

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaia



Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie

Par : BEN ABDALLAH Lakhdar
KHOBZI Ayoub

Thème

Cartographie du palmier dattier
(*Phoenix dactylifera L.*) par télédétection spatiale
dans la région de Guerrara
(Wilaya de Ghardaïa)

Soutenu publiquement le : / / 2022
Devant le jury composé de :

M. KHELLAF Khoudir	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaïa	Président
M. KRAIMAT Mohamed	Maitre de conférences A	Univ. Ghardaïa	Encadreur
Mme. OULED HEDDAR Meriem	Doctorant	Univ. Ghardaïa	Co- Encadreur
M. BENBRAHIM Fouzi	Maitre de conférences A	ENS. Ouargla	Examineur

Année universitaire : 2021/2022



Remerciements



Avant tout je remercie Dieu tout puissant, de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce modeste travail.



Je tiens tout particulièrement à témoigner ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Monsieur KRAIMAT Mohamed Maître de conférences A à l'université de Ghardaïa, d'avoir accepté de m'encadrer sur le thème, de m'avoir conseillé judicieusement, orienté.

Mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont corrigé de ce travail.

Nous sommes également reconnaissants à mon ami Kasbi brahim, qui nous a aidés à accomplir ce travail avec ses idées et ses conseils.

Réaliser un travail de mémoire est aussi une belle aventure dans notre vie : merci à tous les amis et collègues du département SNV. Nous le concluons avec ce travail, qui culmine les efforts des années d'étude pour parvenir à ce succès.

Enfin, je tiens à remercier tous les enseignants du premier cycle qui ont contribué à ma formation. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste ouvrage.



Dédicace

Je dédie ce travail de soutenance à : mes chers parents, mes chers frères, ma fiancée S., sans oublier les amis et tous ceux qui m'ont soutenu pour accomplir ce travail. Lakhdar. B



Je dédie ce travail de soutenance à tous les membres de ma famille chacun son nom, surtout le sommet de ma tête papa Aissa, ma tendre mère, ma gentille grand-mère et ma chère fiancée.

Je le dédie également à mon ami et frère Muhammed-elhadi, ainsi qu'à mon brillant collègue Lakhdar, et à chers collègues et amis. AYOUB.K

Résumé

Cartographie du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) par télédétection spatiale dans la région de Guerrara (Wilaya de Ghardaïa).

Après l'accroissement urbain constaté dans la zone de Guerrara, on s'interroge sur l'impact de cette augmentation sur le couvert végétal qui s'y trouve à deux époques distinctes.

Le but principal de notre étude était de trouver des changements dans l'occupation de la végétation, en utilisant l'imagerie satellitaire LANDSAT dans la région de Guerrara (wilaya de Ghardaïa), avec une méthode de classification supervisée avec un bon intervalle de temps entre deux dates, post-classification et détection des changements statistiques et NDVI. En fait, la précision globale résultante est de 77 % et 87 % pour les images de 1999 et 2021, respectivement. Ces images, acquises par les capteurs des satellites LANDSAT 7 ETM+ et 8 OLI en 1999 et 2021, ont été attribuées à dix catégories représentatives des composantes terrestres : palmiers dattiers, cultures herbacées (maraîchère), végétation naturelle et vergers, zones urbaines et industrielles, oued et Chebka.

Tous les résultats montrent l'évolution temporelle et spatiale de l'occupation de la végétation au sein de la zone d'étude et sur une période de plus de 20 ans, nous avons donc des cartes d'occupation de la végétation et des tableaux récapitulatifs des changements pour deux dates différentes, et même nous pouvons connaître les facteurs et leur type qui affectent notre région.

Mots clés : LANDSAT, NDVI, Télédétection, Palmier dattier, Guerrara, Ghardaïa.

Abstract

After the urban growth observed in the Guerrara area, one wonders about the impact of this increase on the vegetation cover found there at two distinct times.

The main aim of our study was to find changes in vegetation occupation, using LANDSAT satellite imagery in the region of Guerrara (wilaya of Ghardaïa), with a supervised classification method with a good time interval between two dates, post-classification and detection of statistical and NDVI changes. In fact, the resulting overall accuracy is 77% and 87% for the 1999 and 2021 images, respectively. These images, acquired by the sensors of the LANDSAT 7 ETM+ and 8 OLI satellites in 1999 and 2021, were assigned to ten categories representative of the terrestrial components : date palms, herbaceous crops (market gardening), natural vegetation and orchards, urban and industrial areas, wadi and Chebka.

All results show the temporal and spatial evolution of vegetation occupation within the study area and over a period of more than 20 years, so we have vegetation occupation maps and summary tables changes for two different dates, and even we can know the factors and their type that affect our region.

Keywords : LANDSAT, NDVI, Remote sensing, Date palm, Guerrara, Ghardaïa.

ملخص

بعد النمو العمراني الملحوظ في منطقة القرارة، يتساءل المرء عن مدى تأثير هذه الزيادة على الغطاء النباتي الموجود هناك في زمنين مختلفين.

كان الهدف الرئيسي من دراستنا هذه هو إيجاد تغييرات في احتلال الغطاء النباتي، وهذا باستخدام صور القمر الصناعي لاندسات في منطقة القرارة (ولاية غرداية)، مع طريقة تصنيف خاضعة للإشراف مع فاصل زمني جيد بين تاريخين، من خلال التصنيف المراقب ومن خلال طرق الكشف عن التغيرات الإحصائية وباستعمال مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي. في الواقع، تبلغ الدقة الإجمالية الناتجة 77 و 87 % للصور من 1999 و 2021 على التوالي. تم تخصيص هذه الصور، المحصل عليها بواسطة مستشعرات أقمار صناعية + LANDSAT 7 ETM و OLI 8 و في عامي 1999 و 2021، إلى عشر فئات ممثلة للمكونات الأرضية: نخيل التمر، والزراعات العشبية (البستنة السوقية)، والنباتات الطبيعية والبساتين، و المناطق الحضرية والصناعية والوادي وشبكة.

توضح جميع النتائج التطور الزمني والمكاني لشغل الغطاء النباتي داخل منطقة الدراسة وعلى مدى أكثر من 20 عامًا، لذلك لدينا خرائط احتلال نباتي وتغيرات جداول موجزة لتاريخين مختلفين، وحتى يمكننا معرفة العوامل ونوعها التي تؤثر على منطقتنا.

الكلمات المفتاحية: لاندسات، NDVI، الاستشعار عن بعد، نخيل التمر، القرارة، غرداية.

Liste des tableaux

N° Tableau	Titre	Page
01	Moyenne de température des mois (°C) entre 2007 et 2016 (ONM Ghardaïa)	07
02	Moyenne de précipitation des mois (mm) entre 2007 et 2016 (ONM Ghardaïa)	08
03	Moyenne d'évaporation des mois entre 2007 et 2016 (ONM Ghardaïa)	09
04	Moyenne d'humidité relative des mois entre 2007 et 2016 (ONM Ghardaïa).	10
05	Moyenne d'Insolation de mois entre 2007 et 2016 (ONM Ghardaïa).	11
06	Caractéristiques des images spatiales de quelques satellites	26
07	Caractéristiques des satellites LANDSAT 7(ETM+) et LANDSAT 8(OLI)	29
08	Informations utiles sur les images satellitaires à traitées	33
09	Différentes combinaisons utilisées en fausses couleurs et leurs utilités par LANDSAT 7 ETM + (Source: Laghouag, 2011)	40
10	Différentes combinaisons utilisées en fausses couleurs et leurs utilités par LANDSAT 8 OLI (Source : ESRI)	40
11	Nombre de combinaisons possibles	41
12	Classes de l'occupation du sol par la végétation	44
13	Classes de la carte et leurs couleurs pour la classification supervisée	47
14	Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l'image 1999 (pixels)	57
15	Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l'image 1999 (pourcentage)	58
16	Table de faible et forte confusion pour l'image de la région de Guerrara 1999	59
17	Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l'image 2021 (pixels)	60
18	Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l'image 2021 (pourcentage)	61
19	Table de faible et forte confusion pour l'image de la région de Guerrara 2021	62
20	Statistique de l'indice « NDVI » de l'image de la région de Guerrara 1999	65
21	Statistique de l'indice « NDVI » de l'image de la région de Guerrara 2021	65
22	Récapitulatif de l'indice « NDVI »	66
23	Résultat de tranche de densité (densité silice) de l'image 1999	69
24	Résultat de tranche de densité (densité silice) de l'image 2021	69
25	Répartition spatiale des classes de l'image 1999	70
26	Répartition spatiale des classes de l'image 2021	71
27	Changements détectés entre 1999 et 2021	72

Listes des figures

N° Figure	Titre	Page
01	Localisation géographique de Guerrara dans wilaya de Ghardaïa	06
02	Courbe des moyennes des vents (m/s) de 2016 (O.N.M Ghardaïa)	09
03	Modèle numérique de terrain « MNT » représentant les grandes unités morphologiques du bassin versant d'Oued Zegrir.	14
04	Sédiments fins déposés par les eaux de l'oued	15
05	Dégradation des canaux a engendré une stagnation des eaux de l'oued dans l'ancienne oasis.	15
06	Carte géologique de la région de Guerrara (1/500 000)	17
07	Coupe schématique définissant les deux dalles Hammadiennes avec leurs formes et formations. AITEUR & HAMDANI (2006).	19
08	Nappes aquifères du Sahara Algérien; Continental Intercalaire, Complexe Terminal (UNESCO, 1972).	21
09	Schéma général de fonctionnement (Francisco et al., 2013)	24
10	Limites de la région de Guerrara (Image LANDSAT 8 OLI/2021)	28
11	Types de résolution spatiale	30
12	Interface du logiciel ENVI (version 5.3)	31
13	Images de la région d'étude, résolution spatiale 30x30m	33
14	Images après l'application de l'outil Region of Interest (ROIs)	34
15	Images après le découpage par l'outil Subset Data from ROIs	35
16	Différences entre image satellitaire du LANDSAT 7 ETM+ et LANDSAT 8 OLI (NASA, LANDSAT, 2015)	35
17	Synthèse additive et la synthèse soustractive	37
18	Statistiques de base de l'image en 1999	38
19	Statistiques de base de l'image en 2021	39
20	Schéma d'intégration des données dans la classification supervisée avec un maximum de vraisemblance et calcule l'indice de végétation « NDVI »	42
21	Schéma de la composition colorée infrarouge pour l'image LANDSAT 8 OLI	43
22	Images après l'application de la composition colorée par l'outil Change RGB Bands	44
23	Interface de UTM Geo Map	45
24	Présentation des points de supervision dans la région de Guerrara par ARCGIS V.10.3	45
25	Influence de la résolution des capteurs sur « pureté » des pixels (source: J-P Cherel 2010)	47
26	Images exemple de détection de changement	51
27	Profil spectrale pour l'image LANDAST de la région de Guerrara en 1999	53
28	Profil spectrale pour l'image LANDAST de la région de Guerrara en 2021	54
29	Sortie des images par la classification supervisée	29
30	Effet de l'agrégation de la classification	63
31	Indice de végétation « NDVI » sur l'image de la région de Guerrara 1999	64

32	Indice de végétation « NDVI » sur l'image de la région de Guerrara 2021	65
33	Histogramme « NDVI » 1999	65
34	Histogramme « NDVI » 2021	66
35	Plage de graduant de tranche des valeurs de l'indice de végétation (image 1999)	67
36	Plage de graduant de tranche des valeurs de l'indice de végétation (image 2021)	68
37	Image NDVI (image 1999 et image 2021)	71
38	Répartition spatiale des surfaces de l'image 1999	72
39	Répartition spatiale des surfaces de l'image 2021	

Liste des abréviations

ENVI : ENvironment for Visualizing Images.

