0	0	86.96	0	100	0
Forêt claire	0	0	0	5.71	0	97.56	95.24	4.76
Producer accuracy	96.72	100	96	94.29	86.96	97.56		
Omission	3.28	0	4	5.71	13.04	2.44		
Précision global	(256/269) 95.1673%							
Coefficient Kappa	0.9416							

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 11.11 % des pixels de la classe « eau » 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 13.04% des pixels issus de la classe «Forêt dégradée » 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 n°10 on peut dire que 96.72% des pixels issus de la classe « forêt dense » appartiennent bien à la classe « forêt dense » 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 selon23 les lignes.

D'après le tableau n°10 on peut dire que 95.24% des pixels issus de la classe « forêt claire » sont bien réaffectés à la classe « forêt claire » après la classification.

Après le lancement de cette classification, Nous avons obtenu une carte d'occupation du sol en 1987 du parc national de Chréa **(Fig.47).**

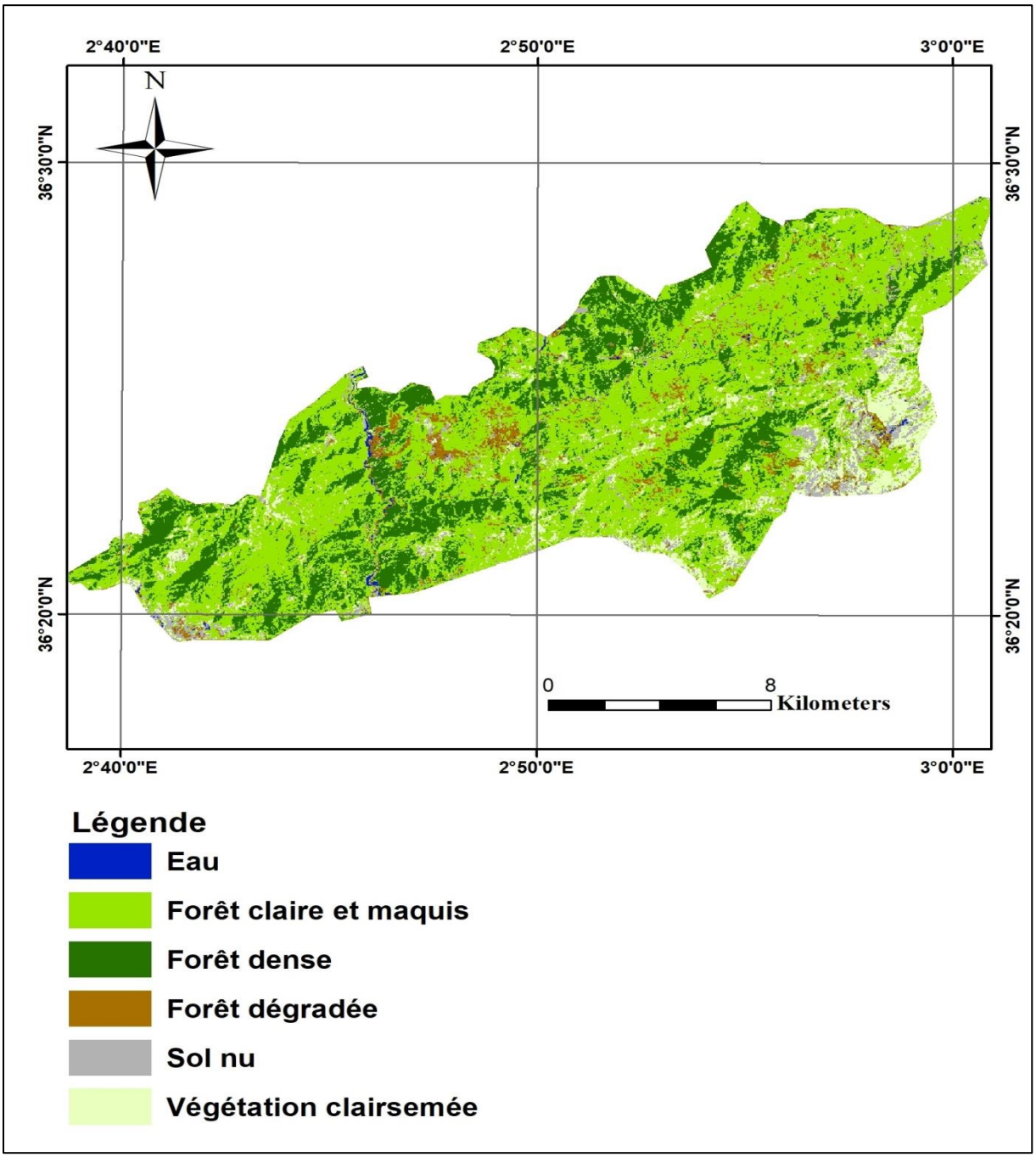


Fig.47. Carte d'occupation du sol du parc nationale de Chréa en 1987

IV.4.2Classification de l'image prise en 2002

- **Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage**

Nous avons calculé la séparabilité entre les classes, nous avons trouvé que les valeurs de séparabilité varient entre 1.09 et 1.99, donc une bonne séparabilité

La végétation clairsemée a une bonne séparabilité avec l'eau, les forêts denses (valeur égale à 1.9). Les forêts denses ont une bonne séparabilité avec les forêts claires et maquis (valeur égale à 1.8).

- **Evaluation de la séparabilité des classes de validation**

Sur la base du calcul de la séparabilité entre les classes de validation, nous avons trouvé une bonne séparabilité.

- **Matrice de confusion**

Pour évaluer notre classification, nous avons établi une matrice de confusion qui à parvenir de Mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications.

La matrice de confusion calculée représente une **précision globale** de 261/239 qui soit **94.15%** de pixels bien classés par rapport au total des pixels.

Un coefficient **Kappa** égale à **0.93**

Les thèmes représentés par les **diagonales** sont dotés par les pourcentages supérieurs à **87%.**

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% de pixels mal classés correspondant à la confusion produite lors de la classification entre les forêts dégradées et l'eau.
- 10.5% entre sol nu et l'eau.
- 2.44% entre forêt claire et végétation clairsemée.

Tab.11. Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2002

Classes	Forêt dense	Sol nu	Eau	Végétation clairsemée	Forêt dégradée	Forêt claire	User accuracy	Commission
Forêt dense	100	0	0	0	0	0	100	0
Sol nu	0	97.50	6	0	0	0	94.74	5.02
Eau	0	10.5	87.3	0	5	0	97.2	10.93
Végétation clairsemée	3.89	0	0	94.29	0	2.44	91.67	7
Forêt dégradée	0	0	0	0	90.96	0	100	0
Forêt claire	0	0	0	4	0	97.14	96	3.88
Producer accuracy	92.12	97.50	100	93.37	90.96	97.14		
Omission	2.88	2.5	0	5.01	11.4	2.86		
Précision global	(261/286) 94.1568%							
Coefficient Kappa	0.931							

Commission (l'erreur d'excédent) :. Dans notre cas on constate que 7% des pixels de la classe «Végétation clairsemée» ont été affectés à d'autres classes.

Omission (l'erreur de déficit) Dans notre cas on constate que 5.26% des pixels issus de la classe «sol nu » ont été affectés à d'autres classes.

Producer accuracy (précision pour le réalisateur) : D'après le tableau 11 on peut dire que 100% des pixels issus de la classe « forêt claire » appartiennent bien à la classe « forêt dense » après la classification.

User accuracy (la précision pour l'utilisateur) :.D'après le tableau 11 on peut dire que 94.29% des pixels issus de la classe« végétation clairsemé » sont bien réaffectés à la classe « végétation clairsemé » après la classification.

Après le lancement de cette classification, Nous avons obtenu une carte d'occupation du sol en 2002 du parc national de Chrèa **(Fig.48).**

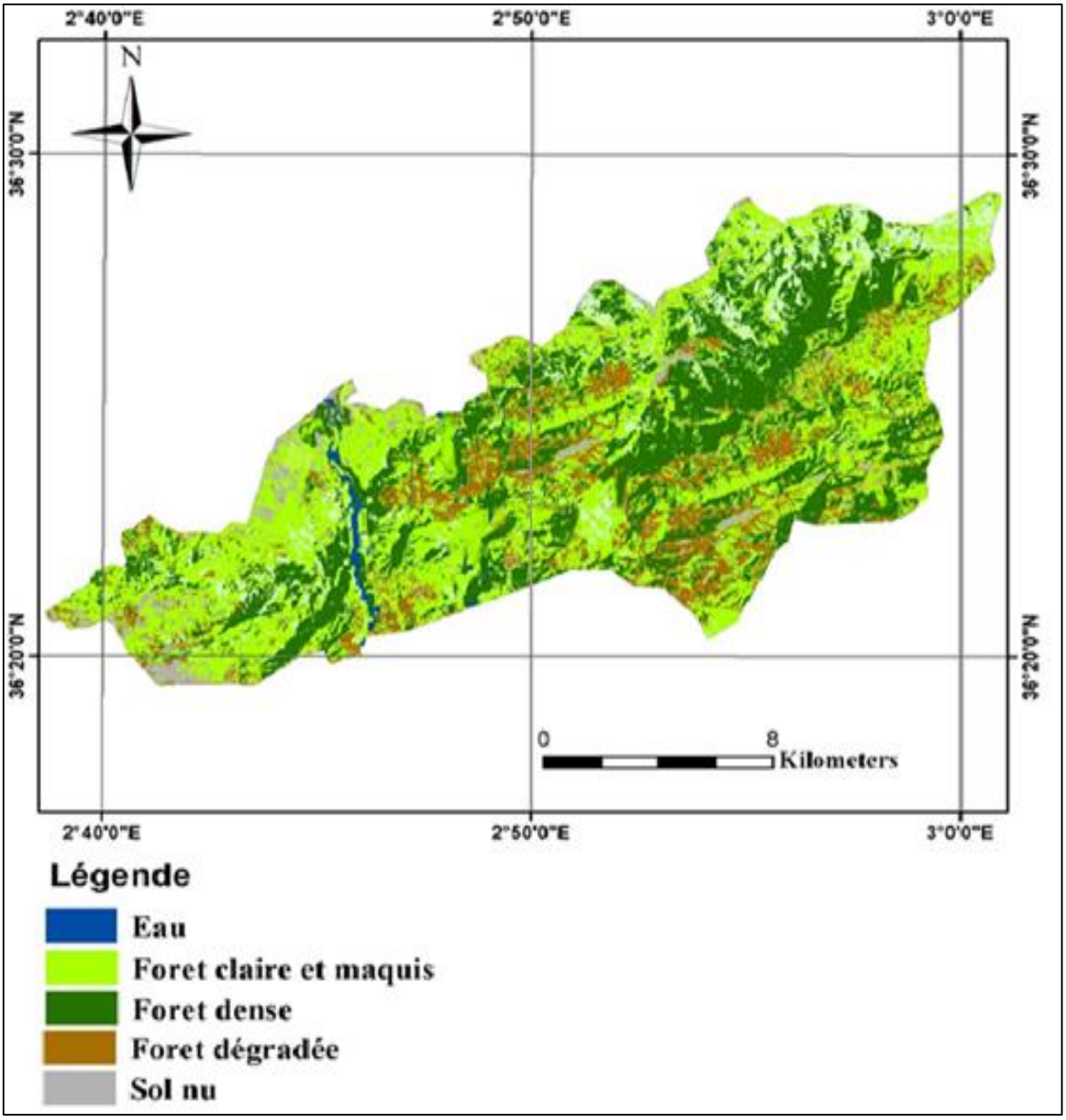


Fig.48. Carte d'occupation du sol du parc nationale de Chréa en 2002

IV.5.3 Classification de l'image prise en 2020

- **Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage**

Nous avons calculé la séparabilité entre les classes, nous avons trouvé que les valeurs de séparabilité varient entre 1.09 et 1.99, donc une bonne séparabilité.

La végétation clairsemée a une bonne séparabilité avec l'eau, les forêts denses (valeur égale à 1.9). Les forêts denses ont une bonne séparabilité avec les forêts claires et maquis (valeur égale à 1.8)

- **Evaluation de la séparabilité des classes de validation**

Sur la base du calcul de la séparabilité entre les classes de validation, nous avons trouvé une parfaite séparabilité.

- **Matrice de confusion**

Pour évaluer notre classification, nous avons établi une matrice de confusion qui à parvenir de mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications.

La matrice de confusion calculée représente une **précision globale** de 333/360 qui soit **92.50%** de pixels bien classés par rapport au total des pixels.

Un coefficient **Kappa** égale à **0.90**

Les thèmes représentés par les **diagonales** sont dotés par les pourcentages supérieurs à **72%.**

En dehors de la diagonale les pourcentages des pixels incorrectement classés sont dans la majorité des valeurs nulles.

Les maximums de confusions enregistrées sont :

- 12.28% de pixels mal classés correspondant à la confusion produite lors de la classification entre les forêts dégradées et l'eau.
- 11.54% entre sol nu et l'eau.
- 3.70% entre forêt claire et végétation clairsemée **(Tableau.11).**

Tab.12. Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2020

Classes	Forêt dense	Sol nu	Eau	Végétation clairsemée	Forêt dégradée	Forêt claire	User accuracy	Commission
Forêt dense	100	0	0	0	0	3.25	96.46	3.54
Sol nu	0	84.62	11.11	0	0	0	91.67	8.33
Eau	0	11.54	72.22	0	12.28	0	56.52	43.48
Végétation clairsemée	0	0	0	96.30	0	4.07	83.87	16.13
Forêt dégradée	0	3.85	16.67	0	87.72	0.81	90.91	9.09
Forêt claire	0	0	0	3.70	0	91.87	99.12	0.88
Producer accuracy	100	84.62	72.22	96.30	87.72	91.87		
Omission	0	15.38	27.78	3.70	12.28	8.23		
Précision global	(333/360) 92.50%							
Coefficient Kappa	0.9011							

Commission (l'erreur d'excédent) : Dans notre cas on constate que 3.54 % des pixels de la classe « forêt dense » ont été affectés à d'autres classes.

Omission (l'erreur de déficit) Dans notre cas on constate que 15.38% des pixels issus de la classe «sol nu » ont été affectés à d'autres classes.

Producer accuracy (précision pour le réalisateur) : D'après le tableau 12 on peut dire que 99.12% des pixels issus de la classe « forêt claire » appartiennent bien à la classe « forêt dense » après la classification.

User accuracy (la précision pour l'utilisateur) : D'après le tableau 12 on peut dire que 96.30% des pixels issus de la classe «végétation clairsemé » sont bien réaffectés à la classe « végétation clairsemé » après la classification.