ETM + : Enhanced Thematic Mapper plus

MSS : Multi Spectral Scanner

NDVI : Normalised Difference Vegetation Index

OLI : Operational Land Image

ROIs : Region Of Interests.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : Matériels & Méthodes	
I.1. Introduction.....	5
I.2. Présentation de la région.....	5
I.2.1. Localisation géographique.....	5
I.2.2. Caractéristiques climatiques.....	7
I.2.3. Considération générale.....	12
I.2.4. Etat de ruissellement.....	12
I.2.5. Effets de l'oued.....	13
I.2.6. Pédologie.....	13
I.2.7. Géologie.....	14
I.2.8. Géomorphologie.....	16
I.2.10. Hydrogéologie.....	18
I.2.11. Phoeniculture et la flore.....	21
I.3. Matériel.....	23
I.3.1. Acquisition des images satellites année 1999 et 2021.....	23
I.3.2. Critères de sélection (évolution).....	24
I.3.3. Zone d'étude.....	26
I.3.4. Capteurs LANDSAT.....	28
I.3.5. Logiciels utilisés.....	29
I.4. Méthodes.....	31
I.4.1. Prétraitements.....	31
I.4.2. Traitements.....	34
I.4.3. Post-traitement.....	47
I.4.3.2. Calcul de l'indice de végétation « NDVI ».....	49
I.4.3.3. Détection des changements.....	50
CHAPITRE II : Résultats & Discussion	
II.1. Analyse des images satellitaires.....	51
II.2. Classification supervisée.....	53
II.2.1. Résultat de la classification.....	53
II.2.2. Agrégation de la classification.....	54
II.2.3. Résultat d'examen de la classification.....	55
II.2.4. Indice « NDVI » calculé.....	61
II.3. Détection des changements.....	68

Conclusion.....	74
Références Bibliographiques.....	75
Annexes	

Introduction

INTRODUCTION

Le cadre physique du Sahara algérien est présenté de manière synthétique permettant de cerner l'immensité de ce territoire et d'appréhender la relative faible proportion des habitats favorables au maintien d'une couverture végétale. Ce sont surtout les oueds et les vallées sèches qui contiennent les groupements végétaux les plus diversifiés alors que les habitats dunaires (ergs) sont caractérisés par une grande pauvreté floristique. Les vastes plateaux pierreux, avec leur physionomie monotone, constituent l'habitat le plus pauvre et occupent en proportion le territoire le plus important. La couverture végétale, à déterminisme géomorphologique, est étroitement liée à l'habitat qui l'abrite. C'est au niveau des différents types d'oueds que l'on rencontre le plus grand nombre de groupements, soit 25 associations végétales (Salima et *al.*, 2013). Viennent ensuite les groupements des djebels, rocailles et massifs montagneux où 10 associations sont distinguées (Salima et *al.*, 2013). Les habitats de type erg, hamada et reg, présentent une faible diversité phytocœnotique avec 11 associations pour les milieux sablonneux et 7 associations pour les plateaux pierreux (Salima et *al.*, 2013). Enfin, les zones humides, surtout celles rencontrées au Sahara central, sont caractérisées par 5 associations. L'analyse de la composante floristique, basée sur les flores de Quézel et Santa (1962-1963) et Ozenda (2004), a permis la réalisation d'une matrice des taxons de l'écosystème saharien avec 668 taxons dont 147 endémiques.

La mise à jour nomenclaturale des taxons a été réalisée à partir de l'index synonymique de la flore d'Afrique du Nord (Dobignard et *al.*, 2010).

Cette synthèse a permis de faire ressortir les objectifs de recherche à mettre en œuvre. Parmi les plus urgents, citons la mise en place de campagnes d'échantillonnage de manière systématique à travers les différentes régions du Sahara algérien et la recherche des limites géographiques des associations végétales, en distinguant plus finement leurs habitats géomorphologiques de prédilection.

Ces prospections doivent également permettre de clarifier la hiérarchisation syntaxonomique de la végétation saharienne.

Enfin, le choix du cadre de référence nomenclaturale devra être fait sur la base d'un consensus entre botanistes nationaux et internationaux pour tenter de régler les problèmes récurrents des synonymies.

Dans les pays en développement, les possibilités d'application de la télédétection sont les plus nombreuses parce que les ressources naturelles sont mal connues, et que les cartes disponibles

souvent anciennes ou inexistantes, ne reflètent pas les changements d'occupation de sol (Bonn et *al.*, 1992). Les données de la télédétection sont des sources primaires largement utilisées pour la détection des changements dans les dernières décennies (Lu et *al.*, 2004).

Les palmiers comptent parmi les espèces végétales les plus répandues dans la région.

Les palmiers comptent parmi les espèces végétales les plus répandues dans la région.

Le palmier dattier dans Le Sud algérien est encore trop souvent présente sous Les traits d'une monoculture nécessaire des zones hyperarides, composée essentiellement de la variété d'exportation *Deglet Nour* (Toutain, 1979).

Par ailleurs le verger offrirait, la lecture des statistiques agricoles une remarquable stabilité quantitative dans Le temps superficie et dénombrement (Toutain, 1979).

La réalité est en fait beaucoup plus complexe, tant du point de vue des diverses situations écologiques et hydrologiques des palmeraies que de Leur composition variétale et de leur évolution socio-économique) :

A côté d'un secteur moderne pratiquant une phoéniculture de rente se trouve une multitude d'exploitations traditionnelles, quinze fois plus importantes en superficie, qui ont intégré & des degrés divers de nouvelles techniques hydro-agricoles et l'exploitation des circuits de commercialisation des récents marchés urbains sahariens.

L'économie, d'autosubsistance des oasis à travers sa production dattier appartient peu a peu au passe, cependant Le verger dattier traditionnel qui est composé de centaines de cultivars, témoins du dynamisme d'une sélection empirique peu lointaine, demeure un domaine d'étude particulièrement intéressant pour l'évaluation des ressources génétiques de l'espèce (Nixon et *al.*, 1950).

Notre travail consiste à décrire les entités constitutives de la surface de la région de Guerrara et ces contraintes spatiales, puis à comprendre l'ampleur des changements intervenus et à les analyser pour en extraire de nouvelles informations. En utilisant l'imagerie satellitaire, le traitement s'effectue après plusieurs étapes de traitement numérique sous le logiciel ENVI version 5.3. Couvrant une surface large et diversifiée, l'œuvre met en lumière la nouvelle appropriation de la végétation par des entités telles que les villes, les zones industrielles, etc

La réalisation de cette étude s'appuie sur des outils logiciels ou matériels, en appliquant de nouvelles technologies et en utilisant les services fournis par la télédétection pour améliorer la qualité des données générées afin d'atteindre les objectifs de recherche énoncés au départ. D'autant que l'analyse et la mise en œuvre des données numériques nécessitent parfois des personnes compétentes avec certaines qualités, comme la maîtrise des outils informatiques, la connaissance des lieux d'études, et une volonté d'effectuer un travail fiable et modéré en fonction des moyens disponibles.

Des nombreux systèmes appelés systèmes d'information géographique sont conçus pour ce type de travaux, qualifiant parfois des traitements poussés pour regarder des images satellitaires ou encore suggérer des solutions à des problèmes écologiques ou environnementaux (Berger et *al.*, 2005).

Pour atteindre les objectifs de la cartographie des palmiers dattiers dans le système oasien de l'oasis de Guerrara, nous avons divisé notre travail actuel en trois chapitres, joliment illustrés d'images, de graphiques et de statistiques pour l'analyse et les statistiques.

Tout au long du travail :

Le premier chapitre , nommé «Matériel et Méthodes», donne une brève présentation de la région d'étude, il décrit sa localisation, les caractéristiques climatiques (climat, température, précipitations, l'évaporation, vents ...), et géologie, pédologie, géomorphologie, couverture végétale et aussi donne une présentation sur la science et les différentes techniques, matériels, logiciels, avec les critères de sélection des informations offertes par les systèmes de télédétection, les traitements (prétraitement, traitements, post-traitements), avec un indice qui permet la détection des changements qui s'appelle, l'indice de végétation «NDVI».

Le deuxième chapitre, intitulé « Résultats et discussion », présente tous les résultats obtenus de ce travail (statistiques, graphiques, cartographiques), les observations et les discussions effectuées, sans oublier des réflexions pour préserver la région.

Enfin une conclusion générale et les recommandations.

L'objectif de notre recherche, nous comparerons deux images d'années différentes 1999 et 2021 qui ont été prises par la technologie de télédétection d'une ville de Guerrara située au nord du désert Algérien, et après analyse des résultats, nous saurons s'il y a un développement du couvert végétal ou non. La recherche actuelle s'est appuyée sur de nombreuses méthodes, dont la méthode cartographique, car cette méthode a été utilisée dans Préparer des cartes de la situation actuelle pour la couverture végétale et pour les saisons des années 1999 et 2021.

En plus de préparer des cartes le couvert végétal change entre les deux saisons.

L'approche descriptive a également été utilisée pour décrire la situation actuelle et les changements couverture végétale de la zone. Quant à la méthode statistique, elle a été utilisée dans le traitement primaire des données et son agencement en tableaux, en leur appliquant des équations, en extrayant et en interprétant les résultats. Alors que la méthode comparative a été utilisée dans comparaison de l'évolution du couvert végétal pour les deux saisons étudiées.

Dans notre étude, nous nous focaliserons sur le palmier car c'est celui qui occupe une grande partie du couvert végétal de la région.

CHAPITRE I

Matériel

&

Méthodes

I.1. Introduction

Depuis 1966 on se réfère à la définition que l'ACI (Association Cartographique Internationale) qui définit la cartographie comme l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration des cartes et autres modes d'expression, ainsi que leur utilisation (Abdedou, 2002)

La télédétection satellitaire, par les aspects nouveaux qu'elle apporte (vue synoptique, répétitive), apparaît comme l'un des moyens les plus adaptés pour étudier et suivre ces processus, il reste cependant à préciser les paramètres permettant de caractériser ces processus et parmi ces paramètres, ceux qui sont observables et mesurables par la télédétection satellitaire avec les précisions appropriées (Abdellaoui, 1996).

Quelques tentatives ont été faites sur la cartographie par télédétection pour de multitude domaine, le récent travail est parmi ces tentative qui s'appuie sur la détection des changements à l'échelle locale au niveau du système oasien de la vallée du M'Zab sur une période allant du 1999 au 2021.

I.2. Présentation de la région

L'objet de ce chapitre est la présentation du contexte global de la région étudié tout en prenant en compte les données géographique, géologique, caractéristique climatique, géologie, pédologie, géomorphologie, hydrogéologie, phoeniculture et flore. Le résultat de cette synthèse bibliographique est présenté dans ce qui suit.

I.2.1. Localisation géographique

El Guerrara, une belle oasis située sur l'oued Zegrir à plus de 600 km au sud-ouest d'Alger et a 110 km à l'Est de Ghardaïa (fig. 1). Entre la latitude 32°30' - 33°30' Nord et la longitude 4°25' - 4°35'Est. Elle s'étend sur une superficie de 2600 Km².

Elle est limitée : Au Nord : Daïra de Hassi Dalaa, wilaya de Djelfa.

A L'Est : Daïra d'El allia, la wilaya d'Ouargla.

A l'Ouest : Daïra de Berriane, wilaya de Ghardaïa.

Au Sud : Daïra de Zelfana, wilaya de Ghardaïa.

Au Sud West : Daïra d'El Atteuf, wilaya de Ghardaïa.

Le mot Guerrara prend son origine de garas (sont des buttes témoins, c'est-à-dire, des plateaux tabulaires isolées par l'érosion et couronnées par une table de roche dure). Certains expliquent le mot ou El-Guarrara comme vaste dépression en forme de cuvette où l'eau de surface se stagne périodiquement (Hamdi Aissa, 2008).

La zone constituant le cadre de notre étude est la cuvette de Dayet El-Amied d'une superficie de 2 Km², elle est située au sud-est de l'ancienne palmeraie de la ville de Guerrara. Elle s'étale sur les alluvions de l'Oued Zegrir, limitée au Nord par la voie routière (Guerrara-El-Hadjira) et quelques collines, à l'Est par l'ancienne palmeraie et une digue de 1000 m de longueur, au sud par des formations dunaires (voiles sableux Nebkas, dunes...) et des buttes témoins (Gara) et les sols de Mio-Pliocène (appelées localement « Tafza »), à l'Ouest par les Glacis de Mio-Pliocène (Hamdi Aissa, 2008).