Nous avons réalisé une image classée de parc nationale de Chréa, le résultat obtenu est une carte d'occupation du sol de la zone d'étude en 2020**(Fig. 49).**

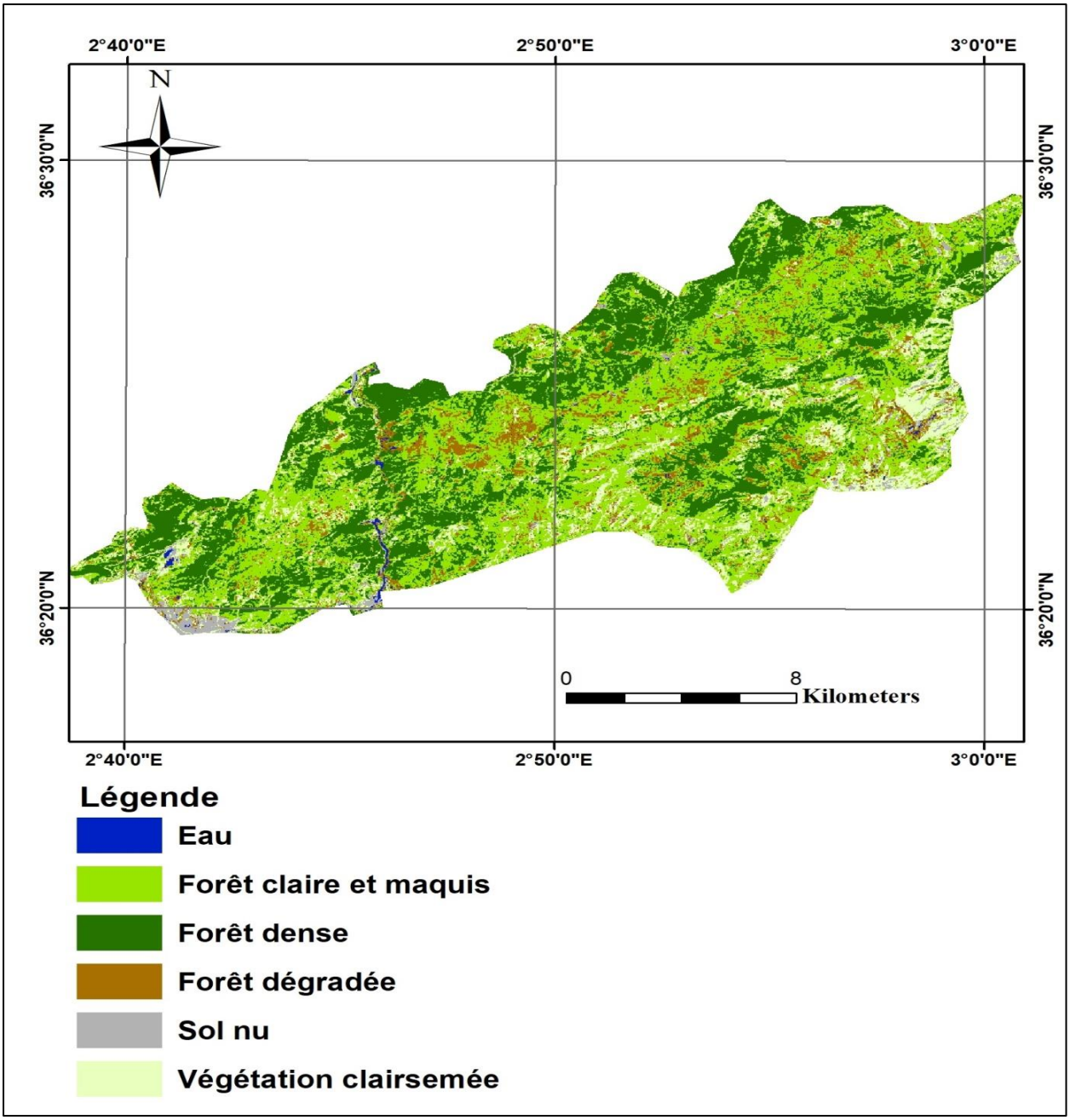


Fig.49 Carte d'occupation du sol du parc national de Chrèa en 2020

IV.6. Evaluation du changement de l'occupation des sols (1987, 2002 et 2020)

Les statistiques sur les superficies des classes d'occupation du sol entre les trois dates d'une période de 33 ans permettent de ressortir les différentes mutations de cette zone d'étude.

L'évaluation de ces mutations a été faite à partir du calcul de déférences entre les surfaces des classes d'occupation des sols du parc nationale de Chréa **(Tableau.12)**

Tab.13. Superficies de déférents thèmes d'occupation de sol du parc national de Chréa en1987, 2002 et 2020

La classe d'occupation	Année 1987 (ha)	Année 2002 (ha)	Années 2020 (ha)	Changements (1987-2020)
Forêt dense	6478.22	8140,32	9293.47	+2815.45
Forêt claire et maquis	16283.4	11220,7	12550.2	-3739.2
Forêt dégradé	1336.71	3344,85	2317.23	+980.52
Sol nu	1449.52	1746,54	674.73	-774.79
Eau	113.66	113.60	114.15	+0.49
Végétation clairsemé	2420.30	2197,89	3120.15	+714.4

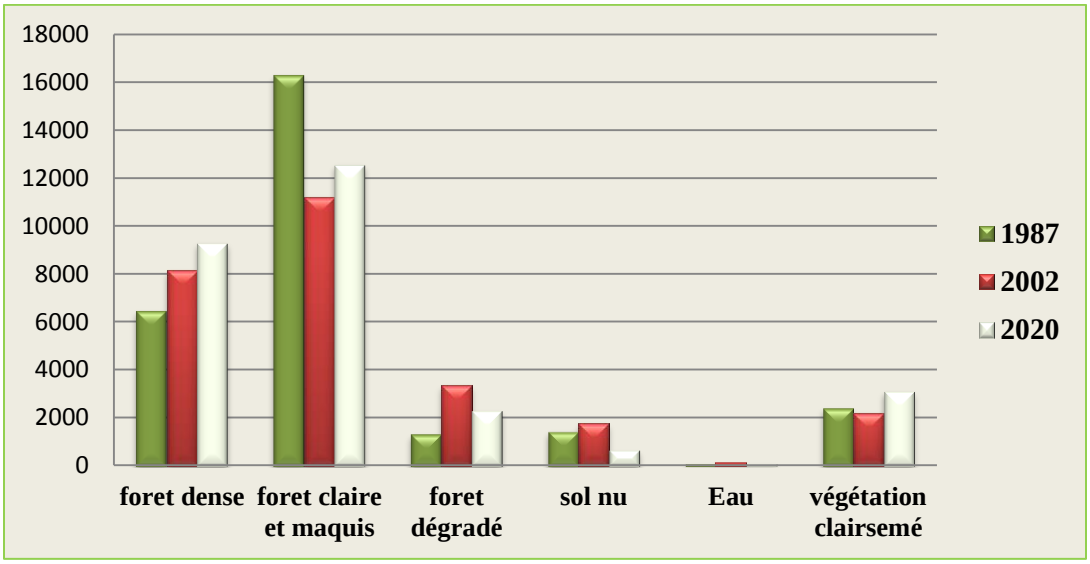


Fig.50 Histogramme de la superficie de la biomasse végétale du parc nationale de Chrèa

D'après le graphe illustré **(Fig.50)**, nous pouvons remarquer les points suivants :

Au niveau du parc national de Chrèa, entre 1987 et 2002 nous avons trouvé une augmentation dans la superficie des forets danse et foret dégradé et sol nu, et réduction dans la superficie des forets claire et maquis et végétation clairsemé. Car elles sont transformé en forêt dense et dégradé suit a des actions du grande tourisme dans cette période.