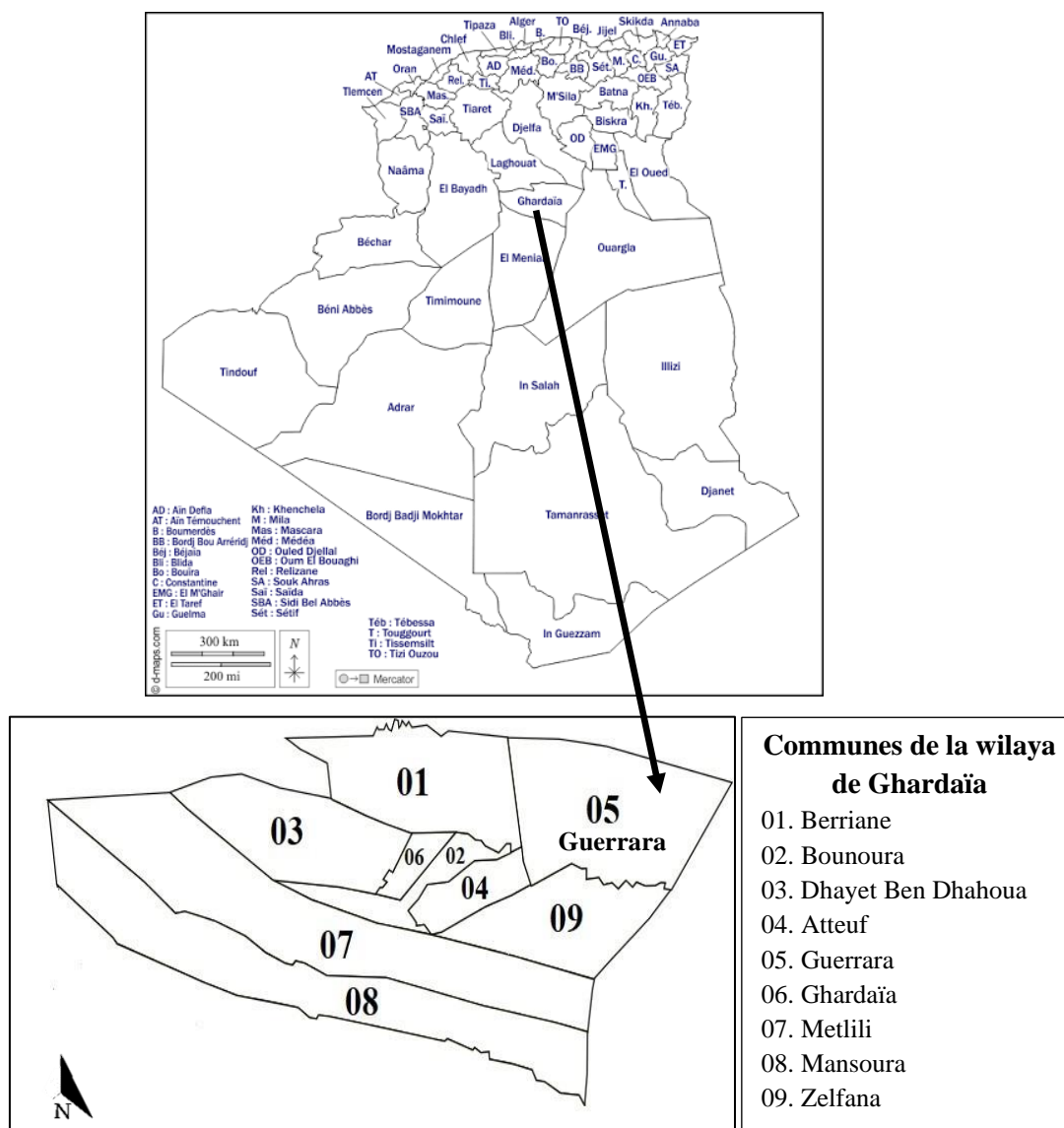


Figure 01: Localisation géographique de Guerrara dans wilaya de Ghardaïa (CDARS, 2019)

I.2.2. Caractéristiques climatiques

La région de Guerrara est une région située dans le Sahara septentrional caractérisé par un climat chaud et sec en été et froid en hiver. L'étude climatique est très importante, elle nous permet de déterminer les caractéristiques du climat de notre région et mettre en évidence la contribution des différents facteurs à la variation des ressources en eau souterraines (température, humidité, précipitation, le vent, l'évaporation, Insolation et hydrographie).

I.2.2.1. Températures

Le El Guerrara connaît un climat désertique. La température diurne est chaude à très chaude, alors qu'elle peut aussi être froide la nuit. La pluie n'est pas fréquente ici. La température moyenne annuelle pour la El Guerrara est de 27° C degrés et il y tombe 41 mm de pluie chaque année.

Tableau 01 : La moyenne mensuelle de la température de 2007 à 2016 (ONM Ghardaïa)

Années Mois	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
JAN	12	11.7	11.1	13.6	12.6	10.8	12.7	12.3	11	13.8
FEV	15.2	13.2	12.4	16.5	12.4	9.7	12.6	14.4	11.5	14.7
MARS	16	17.6	16.7	18.5	15.2	16.1	18.7	15.8	16.4	17
AVRIL	19.8	22.6	18.7	22.5	21.8	21	21.5	22.7	23	22.7
MAY	26.4	26.1	25.2	24.3	24.6	27.8	25.6	26.8	27.9	26.8
JUIN	32.5	30	31.6	31.4	29.4	34	30	30.1	30.6	31.3
JUIL	33.3	36	35.6	35.1	35.1	26.4	34.6	35.5	33.4	34.2
AOUT	33.4	34.7	34.3	34.7	23.6	27.4	32.1	35.6	33.7	3.3
SEP	30.2	29.5	26.7	28.8	31.2	29.1	29.5	31.4	29.3	29.3
OCT	24.2	22	22.7	22.4	20.9	24.7	26.9	24.4	23.7	25.2
NOV	15.8	14.2	17.4	17	16.3	17.1	16.5	7.5	16.4	16.6
DEC	11.2	10.8	15.4	14.1	12.6	12.6	10.5	11.4	12.4	12.6

I.2.2.2. Précipitations

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares.

Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse.

Tableau 02 : La moyenne mensuelle de la précipitation de 2007 à 2016 (ONM Ghardaïa)

Années Mois	Années									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
JAN	0	1.4	6.7	7.3	3.2	9.7	4	1.8	4	0
FEV	1.2	7.4	1.7	0.1	0	1	0	12.4	11	0.2
MARS	0.8	0.3	9.7	1.4	57	3.3	5.3	0.2	0	0
AVRIL	14.9	0	5.5	0	19.8	7.2	2.9	0	0	7
MAY	4.8	0.3	0	4.6	1.4	0.2	0.4	14.6	0	2
JUIN	0	2	3.8	7.5	13.3	1.9	0	7.3	0	0
JUIL	0	0	2.7	9.8	1.2	0.2	0	1	0	0
AOÛT	21.5	1.4	1.2	0	0.1	0.6	2.7	0.3	15	1
SEP	9.8	54.4	42.9	2.2	45.1	7.5	4.7	2.9	13	13
OCT	0	29.4	0	8.9	13.2	0.3	2.4	7.1	5	0
NOV	0	6.4	0	0	0	4	14.9	4.3	5	4
DEC	8.3	7.4	0.1	0	0.1	0	30.3	1.9	0	3

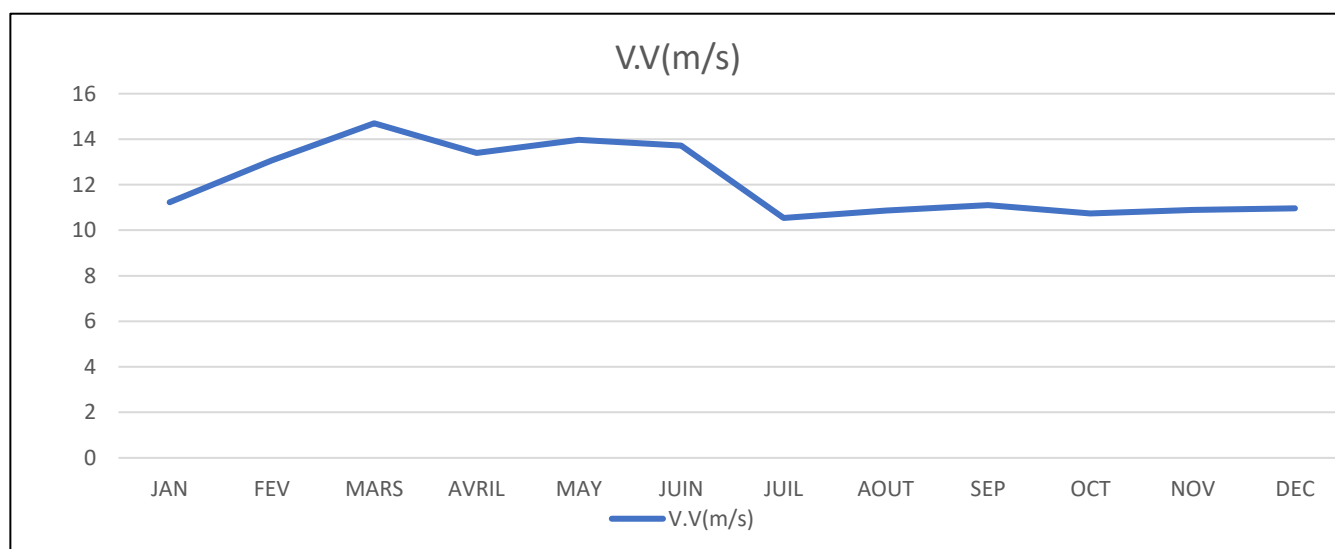


Figure 02 : Courbe de moyenne mensuelle des vents (m/s) de 2016 (O.N.M Ghardaïa)

I.2.2.3. Vents

D'après le tableau de la région de Ghardaïa, les vents sont fréquents durant toute l'année. La vitesse moyenne du vent est de l'ordre de 3,39 m/s, avec un maximum de 4,19 m/s au mois de Mai. Les vents chauds (Sirocco) dominent dans la région en été. Ils peuvent causer des dégâts surtout en l'absence du couvert végétale.

I.2.2.4. Evaporation

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux à la surface d'un liquide. Dans la région de Ghardaïa Le maximum d'évaporation est enregistré 368,1 mm durant le mois de Juillet, le minimum est enregistré 89,5 mm durant le mois de Janvier. Le cumul annuel est 2532,9 mm.

Tableau 03 : La moyenne mensuelle d'évaporation de 2007 à 2016 (ONM Ghardaïa)

Années Mois	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	JAN	71	90	77	116	100	101	122	80	88
FEV	112	90	95	147	121	104	146	112	110	130
MARS	175	176	149	185	133	136	202	172	161	191
AVRIL	180	301	179	231	201	226	208	232	332	221
MAY	273	301	269	263	239	296	211	3008	312	314
JUIN	382	335	318	374	380	372	340	323	322	317
JUIL	373	405	352	346	377	421	397	417	316	339
AOUT	357	366	357	350	341	378	308	361	304	345
SEP	244	266	189	218	290	260	365	296	210	210
OCT	197	122	162	191	114	69	214	232	164	201
NOV	118	103	124	126	116	103	131	131	85	115
DEC	98	702	134	130	88	95	48	87	62	66

I.2.2.5. Humidité relative

L'humidité dans le Sahara est généralement inférieure de 20 %. Comme cas exceptionnelle, en Sahara septentrional elle varie de 50 à 60 %, au maximum en Janvier et 20 % au minimum en Juillet de chaque année (Chehema, 2005).

D'après les tableaux, dans la région de Ghardaïa la moyenne d'humidité est de l'ordre 38,96 %. Le mois le plus humide est décembre à l'ordre de 54,8 %, et le mois le moins humide est Juillet à l'ordre de 20.1 % dans la région de Ghardaïa entre 2007 et 2016.

Tableau 04 : La moyenne mensuelle d'humidité relative de 2007 à 2016 (ONM Ghardaïa).

Années Mois	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	JAN	54	51	66	48	48	34	32	49	43
FEV	43	44	48	40	44	31	39	38	42	36
MARS	36	33	44	32	53	28	36	33	31	27
AVRIL	45	22	36	36	43	20	35	22	24	30
MAY	27	27	28	30	36	18	31	24	20	22
JUIN	21	27	24	4	35	16	28	22	22	21
JUIL	22	19	21	24	24	14	25	13	19	20
AOUT	27	23	23	27	26	24	31	17	28	25
SEP	33	35	49	38	33	33	40	26	35	35
OCT	37	60	42	41	59	39	36	28	40	38
NOV	41	56	41	45	55	59	46	43	51	45
DEC	49	62	45	41	60	55	66	51	54	65

I.2.2.6. Insolation

En raison du peu de nébulosité de l'atmosphère, les déserts reçoivent une quantité de lumière solaire très forte. On estime la nébulosité visuellement en évaluant la fraction du ciel couverte par les nuages en dixième de la superficie visible du firmament. Ainsi, 00 indique un ciel clair, c'est-à-dire un ciel absolument sans nuages, et 10 un ciel complètement couvert. De la même façon, 5 traduit un ciel à moitié couvert. Dans cette région la nébulosité est de l'ordre de 1.8. On observe qu'au Sahara le nombre d'heures annuelles d'ensoleillement est de 3 000 à 3 500. Cette forte luminosité est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne (palmeraies), mais elle a en revanche un effet desséchant, car elle augmente la température (Toutain, 1979).

L'ensoleillement est considérable à Guerrara, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année, avec 138 jours en moyenne de l'année où le ciel est totalement clair. La durée moyenne de l'insolation est de 250.85 heures/mois (O.N.M Ghardaïa 2016), avec un maximum de 350.46 heures en juillet et un minimum de 242 heures en février. La durée d'insolation moyenne annuelle entre 2007 et 2016 est de 5511 heures/an, soit environ 15 heures/jour.

Pour la région de Ghardaïa, La durée d'insolation minimum est de 234,6 heures au mois de Décembre, la durée d'insolation maximum est de 338,7 heures au mois de juillet.

Tableau 05 : La moyenne mensuelle d' Insolation de 2007 à 2016 (ONM Ghardaïa).

Mois \ Années	Années									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
JAN	270	284	195	258	250	251	268	250	247	271
FEV	228	243	268	201	252	266	261	245	216	238
MARS	302	280	275	254	252	267	273	266	316	311
AVRIL	275	300	336	283	301	289	290	329	288	296
MAY	347	289	362	325	341	352	345	339	358	323
JUIN	352	371	323	332	351	329	354	340	344	350
JUIL	374	334	349	348	357	352	329	306	387	368
AOUT	315	310	340	326	345	330	335	321	275	343
SEP	258	245	261	284	265	280	287	247	244	244
OCT	255	217	326	267	292	258	290	292	274	279
NOV	291	280	273	251	265	236	250	223	272	259
DEC	247	226	255	240	259	275	196	246	263	213

I.2.2.7. Hydrographie

Les eaux superficielles dans la région de Guerrara sont quasiment insignifiantes, En raison de la faiblesse de la pluviométrie. La région est drainée principalement par L'oued Zegrir, dont l'écoulement se produit surtout en période des orages (B.N.E.D.E.R., 2000).

I.2.3. Considération générale

Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 km². Situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux, il est parsemé de nombreuses Dayas parfois drainées par les oueds (Dubief, 1953).

L'Oued Zegrir prend sa source sur le Ras Chaab, à 152 km Nord-Ouest de Guerrara. Il se dirige d'abord du Nord-Ouest au Sud-Est jusqu'àuprès de Guerrara ; à 8 km de la ville, il fait un crochet à angle droit vers le Nord-Est, pour se diriger sur l'oasis qui a été planté dans les alluvions de la rivière, puis il se détourne de nouveau au Sud-Est vers El Hadjira. (Ville, 1872).

Selon Dubief La vallée d'Oued Zegrir peut être divisée en trois parties distinctes :

▪ Partie inférieure

En aval de Guerrara. Sous le nom d'Oued Zegag, l'artère reprend la direction de l'Est, au fond d'une large vallée, à pente très faible, parfois par des replats comme celui de la Dayat Hadjou.

▪ Partie centrale

De 125 Km environs, de Talemzane à Guerrara. L'oued prend la direction du SSE, s'encaisse, tandis que sa pente s'accroît atteignant près de 3 mm/m. À noter que le profil de cette section est légèrement concave.

▪ Partie supérieure

De 124 Km de long depuis l'origine de l'Ajerma, par 860 m d'altitude non loin de bassin de Djedi, jusqu'à la hauteur de Bordj de Talemzen, l'oued aux berges peu marquées serpente à la surface du plateau des Dayas tout en se d'élevant vers l'Est, sa pente est très faible surtout dans les premiers 70 Km.

I.2.4. Etat de ruissellement

D'après une étude réalisée par Dubief (1953) montre que, durant la période allant d'avril 1938 à mars 1951, il a noté 26 mois de crues, alors que pour la période allant de 1921 à 1950, il a trouvé 33 mois de crues. Il a expliqué ceci de fait que, les mois de crues pouvant se produire à des intervalles très variables, allant de quelques mois (parfois 5 mois de crues en un an) à quelques années (28 mois sans crue entre Mai 1946 et Août 1948). Les crues donc d'une manière générale sont observées en automne ou au printemps. L'étude de la fréquence

mensuelle des crues à la hauteur du Guerrara montre aussi que Celles-ci sont, certaines années, très fréquentes en mois d'Avril, Mai, Septembre et Octobre, et en d'autre année sont moins fréquentes. D'où une forte irrégularité inter et intra annuelle.

I.2.5. Effets de l'oued

L'arrivée d'Oued Zegrir au Guerrara permet une irrigation à grande échelle par son évacuation, il permet un lessivage total des sols. L'effet positif le plus important est l'apport des éléments nutritifs aux sols, dépôt d'une couche importante d'environ de 1 cm très riche en matière nutritive. Les eaux De l'oued contribuent aussi à l'alimentation de la nappe phréatique (Bait et *al.*, 1977).

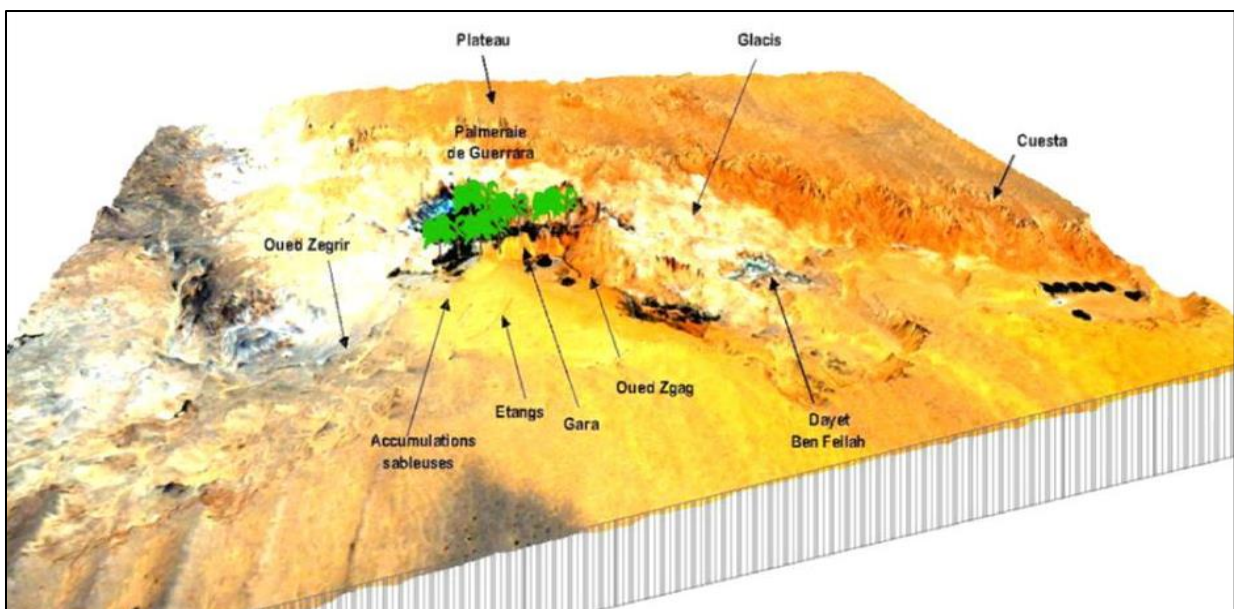


Figure 03 : Modèle numérique de terrain « MNT » représentant les grandes unités morphologiques du bassin versant d'Oued Zegrir.

I.2.6. Pédologie

Après les travaux réalisés par Bait et *al.*, (1977) sur les sols de l'ancienne oasis, Djili (2004) sur les sols de dayat el - Amied, CDARS (1999) sur les sols de la Daya de Ben Feilah et ceux de Bneder (2000) sur les sols de périmètre de Drin, les sols de lit d'oued dans la région de Guerrara ont une texture limono - sableuse à sablo - limoneuse (Figure 04), un taux de calcaire moyen, une faible teneur en matière organique. Leur salinité est faible, de même pour leur fertilité chimique, sauf pour des petites zones où la mauvaise gestion de l'eau et la texture

argileuse engendrent le phénomène de salinisation des sols accompagné souvent de sodisation et de dégradation de la structure (Figure 05).



Figure 04 : Sédiments fins déposés par les eaux de l'Oued



Figure 05 : Dégradation des canaux a engendré une stagnation des eaux de l'Oued dans l'ancienne oasis.

I.2.7. Géologie

Selon la carte géologique d'Algérie au 1/500 000 (SCG, 1952), ils ont trouvé les formations géologiques suivantes :

I.2.7.1. Crétacé supérieur

La lecture de la carte géologique d'Alger sud (Figure 6) et la coupe géologique Ouest-est, Permettent de constater l'existence d'affleurement secondaire représenté par le crétacé Supérieur et occupe la zone de Bled Bouaicha au Nord-Ouest de Guerrara.

Cette formation, qui caractérise une grande partie de la région de la Chebka de M'zab, est constituée d'une double dalle claire, dure, de calcaires plus ou moins dolomitiques parfois pétries de coquilles marines (Fabre, 1976).

I.2.7.2. Néogène

Suite à l'intensité des agents érosifs la dépression de Guerrara c'est formé dans un dépôt de Continentale Terminale daté du Pontien la formation est connue sous le nom du Miopliocene. Ce sont des formations détritiques ressentes qui occupe les dépressions de l'atlas saharien et qui s'étend largement au sud sont rattaché au Miocène supérieur et au Pliocène sont que l'on puisse établir une discrimination exacte. Ce sont en majeure partie des produits d'altération superficielle, rubéfié (argile et terre argilo sableuse plus au moins mêlée de fragment anguleux) que l'on sortait assimilée à des galles fluviales.

I.2.7.3. Pliocène Continentale

Constitue tout le reste du terrain Tertiaire ce sont des dépôts lacustres a forts étendue, formée de calcaire blanchâtre qui correspond à une carapace hamadienne plus moins continue et épaisse.

I.2.7.4. Quaternaire Continentale

Ces formations sédimentaires spécifiquement saharienne sont des alluvions quaternaires fluviale qui ce ne trouve pas exclusivement dans les vallées de ruissellement mais elles remplissent aussi de grandes aires déprimées dans les chaînes plissées de l'atlas saharien (S.C.G, 1930).