Entre 2002 et 2020nous avons trouvé une augmentation marqué dans toutes les superficies végétale étudie, et réduction dans la superficie des forets dégradé et sol nu cela peu traduite l'augmentation de milieu végétale car la superficie réduit du foret dégradé et sol nu est

transformé en végétation suit a une évolution des précipitations et des aménagements et préservation par les gestionnaires de parc.

D'après les cartes des changements et le tableau, nous pouvons remarquer les points suivants : - Au niveau du parc national de Chrèa, entre 1987 et 2020, nous avons trouvé une augmentation des zones (Forêt dense) d'une superficie de (+ 2815.45 ha) **(Fig.51),**en raison que les forêts claires et les maquis ont été transformées, durant ces 33 ans, aux forêts denses.

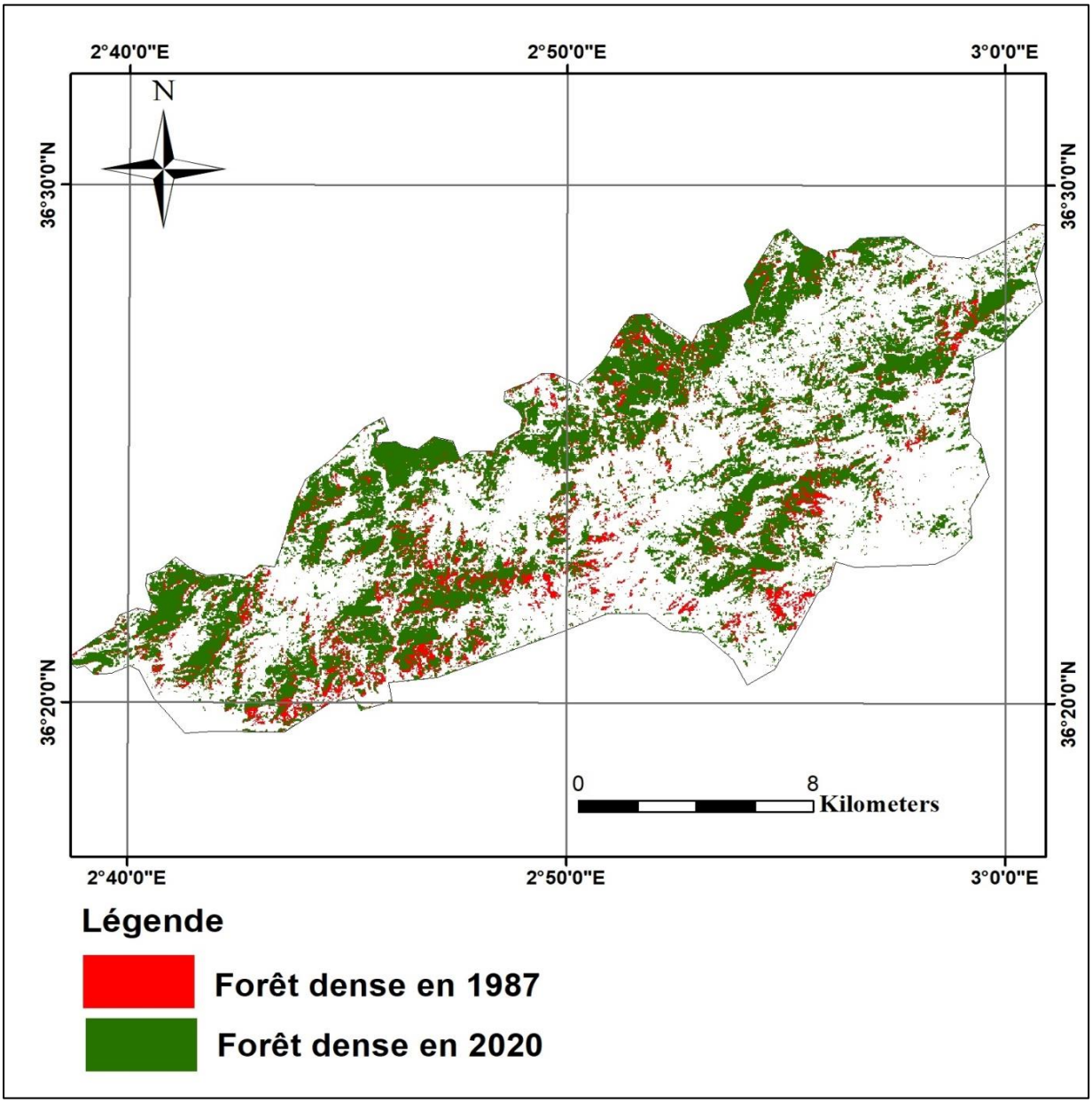


Fig.51 Carte de changement de la classe forêt dense du parc national de Chrèa (**1987-2020**)

Au niveau du parc national de Chrèa, entre 1987 et 2020, nous avons trouvé une augmentation des zones (forêts dégradées) d'une superficie de (+980.52ha) (**Fig.52**), en raison que quelques surfaces forestières ont connus une dégradation dû aux déforestations, aux incendies de forêts, aux érosions hydriques, aux défrichements…etc.ces zones ne sont pas spécifiques à une phénomène précise mais se répartissent sur tout le parc**(Fig.52)**