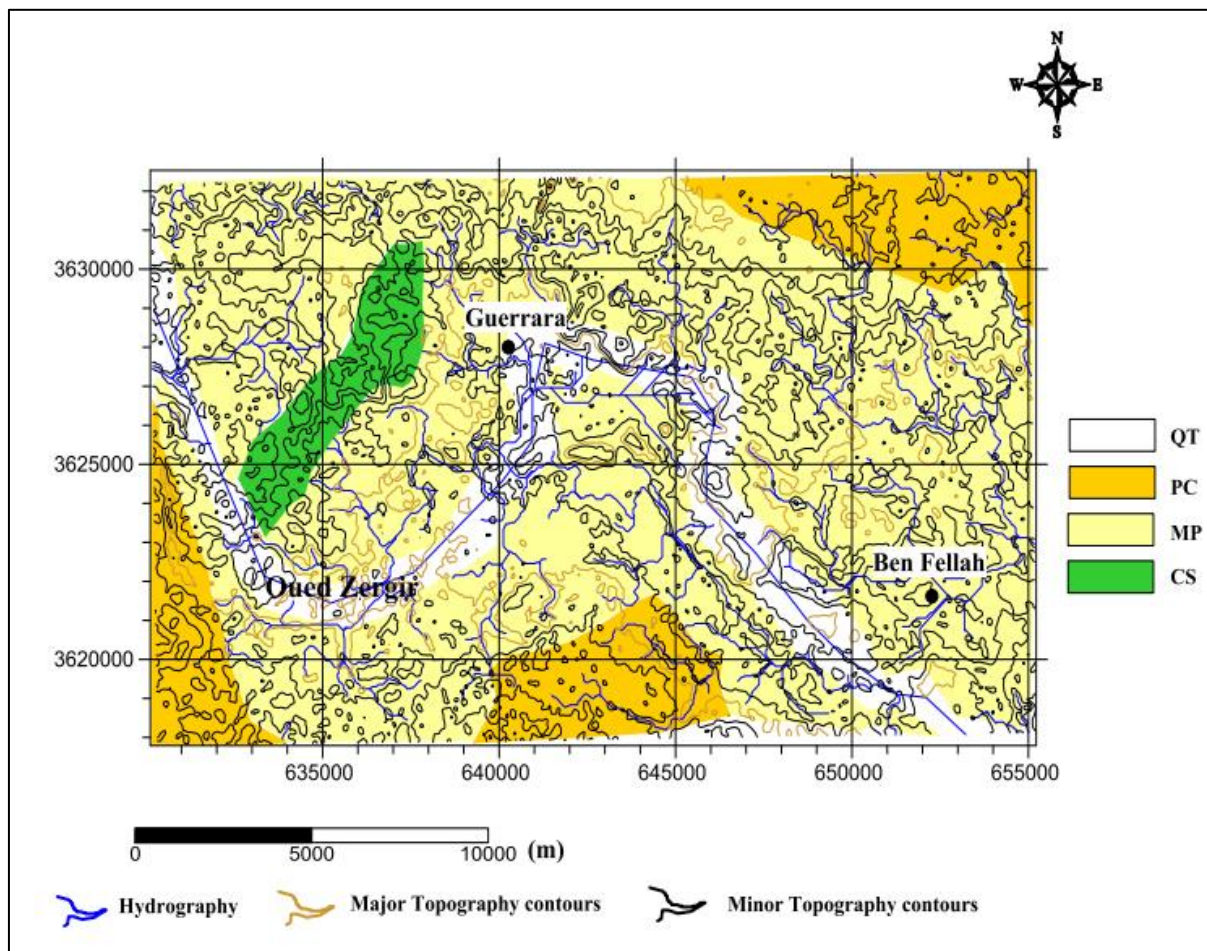


Figure 06 : Carte géologique de la région de Guerrara (1/500 000)(Melouah, 2012).

I.2.8. Géomorphologie

Le travail réalisé par Aiteur & Hamdani (2006) sur la géomorphologie de la région Guerrara a permis de distinguer cinq ensembles morphologiques principaux :

I.2.8.1. Formations structurales

1. Hamadas : Plateau structural défini par des calcaires gréseux et grès (Figure 06), et qui se réduit en deux dalles Hamadiennes légèrement inclinées vers le Sud Est qui se terminent par des fronts de Cuesta aux talus entaillés dans des grès gypseux en pente forte et très tendues surplombés par des corniches abruptes. Ces dalles Hamadiennes sont à une dénivellation de 75 m sur une distance qui varie de 2 à 3 Km.

2. Gours : Ce sont des buttes qui témoignent de l'ancienne extension des plateaux subtabulaires, elles sont isolées du plateau par le jeu de l'érosion différentielle. Les Garas de

l'Amied, sont situées au milieu du lit d'Oued Zegrir, leur altitude est de 340 m. Ces Gours sont encore un théâtre du jeu d'érosion hydroéoliennes et de phénomène karstique.

Elles constituent un vrai piège de sables éoliens sur leurs versants sud avec des dunes qui sont formées à leurs dépens.

I.2.8.2. Formations des versants

Les glacis d'ablations : Forme de relief non structurale consistant en une surface plane et peu inclinée. La zone de Guerrara se caractérise par tout un système de glacis, qui s'emboîtent dans les deux dalles Hamadiennes. Les glacis sont interrompus en endroits par des dépressions elliptiques appelées Dayas. On rencontre trois glacis dans la région de Guerrara :

- Glacis de Ras Echaabe : Situés au Nord, à une altitude de 350 à 400 m.
 - Glacis de Drin : Un peu plus à l'Est de l'Amied 3 Km de prés.
 - Glacis du sud de la palmeraie : Du coté Tafziouine, Rass Essaguia El Kef.
- **Cônes d'éboulis** : Il s'agit des éboulis de pente qui ont subi le phénomène de gélifraction et de thermoclastisme et qui les ont ameublies, le ruissellement à son tour leur a conféré un aspect de cône d'éboulis complexe. Le remplissage est essentiellement sablo- limoneux issu des formations gréseuses, l'aire d'alimentation en eau de Dayet Hadjou est très restreinte tandis que Dayet Ben feileh reçoit directement les écoulements de l'Oued Zegrir.

I.2.8.3. Formations fluviales

Il s'agit essentiellement des épandages de l'Oued Zegrir. Sur la rive droite de la zone d'épandage, au Sud de la première Gara, le lit ancien comprend des alluvions consolidées et parsemées de champ de Nebka et des voiles. La limite franche entre les dépôts grossiers de la carrière et les dépôts fins de la palmeraie de Guerrara ; et ceux de Dayet El-Amied, laisse penser que l'Oued n'ai fonctionné que récemment dans ces deux sites, ce qui est confirmé par l'inexistence des terrasses dans la Daya et la non-évacuation des fragments calcaires issus de la fragmentation de la dalle (cas de Drin et Gertoufa et les glacis de l'Amied).

I.2.8.4. Formations superficielles

1. Glacis supérieurs : Les formations sont essentiellement sablo-limoneuses à graveleuses, tapissées de couverture caillouteuse qui leurs confère un aspect de Reg, l'épaisseur est considérable, la couleur est blanc pâle - ainsi qu'elle paraît sur l'image satellite. Qui due aux cailloutis calcaires.

2. Glacis du golf de Guerrara (Amied) : Les formations dépassent 14 m d'épaisseur avec une couleur rougeâtre, la texture est sablo-limoneuse et les surfaces sont légèrement parsemées de nodules de grès, mise à part les glacis de Drin qui marquent une formation sablo-limoneuse mêlée de gypse poudreux.

I.2.9. Encroûtements

I.2.9.1. Croûtes grésocalcaires : Elles sont situées au Nord de la palmeraie de Guerrara, également à Saguiet El djanaia, elles apparaissent sous formes de dépôts béchiques constitués de nodules de grès cimentés par le calcaire. Elles sont d'une épaisseur variant de quelques centimètres à 1 mètre en aval des glacis supérieurs de Ras Echaabe.

I.2.9.2. Croûtes gypseuses : Se trouvent au-dessous des dépôts sableux entrecroisés et grésifiés, elles sont de couleur beige clair à l'affleurement, blanchâtres en coupe, assez compactées à leurs parties supérieures mais souvent pulvérulentes en dessous, L'épaisseur de la formation varie de 25 cm à Saguiet El djanaia au Nord et 1 m à Dayet ben feileh au Sud-Est.

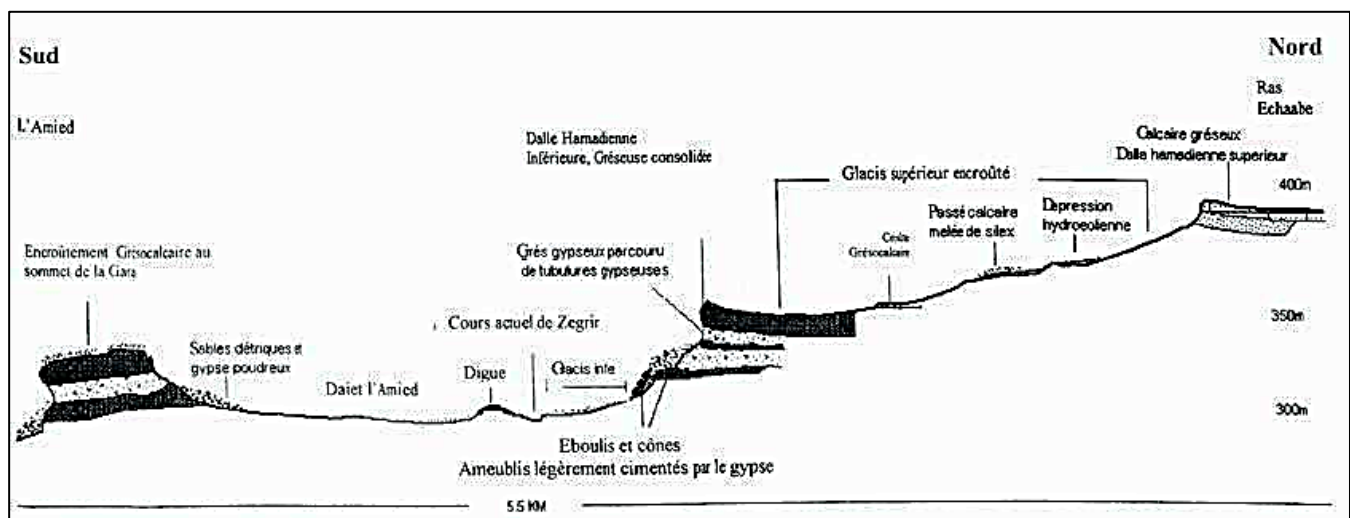


Figure 07 : Coupe schématique définissant les deux dalles Hammadiennes avec leurs formes et formations. Aiteur & Hamdani I (2006).

I.2.10. Hydrogéologie

Mis à part la nappe phréatique, une étude réalisée par les services d'hydrologie de SONATRACH (1992), a montré que la région de Guerrara est située dans la province triasique où quatre (04) aquifères peuvent être exploités pour les besoins en eau domestiques et agro-industriels.

I.2.10.1. Nappe du Mio-Pliocène et Eocène

Cette aquifère peut être exploitée dans la partie Est de la région de Guerrara, à partir de longitude 4°35' Est. Il est constitué d'une nappe de Mio-Pliocène) » sableux d'une épaisseur + moyenne de 125 m et d'une nappe d'Eocène à calcaire blanc fin moyen avec une épaisseur de 100 m.

L'épaisseur totale de l'aquifère est de 225 m avec un niveau statique estimé à 123 m de sol.

I.2.10.2. Nappe du Sénonien carbonaté

Nappe du Sénonien carbonaté Cet aquifère est en continuité hydraulique avec la nappe de Mio-Pliocène. Ainsi l'ensemble des formations aquifères (Mio-Pliocène, Eocène et Sénonien) peut être exploité jusqu'à une profondeur de 430 m environ. Dans la partie Ouest de la région de Guerrara les dépôts du Mio-Pliocène sont réduits et reposent directement sur le Sénonien carbonaté. De ce fait seul la nappe formée par les calcaires du sénonien peut être constituée un aquifère exploitable. Le Sénonien carbonaté est formé de calcaire microcristallin au sommet et de dolomie beige à la base. Son épaisseur moyenne est de 205 m avec un niveau statique estimé à 150 m.

I.2.10.3. Nappe du Turonien carbonaté

Avec une épaisseur de 74 m cette nappe peut être captée à une profondeur de 500 m environ dans la partie ouest de la région de Guerrara.

Cette nappe est constituée de dolomie beige cryptocristalline compacte, dure avec intercalation de calcaire tendre.

I.2.10.4. Nappe de Continental intercalaire

La nappe de Continental intercalaire regroupe les formations de l'Albien jusqu'à la base du Barrémien, dans le bassin triasique. Elle constitue la plus grande réserve d'eau souterraine vue son extension dans le Sahara algérien.

Cette nappe est constituée de formations détritiques (sable, grès, argile) avec un passage dolomitique attribué à l'Aptien. Et l'épaisseur moyenne de la nappe est de l'ordre de 650 m. le toit de la nappe est situé entre 500 et 900 m de profondeur dans le sens Ouest-Est dans la région de Guerrara.