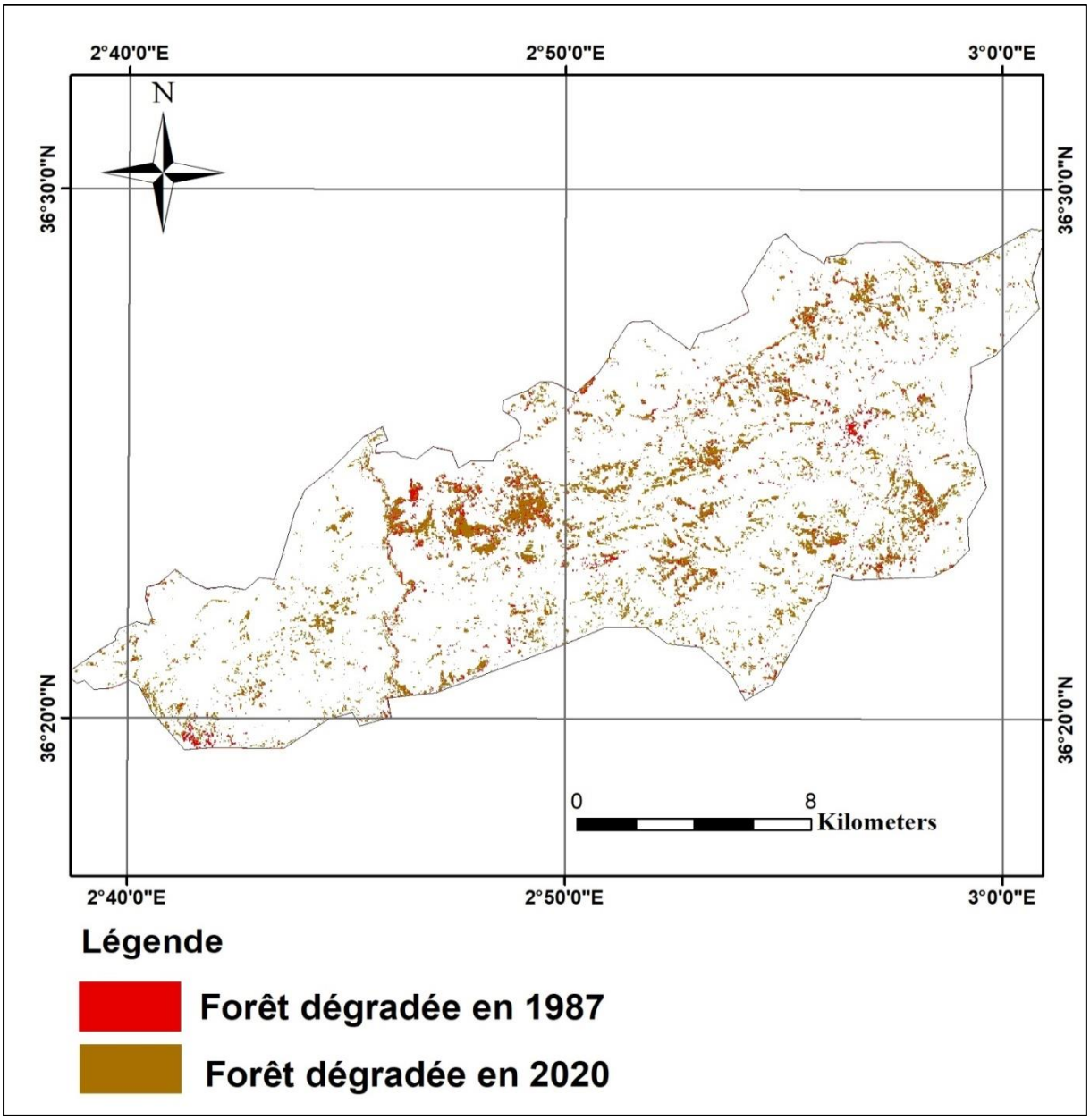


Fig.52. Carte de changement de la classe forêt dégradée de parc national de Chréa (**1987-2020**)

Par contre, entre 1987 et 2020, nous avons trouvé une réduction des zones (Forets claire et maquis) d'une superficie de (-3739ha) **(Fig.53),** en raison que quelques surfaces ont connus une amélioration, donc transformées en forêts denses dû aux aménagements qu'a connu ce parc. Où bien une dégradation si ces surfaces ont été transformées aux forêts dégradées où sols nus.

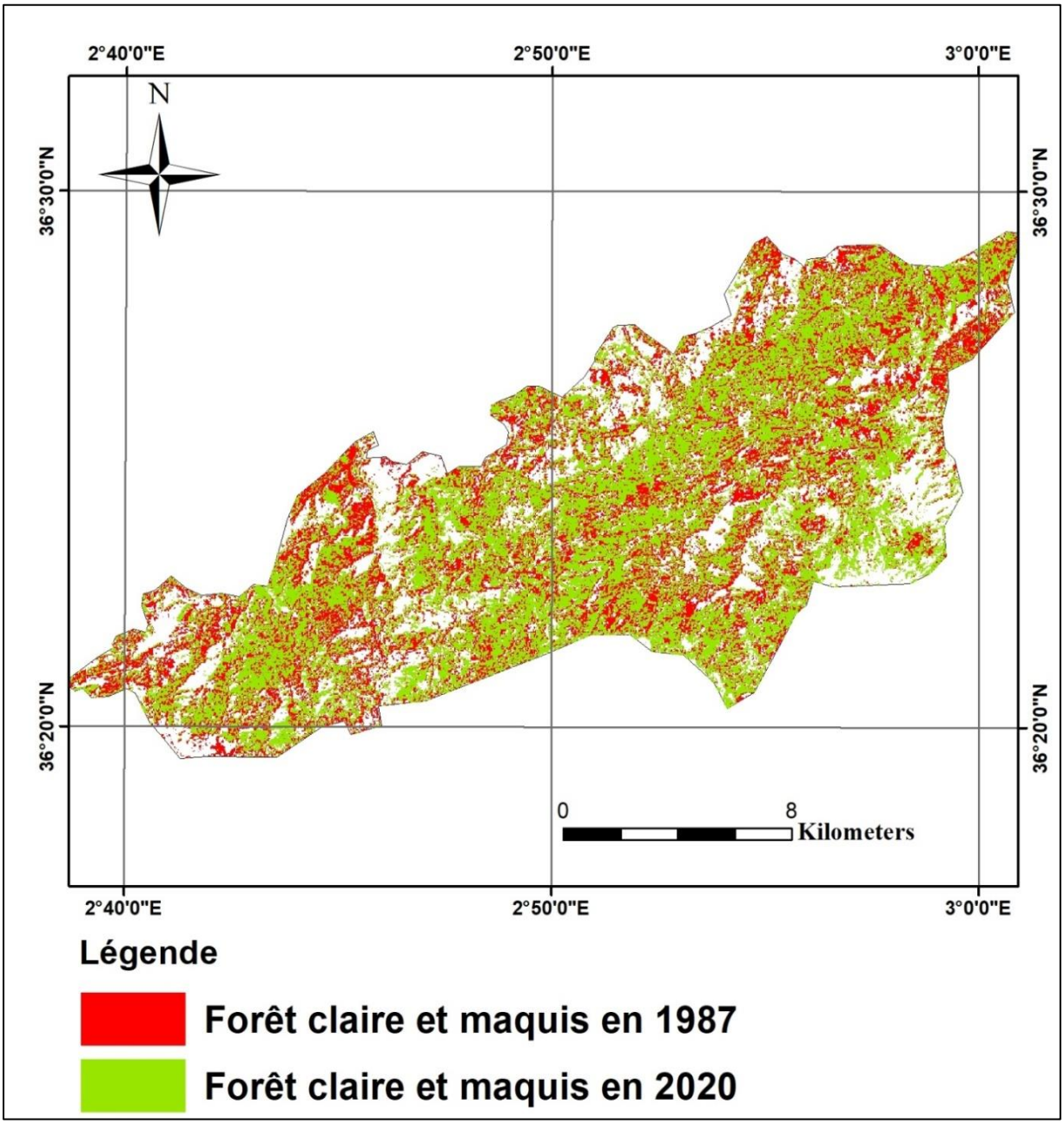


Fig.53. Carte de changement de la classe forêt claire et maquis du parc de Chréa (**1987-2020)**

IV.7.Discussion générale

Le parc nationale de Chrèa c'est un espace protégé et un réserve de biosphère. C'est essentiellement un parc montagneux caractérisé par une diversité végétale et forestière

Le parc connu une amélioration dans l'occupation de sol durant la période étudiée (**33 ans**). Le patrimoine forestier du parc connait actuellement un développement et une amélioration du couvert végétal (forêt dense et végétation clairsemée) et une diminution des zones dégradée et sol nu. Le milieu hydrique a connu une légère augmentation.

Ces derniers changements sont le résultat de plans de gestion et d'aménagement établis dans le parc basé sur le reboisement, la surveillance, la protection du milieu et la diminution des risques d'incendies.

De plus cette évolution durant la période étudiée est les résultat qu'a connu la région car nous avons assisté à une amélioration des conditions pluviométriques depuis la fin des années 90 ce qui a été bénéfique aux formations végétales malgré les grands dégâts et incendies durant cette période caractérisée par une situation délicate sur le plan de la sécurité des populations habitant les zones forestières.

VI. Conclusion générale

Au cours de cette étude, nous avons mis un accent important sur le traitement des données de télédétection multi temporelles afin de suivre l'occupation de sol dans le parc national de Chréa et évaluer les différentes mutations de la biomasse végétale dans une période de 33 ans .Ce travail a montré l'apport considérable des nouveaux outils de télédétection dans l'analyse des milieux forestier.

La télédétection est un moyen d'inventorier, de surveiller, les ressources naturelles et permet d'établir des scénarios d'aménagement. Et un outil indispensable dans la détection et le suivi de certains phénomènes environnementaux.

L'objectif principal de cette étude était la détection de la mutation des changements de l'occupation de sol sur le parc nationale de Chrèa entre les années 1987,2002 et 2020 et l'établissement d'une méthode pour détecter ces mutations à partir des données satellitaire multi temporelles disponible.

Face à la richesse des informations fournis par les données satellitaires, nous avons basé sur une méthodologie universelle d'analyse multi temporel par le traitement et L'interprétation de ces données, et par des techniques et des applications de traitement des images satellitaires , qui basse sur l'application de l'indice de végétation NDVI qui nous ont aidé à a percevoir les changements parvenus dans le milieu, et par une classification supervisée commence par l'identification des classes d'information qui sont en suite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent. Afin d'analyser et dévaluer la problématique de mutations et changement de l'espace forestier.

Cette évaluation a été faite par la réalisation des cartes d'occupations des sols et des cartes de densité de la biomasse végétale multi dates. Dans cette étude, l'imagerie satellitaire nous a permet d'estimer les superficies des déférences classe végétale étudie.

Les résultats obtenus à partir du traitement multi temporel des données spatiales par des classifications supervisées et l'application des indices de végétation montrent une importante amélioration de l'espace forestier étudié entre 1987 et 2020, et augmentation de la biomasse végétale en 2020 de **1781.71Ha**. La classification supervisée montre une importante augmentation de la surface des forêts dense en 2020 par rapport au 1987 de **2815.45 Ha**, et une augmentation de la surface totale de la végétation en 2020 de **3203.114 Ha**. Par contre dans la période de 2002 les cartes montrent une dégradation du milieu végétale et

augmentation des zones de dégradation par **3344,85Ha**. Cette dégradation peut être expliquée par les incendies qui ont eu lieu durant cette période et certaines mesures de sécurité.

Cette Situation traduit l'apport de l'état dans la surveillance, la préservation et les Aménagements dans le parc national de Chrèa ainsi que l'amélioration des apports pluviométriques durant les années 2000.

Toutefois, notre travail offre plusieurs voies d'exploration pour des travaux futurs. Dans la Continuité du travail présenté, on propose :

- ✓ **l'élaboration d'un système d'information Géographique (SIG)** dédié à la gestion des données des classes étudiées notamment les confusions entre les classes.
- ✓ **Il faut noter aussi que des compagnes de terrain sont vraiment nécessaire** pour bien comprendre les types d'occupation du sol du territoire et de créer une hiérarchie appropriée des classes pour la classification orientée objet et ce pour permettre une meilleure validation des classifications.
- ✓ **Donner plus d'importance à l'utilisation de la télédétection dans les différents services administratif des parcs nationaux** on peut créer des départements ou des équipes spécialisé dans ce domaine.

Référence bibliographique

1. **AZZAOUI M.E, 2017.** Dynamique de végétation du couvert forestier dans la région
2. **BAH M., 2016 .**Mise en place d'un outil de suivi de la végétation à partir de données de télédétection à basse résolution spatiale. Mémoire de master : Geomatique Science de l'Information Géoréférencée pour la Maîtrise de l'environnement et l'Aménagement des territoires (SIGMA). Université de Toulouse.70p
3. **BARET.F.GUYOT.G, 1991**. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and PAR Assessment Remote Sensing of Environment, 35,161-173.
4. **BELABBACI H. et KHIATINE Y, 2019.** Contribution à l'étude au niveau de Parc National du Chréa (Secteur El Hamdania) par télédétection. Univ Médéa. P106.
5. **Beldjazia. A, 2019**. Cours: Télédétection et SIG Université Ferhat Abbas de Sétif.
6. **BENSAADA.A, 1986**. Etude de végétation du djebel Mouzaia. Essai de cartographie de la partie Est .INA.El-Harrache, Alger 70p
7. **BONN F. et ROCHON G., 1992.** Précis de télédétection. Presses de l'université de Québec/AUPELF. 485 pages.
8. **CCRS et CCT.** Centre Canadien des Ressources Naturelles et Centre Canadien de Télédétection : http//www.ccrs.nrcan.gc.ca/
9. **CCT, 1999.** Cours de télédétection du Centre canadien de télédétection (C.C.T).
10. **CCT, 2005.** Centre Canadien de Télédétection, 2005.
11. **CHEREL , 2010**.classification d'images de télédétection
12. **CHUVIECO.E ,1996.** Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp S.A. Madrid. PP568
13. **CORBANE.C, 2006**. Reconnaissance des états de surface en milieu cultivé méditerranéen par télédétection optique à très haute résolution spatiale. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, Sciences : Terre, Eau, Espace .Montpellier, P264.
14. **DAHEL R., 2015**. Le parc national de Chréa une aire protégée à influence régionale. De tiaret doctorat, université ibn khaldoun Tiaret Tiaret, 129p.
15. **DENIS.A, 2012.** Travaux pratique de télédétection spatiale, université de Liège Arlon campus Enivrement .p85
16. **DERDJINI .H, 2017**. Cartographie du changement l'occupation du sol dans la plaine de la Mitidja à partir des images Landsat.

17. **DESHAYES M. et MAUREL P, 1990.** L'image spatiale et son contenu. Options méditerranéennes. Série A, n° 4
18. **Di GREGORIO.A., & JANSEN.L ,1997**. A new concept for a land covers classification system. Paper presented at the Proceedings of the Earth Observation and Environmental Information 1997 Conference. Alexandria, Egypt.
19. **EL ZEREY .W, 2014.** Etude diachronique de la régression du couvert végétale de plaine de telga (ALGERIE).
20. **EMBERGER L., 1955.** Une classification biogéographique du climat.
21. **EMBERGER, L., 1936 .**Sur une formule climatique applicable en géographie Botanique. Compte. Rend. PP 38-390
22. **ENVCAL**. Suivi de l'enivrement par télédétection, (cours.univ-paris).
23. **FAUREL .L ,1947**. Aperçu schématique sur les sols de cédraies de l'Afrique du Nord. compte rendu des conférences de pédologie médit Alger-Montpellier. PP 474-477.
24. **Gay.M ,1999**. Cours rédigé de télédétection sur la classification des images satellisables à l'Ecole Supérieure d'Agriculture de PURPAN.
25. **GILLES.T ,2020.** AfricaGIS Innovation et sciences géo spatiales pour développement durable.
26. **GIRARD M. C. et GIRARD M.C, 1999.** Traitements des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 pages.
27. **HALIMI A ,1980** L'Atlas Blidéen : climat et étages végétaux. O.P.U., éd., Alger, 523p.
28. **JEANNINE.G.** La télédétection et ses application pédagogiques P. 12.
29. **JOURAL OFFICIEL, 1980.** in C.S.F.D,
30. **KADIK B., 1983.** Contribution à l'étude du pin d'Alep En Algérie écologie, dendrométrie, morphologie. Université paul, cézanne.623p.
31. **LEG G., 1992.** Remote sensing and geographic information systems.
32. **LILLESAND T. M. ET KIEFFER R.W., 1987.** Remote sensing and image interpretation p .791.
33. **MAREDJ A., 1992**. Apport de la télédétection pour le suivi de l'évolution d'une région urbaine. Centre Nationale de la Télédétection.
34. **MEDDOUR.R, 2002.** Bioclimats, étages et séries de végétation de l'Atlas Blidéen (Algérie). Phytocoenologia, 32, 101-128.