I.2.10.5. Nappe phréatique

Il s'agit d'une nappe d'oued, l'alimentation se fait suivant les cycles des crues d'oued Zegrir.

Au début, avant 1951 (date de création de premier forage Albien), l'oasis de Guerrara vivait uniquement sur cette nappe, artificiellement gonflée par un petit barrage « garde-crue ».

Dans les années de sécheresse elle pourrait être exploitée sur une période maximale de cinq ans avec un usage uniquement agricole, au-delà de cette période les puits, sur une profondeur variant de 15 à 35 m suivant les endroits, seront secs (Gautier et Gouskov, 1951, Bait *et al.*, 1977a).

Actuellement, le niveau piézométrique est toujours élevé, car les agriculteurs exploitent peu cette nappe, en revanche, ils utilisent les eaux d'Albien, des fois avec des excès et pertes importantes, ajoutant à ceux-ci les crues d'oued Zegrir, que des fois elles ont un cycle biennal ou annuel.

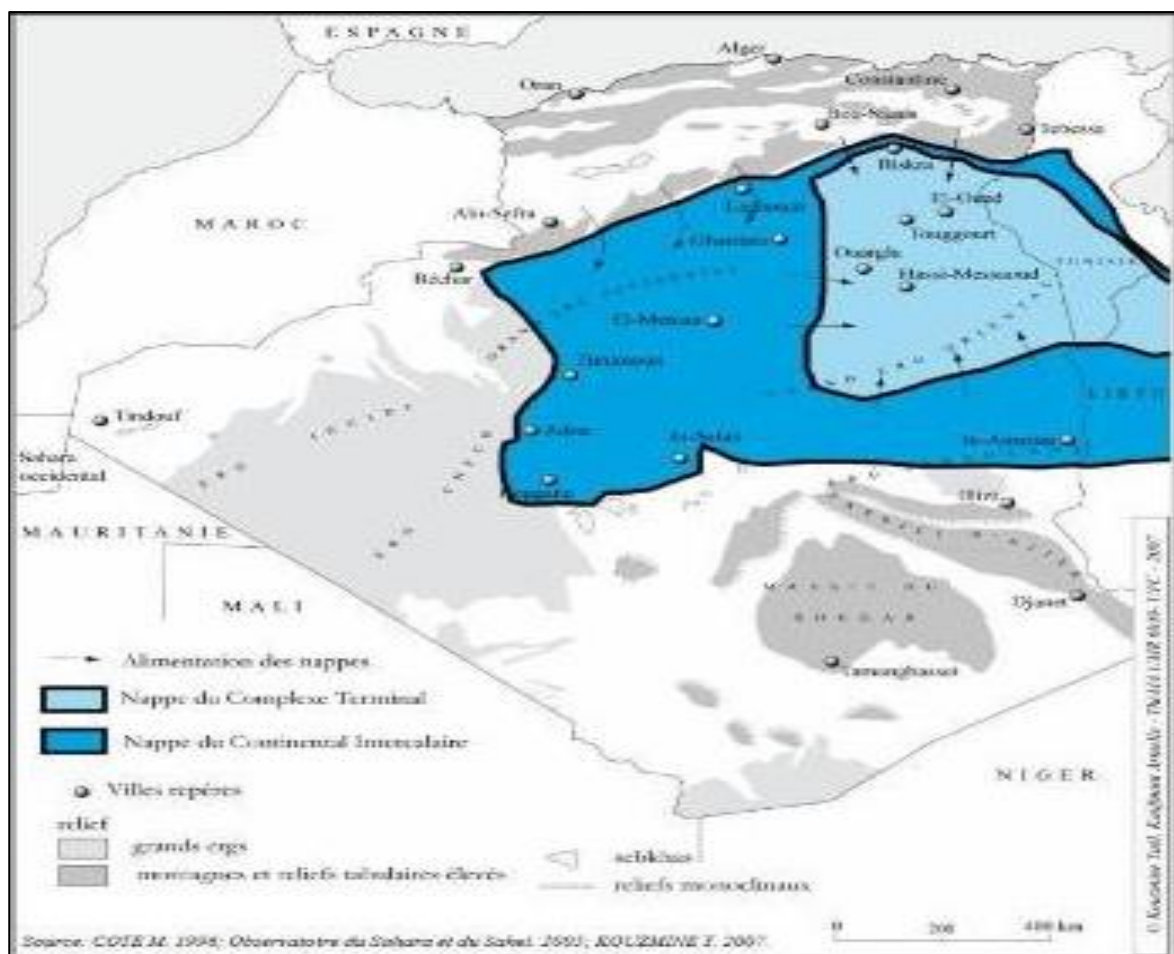


Figure 08 : Les nappes aquifères du Sahara Algérien ; le Continental Intercalaire, le Complexe Terminal (UNESCO, 1972).

I.2.11. Phoeniculture et la flore

Au Sahara, la culture dominante est le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*), l'Oasis est avant tout une palmeraie, entre ces palmiers dattiers on trouve les arbres fruitiers et les cultures maraichères. (Ozenda, 1983).

Le palmier dattier *Phoenix dactylifera L.*, provient du mot "Phoenix " qui signifie dattier chez les phéniciens, et dactylifera dérive du terme grec " dactulos " signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (Djerbi, 1994).

La production est estimée à 492.217 tonnes dont 244.636 tonnes (50 %) de dattes demi molles (Deglet Nour), 164.453 tonnes (33 %) des dattes sèches (Degla Beida et analogues) et 83.128 tonnes soit 17 % des dattes molles (Ghars et analogues). Actuellement, la palmeraie algérienne est constituée de plus de 11 millions de palmiers répartis à travers 09 wilayas sahariennes : Biskra, El-Oued, Ouargla, Ghardaïa, Adrar, Béchar, Tamanrasset, Illizi et Tindouf. Le palmier dattier se trouve également dans d'autres wilayas situées dans des zones de transition entre la steppe et le Sahara que l'on considère par rapport aux palmeraies sahariennes, de « marginales » (Buelguedj, 2007).

L'ancienne oasis est caractérisée par une grande biodiversité variétale en palmier dattes (IPGRI-PNUD,2005), et également un agrosystème à fort diversité de terroirs (Hamdi Aissa et al.,2005). Plus de 40 variétés (cultivar) sont recensés : Ghars, Deglet-Nour, Tafziouine, Azerza, Tamdjohert, Taddala, Taisibi, Outekbala, Taneslit, ...etc. Après le secteur agricole du district de Guerrara, le nombre total de palmiers dattes en 2021 est 230000, avec une production moyenne de 15900 T.

La flore saharienne apparaît comme très pauvre si l'on compare, le petit nombre des espèces qui habitent ce désert à l'énormité de la surface qu'il couvre. Les caractères physiologiques de la végétation désertique révèlent une réduction très nette du tapis végétal. On compte environ 300 espèces pour 150.000 Km² sur la marge Nord du Sahara et 400 espèces sur sa marge Sud (Demangeot, 1981).

La flore du Sahara septentrional est relativement homogène, et sa proximité à la Méditerranée fait de cette région l'une des plus riches du désert. L'endémicité y est élevée en raison des vastes étendues inhabitables du nord du Sahara. On Compte 162 espèces endémiques (Chehema, 2005).

En dehors des palmeraies on peut rencontrer des peuplements floristiques constituant un cas particulier important dans cette zone subdésertique, citant *Aristida pungens*, *Retama retam*, *Calligonum comosum.*, *Ephedra allata.*, *Urginea noctiflora*, *Erodium glaucophyllum*, *Haloxylons coparium.*, *Astragales gombo*, *Caparis spinosa*, *Zilla macroptera*, *Pistachia atlantica*, *Zyziphus lotus*, *Tamarix articulata*, *Populus euphratica* (Ozenda, 1983).

L'arboriculture est constituée plus de 12 espèces d'arbre fruitiers : Grenadier, Olivier, Oranger, Mandarinier, Prunier, Figuier, Citronnier, Poirier, Pommier, Bananier, Aubépine, Vigne...ect

I.3. Matériel

L'observation de la terre depuis l'espace est principalement dans l'espoir d'améliorer la prévision météorologique et la cartographie classique, ces dernières sont débutées il y a environ 50 ans grâce aux avancements technologiques sur lesquelles l'homme a pu réaliser des projets et en exploitant des données spatiales gigantesques à son profit.

I.3.1. Acquisition des images satellites année 1999 et 2021

L'acquisition d'information à distance implique l'existence d'un flux d'informations entre l'objet observé et le capteur. Le porteur de cette information est un rayonnement électromagnétique, ce qui peut être émis par l'objet ou venir d'un autre organisme (le soleil) et avoir été réfléchi par celui-ci. Tous les corps (planètes, êtres vivants, objets inanimés) émettent un rayonnement électromagnétique, la quantité et le type de rayonnement émis dépendent largement de la température (Francisco et *al.*, 2013) (Figure 04).

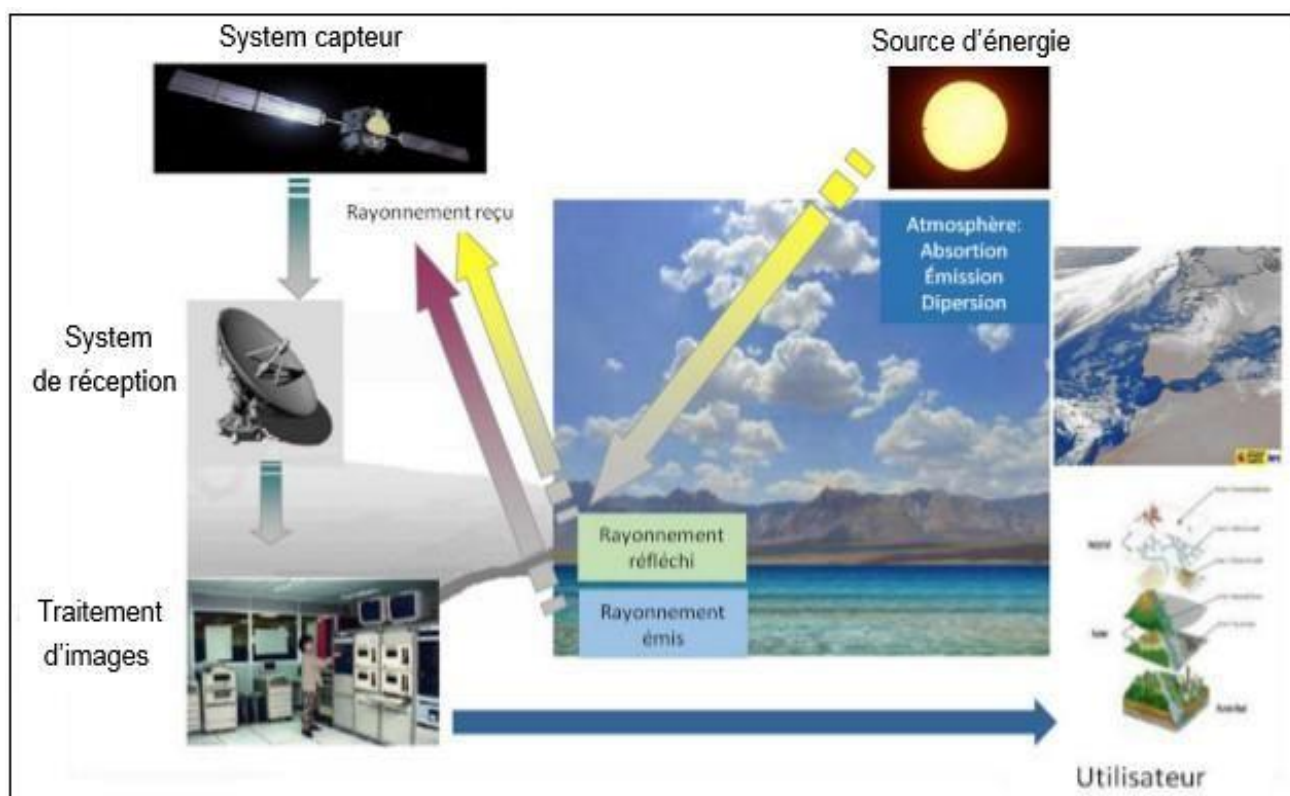


Figure 09 : Schéma général de fonctionnement (Francisco et *al.*, 2013)

I.3.2. Critères de sélection (évolution)

Préalablement au choix d'une image, quelques précautions élémentaires doivent être prises (M.T.E.S.F, 2018) :

- Avoir formulé le besoin de manière suffisamment précise pour qu'il puisse être décrit techniquement. Pour ce faire, il est possible de se faire accompagner par une assistance à la maîtrise d'ouvrage.
- Avoir étudié les solutions existantes : faire un inventaire des solutions ayant pu être développées antérieurement sur le même sujet, examiner les expériences décrites (M.T.E.S.F, 2018).

I.3.2.1. Critères techniques

1. Niveau de la résolution spatiale

Entre une image en basse résolution spatiale (1 pixel = 1 km²) et une image en très haute résolution (1 pixel < 1 m²), le choix dépend de la taille minimale des objets à identifier et de l'échelle de production cartographique visée. A titre indicatif, une image haute résolution à 15 m sera idéale pour une production au 1 : 60 000 (ex. carte touristique à l'échelle d'un parc naturel régional). Une image très haute résolution à 50 cm sera utilisée pour une échelle recherchée au 1 : 2 000 (ex. carte des activités autour d'une base de loisirs). Il est à noter que cette résolution spatiale diffère suivant les bandes spectrales qui constituent l'image « brute » (M.T.E.S.F, 2018).

2. Bandes spectrales

Chaque objet ayant sa propre réflexion, les bandes spectrales du visible (bleu, vert, rouge) seront largement utilisées pour visualiser la présence de l'eau, celles du proche infrarouge pour cartographier la végétation, celles de l'infrarouge moyen pour étudier la composition des sols. Certains satellites optiques ont 5 longueurs d'ondes, d'autres en ont jusqu'à 25 (13 bandes spectrales pour Sentinel-2). Les satellites radar n'enregistrent eux que les images sur une seule bande (P, L, S, C ou X), (M.T.E.S.F, 2018).

3. Fréquence d'acquisition

La fréquence de passage au-dessus d'une même zone (également appelée capacité de revisite ou répétitivité) varie d'un satellite à l'autre. Quand certains satellites ont une fréquence d'acquisition de 24 h entre deux images d'une même zone (ex. Pléiades), d'autres mettent plusieurs jours (ex. 5 jours. Pour Sentinel-2). En cas de crise, il est primordial de pouvoir

accéder à des images au jour le jour (même heure par heure). Pour des suivis annualisés (ex. évolution des surfaces agricoles, etc.), la fréquence d'acquisition n'est pas un critère de choix essentiel (M.T.E.S.F, 2018).

Tableau 06 : Caractéristiques des images spatiales de quelques satellites

Satellites	Agence	Année de lancement	Type de capteur	Fauchée	Résolution spatiale (m)	Bandes spectrales	Fréquence d'acquisition
PLÉIADES 1 et 2	CNES (Centre national d'études spatiales)	2011-2012	Optique	20 km	PA ¹ : 0,7 (rééchantillon né à 0,5) / MS ² : 2,8	Visible et proche infrarouge	2 jours
SPOT 6 et 7	CNES (Centre national d'études spatiales)	2012 - 2014	Optique	60 km	PA: 1,5 / MS:6	Visible et proche infrarouge	1 à 3 jours
SENTINEL 1A et 1B	ESA (European Space Agency)	2014-2016	Radar	4 modes d'acquisition : > fauchée de 400 km / résolution de 20 x 40 m > fauchée de 250 km / résolution de 5 x 20 m > fauchée de 100 km / résolution de 5 x 5 m > fauchée de 80 km / résolution de 5 x 5 m		Bande C	3 jours (à l'équateur)
SENTINEL 2A et 2B	ESA (European Space Agency)	2015-2017	Optique	290 km	MS: 10, 20, 60	Visible et proche infrarouge (13 bandes)	5 jours
LANDSAT 8	UGSA (USAGeological Survey)/ NASA (National Aeronautics and Space Administration)	2013	Optique	180 km	PA: 15 / MS:30	CA ³ , visible, proche et moyen infrarouge	16 jours

¹ PA : panchromatique

² MS : multi spectrale

³ CA : côtier / aérosol

I.3.2.2. Critères organisationnels

➤ Coût d'acquisition

A l'ensemble de ces critères techniques s'ajoutent des critères plutôt « organisationnels », tels que le coût d'acquisition de l'image. Celui-ci dépend de plusieurs facteurs : la qualité du

demandeur (institutionnels, privés...), la disponibilité de l'image (image d'archives ou image à programmer), le niveau de priorité de la demande (ex. demande d'acquisition urgente pour gérer une crise), etc. Les institutionnels français peuvent, par exemple, accéder à des images Pléiades à des coûts très modérés (M.T.E.S.F, 2018) :

- ❖ Images d'archives : 1, 40 € / km² pour une image non acquise – Gratuit si déjà acquise par un autre institutionnel.
- ❖ Programmation d'une nouvelle image : 1, 80 € / km² pour une programmation standard – 2 € / km² pour une programmation prioritaire

Le critère « coût » est peu contraignant sur des images Pléiades, SPOT, Sentinel... mais peut le devenir si le parti est pris d'opter pour des images prises par des satellites commerciaux.

➤ **Complémentarité avec les autres données**

Pour la réalisation de produits cartographiques, les images satellitaires sont souvent couplées avec d'autres données : base de données de référence (BD Ortho, PCI vecteur...), relevés GNSS, images prises par drone, données issues de capteurs en mer... En fonction de la qualité de l'image obtenue en superposant ces différents types de données, le choix de l'image satellitaire peut évoluer (M.T.E.S.F, 2018).

I.3.2.3. Critères humains

➤ **Compétences en télédétection**

Avec des notions de télédétection, il est possible d'interpréter facilement les bandes panchromatiques (nuances de noir et blanc), notamment pour distinguer des bâtiments (en blanc) au milieu d'espaces verts (en gris plus ou moins foncé). L'étude des compositions colorées (basées sur les bandes bleu, vert et rouge) est également intuitive. En revanche, l'analyse d'images radar (ex. pour la détection de structures enfouies en archéologie) implique des compétences plus poussées en télédétection (M.T.E.S.F, 2018).

I.3.3. Zone d'étude

La région de Guerrara s'étend sur 2600 km carrés et est située à environ 120 km au nord-est de Ghardaïa (C.D.R.S, 1999).

La palmeraie de Guerrara est située à une hauteur moyenne de 303 m.

La superficie des terres récupérables est d'environ 16000 hectares et la superficie des terres récupérables est d'environ 3700 hectares.

Sous l'influence de la croissance démographique et des activités économiques et industrielles, la région de Guerrara a connu un mouvement d'urbanisation fort et accéléré depuis les années 1970. Il a fallu très peu de temps pour voir la région s'étendre davantage, à la fois oasis et villes.

- La population de la région de Guerrara est estimée à 80 000 habitants (D.P.A.T, 2008).
- Culture des palmeraies en premier lieu (phoenicultures) qui est recense plus de 230510 d'arbre palmier dattier, et une production de 16000 tonnes.
- Plantation de 92 950 arbres fruitiers, avec une productivité de 142 tonnes.
- Culture maraîchère et fourragère en intercalaire occupe une surface de 200 ha

D'autres activités portant notamment sur le négoce, l'artisanat des tapis, ainsi que des petites et moyennes industries.

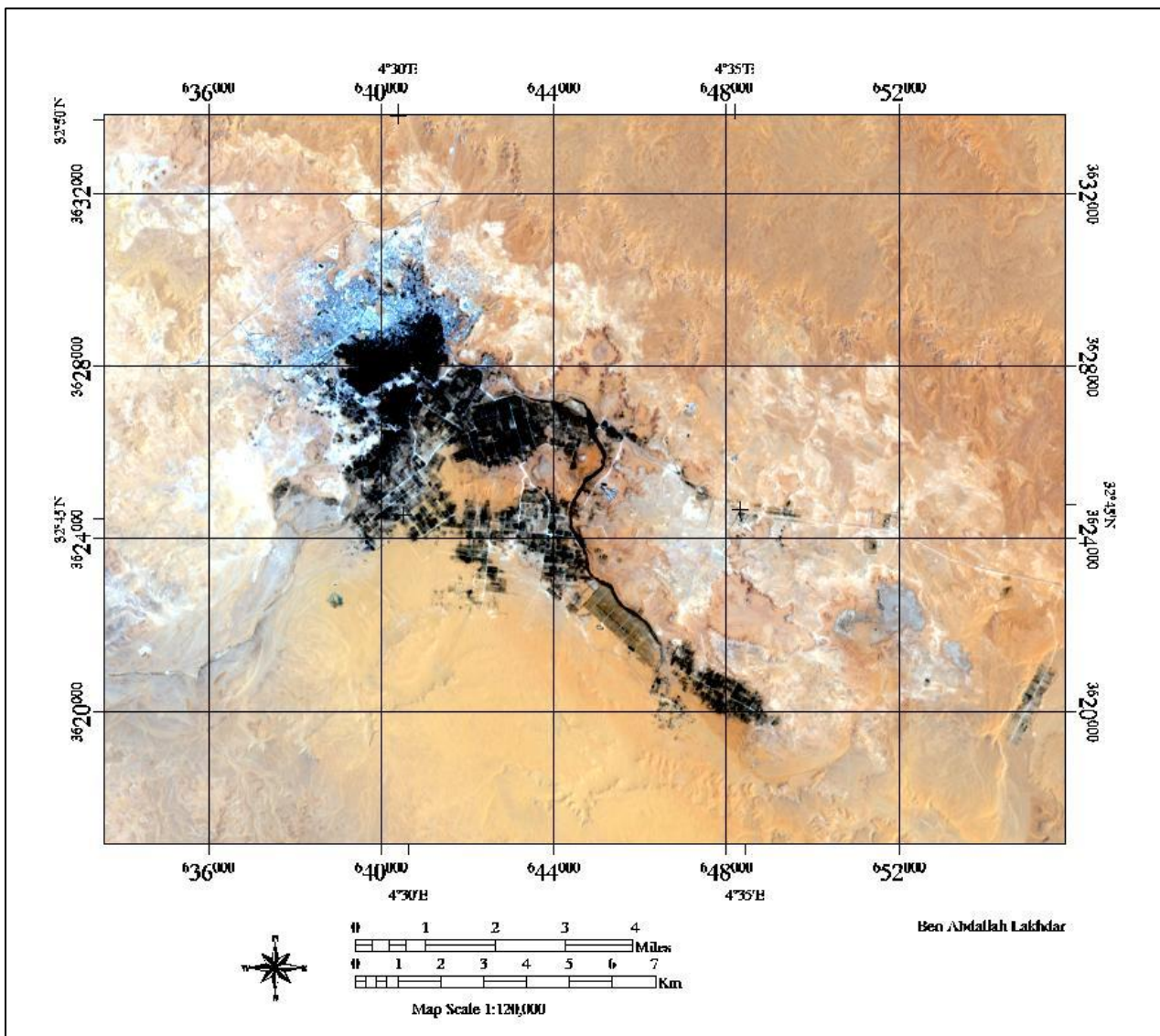


Figure 10 : Limites de la région de Guerrara (Image LANDSAT 8 OLI/2021)

I.3.4. Capteurs LANDSAT

Les capteurs Landsat (TM, ETM+ et OLI) ont été choisies pour aboutir aux buts de ce projet.