35. **MEDDOUR.R, 1994**. Contribution à l'étude phytosociologique de la portion Centro-orientale du parc national de Chrèa. essai d'interprétation synthétique des étages et des séries de végétation de l'Atlas Blidéen. thèse magister. INA .El-Harrach 330p.
36. **MOKHTARI. Djamel Eddine, 2009.** Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surface en milieu salin (Le Bas-Chéliff), p. 17.
37. **ONS, 2009.** Office National Statistique.
38. **PLAN DE GESTION I, 2000**. Plan de gestion I. Période quinquennale 2000– 2005. Parc national de Chréa
39. **PLAN DE GESTION III, 2015**. Période quinquennale 2010– 2015. Parc national de Chréa.
40. **PNC ,2020** .document (1) présentation du parc national de Chrèa ; PP1-5
41. **PNC, 2013.** Parc National de Chrèa, évaluation des plans de gestion I-II-III élaboration de plan de gestion IV: DIRECTION GENERALE DES FORETS, 81p.
42. **RGPH , 2008** Le Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
43. **ROBIN .M, 1998.** La Télédétection. Nathan, Paris, 318 pages.
44. **SOUDANI. K, 2005.** Cours rédigé de télédétection. Introduction générale à la télédétection. ECOII, Version1.2 – Séries –Version PDF. Univ. Paris Sud XI. p.26
45. **TELCAN, 2013.** Manuel de Télédétection Spatiale
46. **TURNER.B.L. LAMBIN.E & REENBERG. A, 2007.** The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. The National Academy of Sciences of the USA, 104, 38.
47. **UNISCO. 2015.** The United Nations Educational, Scientific and Cultural.
48. **UVED, 2008**. Université virtuelle environnement et développement durable .suivi de l'environnement par télédétection cours en ligne université paris 1.

ANNEXE





Cèdre de l'atlas **chêne zeen** **plante ripisylves**





Champignon **plante aquatique** **murier noire**





Pin d'alep **Fouger** **la châtaigne**

Images de la Flore du parc(PNC2013)






Tortue grecque **Huppe fasciée** **Le geai des chênes** **singe magot**



Grenouille vert



Lézard ocellé



aigle royal



layenne



renard



chacal



Coccinelle d'Algérie



Coliascrocea



Barbeau algérien

Images de la faune du parc national de Chréa (PNC2013)

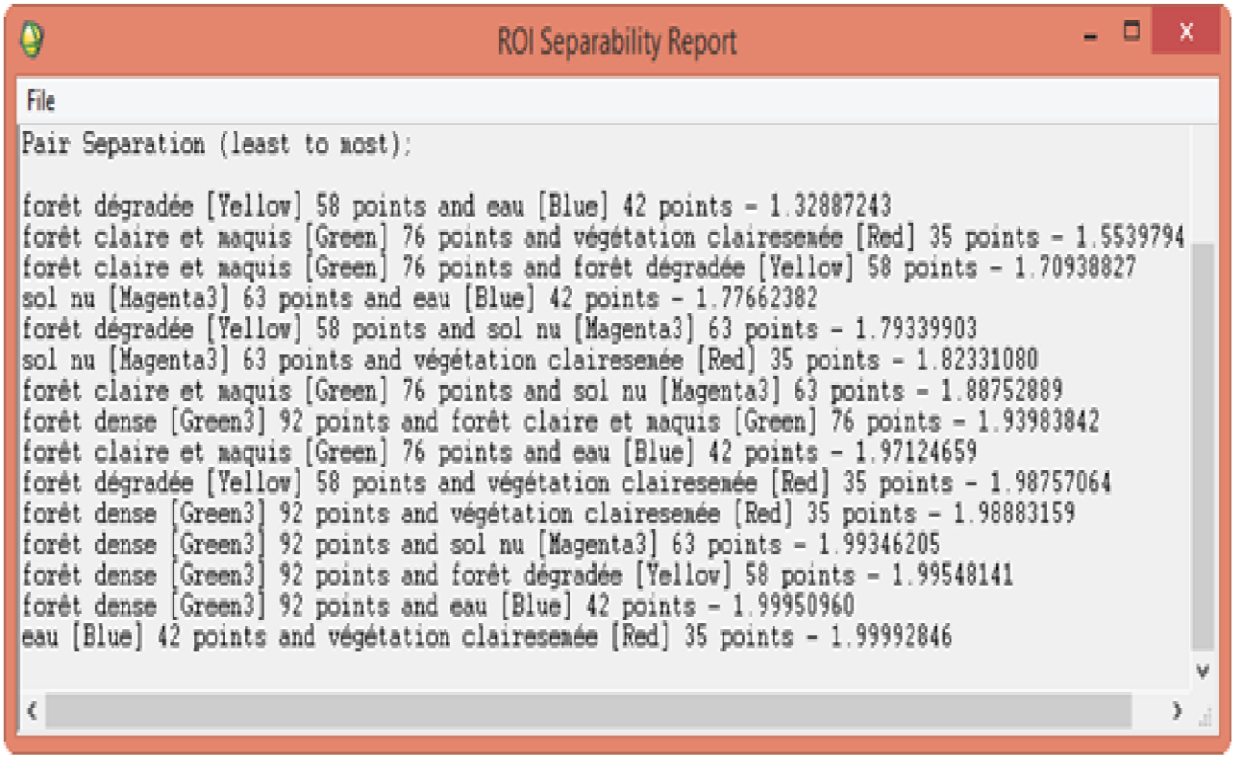


Fig. 1 Séparabilité entre les classes d'apprentissage (1987)

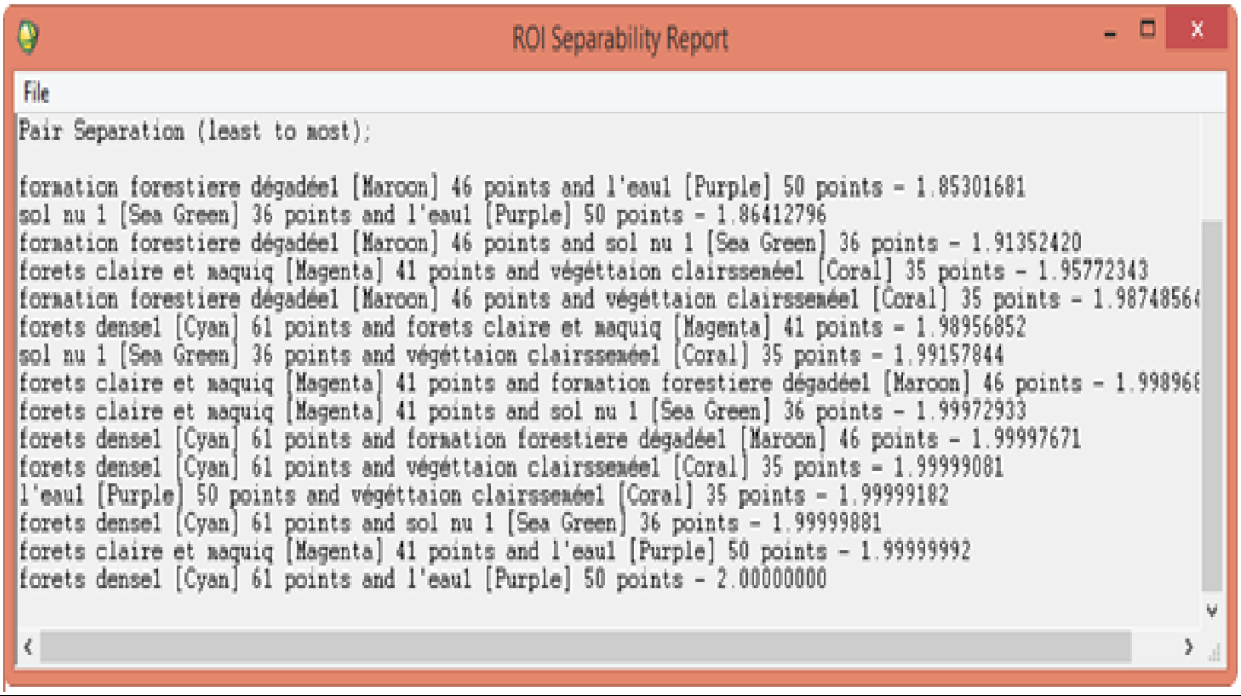


Fig. 2 Séparabilité entre les classes de validation (1987)

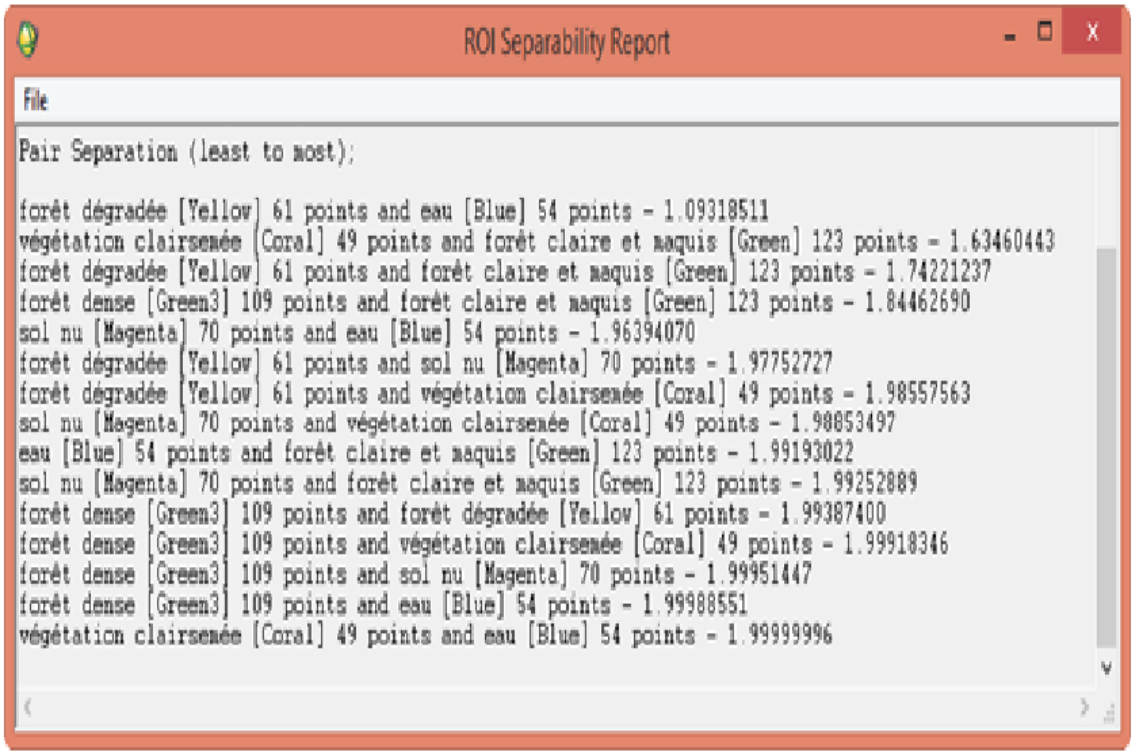


Fig. 3 Séparabilité entre les classes d'apprentissage(2020)

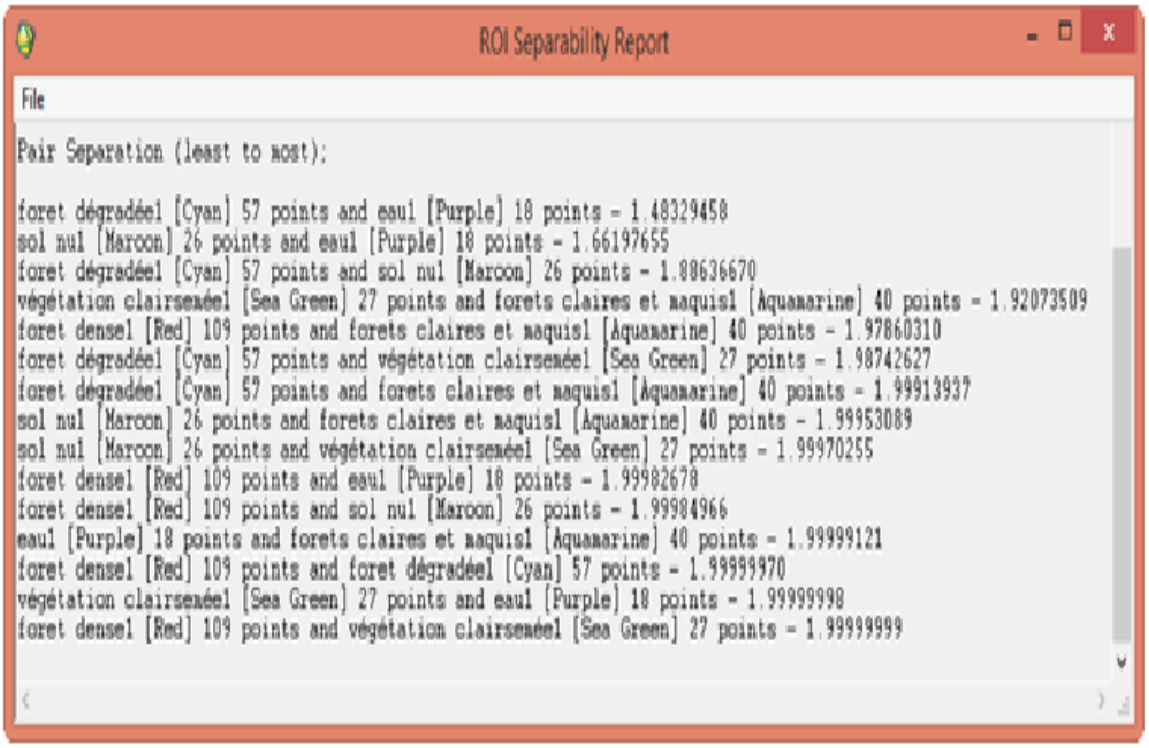


Fig. 4 Séparabilité entre les classes de validation(2020)