Tableau 07 : Caractéristiques des satellites LANDSAT 7(ETM+) et LANDSAT 8(OLI)

LANDSAT 7 (ETM+)			LANDSAT 8 (OLI)		
Bande	Longueur d'onde (µm)	Résolution (m)	Bande	Longueur d'onde (µm)	Résolution (m)
1 bleu	0,45-0,52	30	1 Aérosols	0,43-0,45	30
2 vert	0,52-0,60	30	2 Bleu	0,45-0,51	30
3 rouge	0,63-0,69	30	3 vert	0,53-0,59	30
4 PIR	0,77-0,90	30	4 rouge	0,64-0,67	30
5 MIR 1	1,55-1,75	30	5 PIR	0,85-0,88	30
6 MIR 2	2,09-2,35	30	6 MIR 1	1,57-1,65	30
7 Panchromatique	0,52-0,90	30	7 MIR 2	2,11-2,29	30
			8 Panchromatique	0,50-0,68	15
			9 Cirrus	1,36-1,38	30
			11 MIR	11,50-12,50	100

En effet, ce capteur offre le plus long enregistrement gratuit et disponible qui permet d'étudier des phénomènes récurrents tels les périodes de retour des inondations. De plus, ses résolutions (spatiale, spectrale et temporelle) répondent aux exigences de la surveillance thématique et au changement des composantes terrestre (Chander, *et al.*, 2009). Le programme LANDAST a commencé en juillet 1972, avec le lancement de la première plateforme LANDSAT-1. Grâce à l'avancement technologique et à la demande d'une meilleure qualité, d'autres plateformes ont été lancées (LANDSAT-2, 3, 4, 5, 6, 7, et LANDSAT-8). Sauf que, le lancement de LANDSAT-6 n'a pas été réussi en 1993. De plus, un problème technique dans le balayeur du capteur LANDSAT-7 (ETM+) a eu lieu le 31 mai 2003 et a causé des anomalies dans les images subséquentes. C'est pourquoi les images de LANDSAT-7 capturées après mai 2003 ont été éliminées de l'ensemble des images historiques.

Les résolutions spatiale et temporelle ont été améliorées dans les plateformes de LANDSAT-4 au LANDSAT-8 : le cycle est devenu 16 jours au lieu de 18 jours et la résolution spatiale est devenue 30 m au lieu de 60 mètres après ré-échantillonnage (U.S.G.S 2018).

I.3.4.1. Résolution des capteurs (Résolution spatiale)

- Indication de la taille du pixel de l'image de télédétection.
- Faible séparation entre les objets qui peuvent être résolus par le capteur.

Haute résolution spatiale : 0.5 - 4 m

Moyenne résolution spatiale : 4 - 30 m

Faible résolution spatiale : 30 - 1000 m

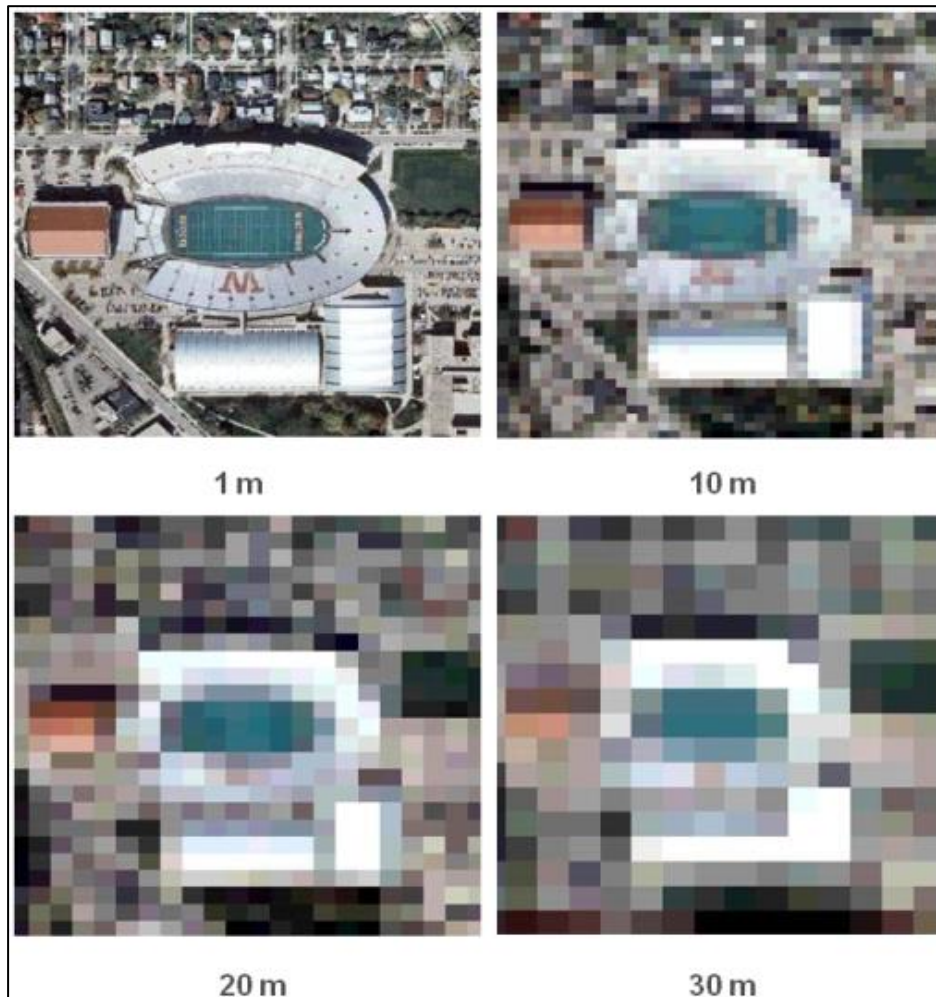


Figure 11 : Types de résolution spatiale (Source Google)

I.3.5. Logiciels utilisés

Pour traiter les images obtenues nous avons utiliser le logiciel ENVI version 5.3 (ENvironment for Visualizing Images).

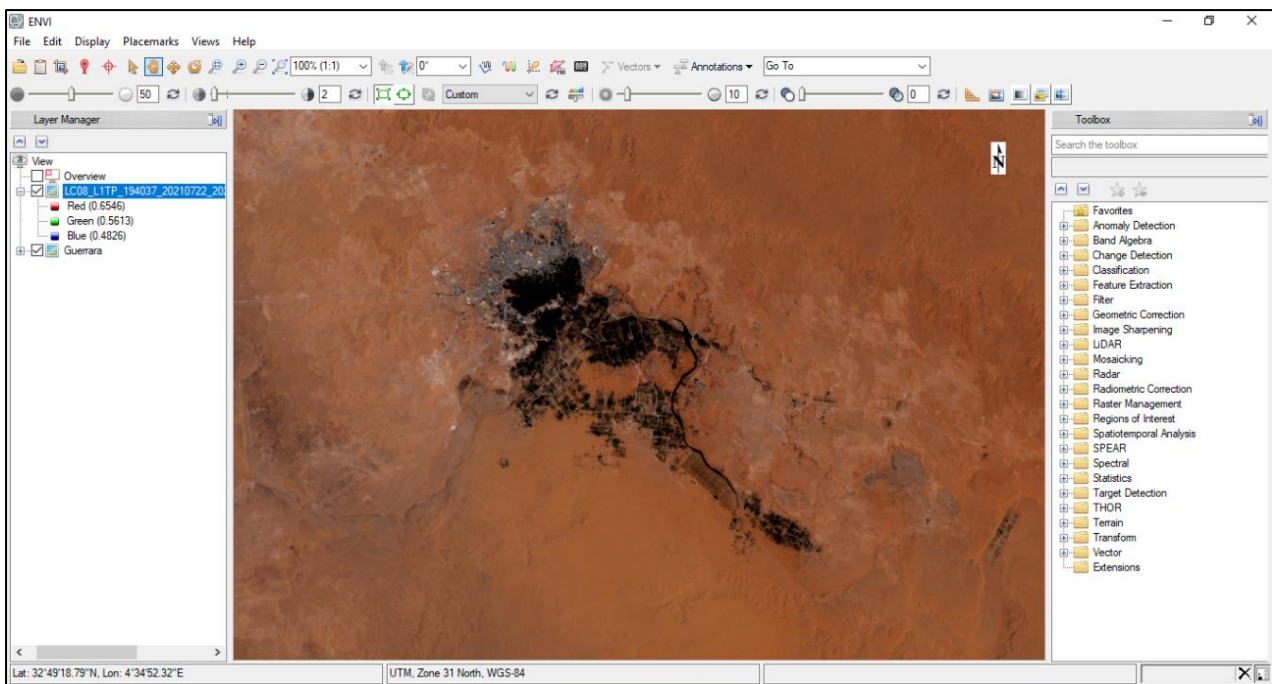


Figure 12 : Interface du logiciel ENVI (version 5.3)

Tel que :

1. **Panneau latéral :** Contient des informations sur les photos ouvertes.
2. **Visualiseur :** affiche les données géographiques activées dans l'onglet Gestionnaire de couches dans le panneau latéral et y travaille.
3. **Boîte à outils :** Permet un accès rapide aux fonctions ENVI et aux outils qu'elles contiennent.
4. **Bandes de menu :** permet d'accéder à toutes les fonctions ENVI fréquemment utilisées dans le programme.
 - Le logiciel ENVI a été créé par la société "ITTVIS", un logiciel de traitement d'images par satellite. Il offre une interface logique et intuitive pour lire, afficher et analyser différents formats d'image.
 - Les images LANDSAT ont été téléchargées à partir du site Web de l'USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). La plateforme de l'Agence offre des images géométriquement corrigées de différentes époques.

I.4. Méthodes

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les images acquises par les capteurs placés à bord des satellites contiennent des erreurs radiométriques et atmosphériques liées aux caractéristiques de l'instrument et à la présence d'une atmosphère, d'où la nécessité d'un processus de prétraitement des données.

La sélection des images dans le cas de notre étude doit se faire sur la base de critères similaires, notamment dans les deux périodes d'acquisition pour obtenir une image claire de l'évolution des espaces végétaux et du sol nu, de l'urbanisation..., donc, choisir une période en date du 1999 et l'autre période est récente en date du 2021, donc dotée d'un grand changement.

❖ Sources d'erreurs d'observation spatiale

Les images acquises par les capteurs installés à bord des satellites contiennent, outre les erreurs radiométriques liées aux caractéristiques de l'instrument et à la présence de l'atmosphère, des distorsions géométriques. Celles-ci peuvent survenir du fait du mouvement relatif entre le satellite, le capteur de balayage et le sol, provoquant des erreurs dans le mouvement des pixels de l'image obtenue. Les caractéristiques de balayage du capteur, la courbure de la Terre et les variations incontrôlées de la position et de l'orientation de la plateforme, produisent des erreurs géométriques de nature et de complexité différentes.

I.4.1. Prétraitements

Le prétraitement d'images est une étape préliminaire très intéressante dans le domaine de la télédétection pour obtenir de bonnes valeurs d'énergie réfléchie ou émise en tout point de la surface terrestre. Le prétraitement comprend les corrections suivantes, la première est une correction radiométrique, atmosphérique et enfin géométrique. Cet article comprend les procédures suivantes :

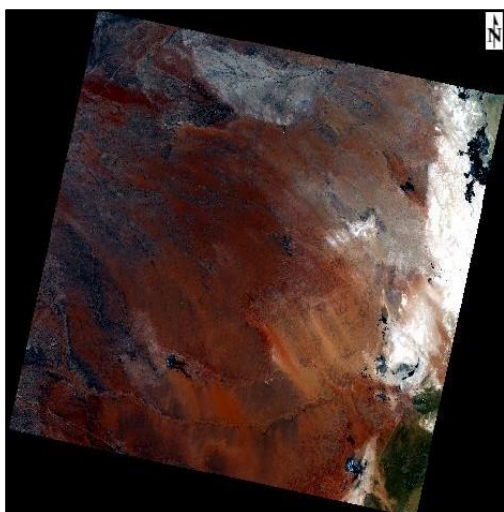


Image Landsat8 (OLI) 2021

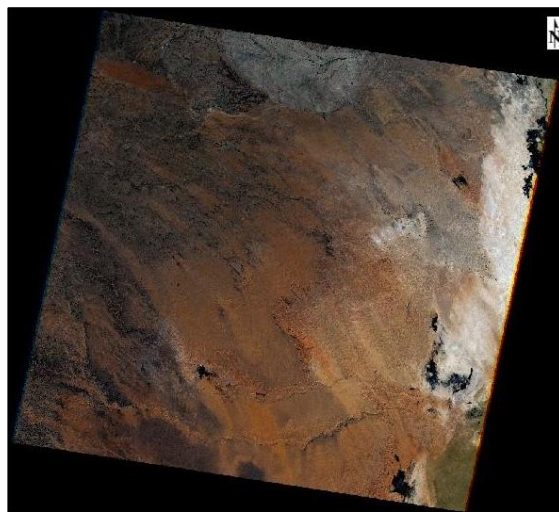


Image Landsat7 ETM+ 1999

Figure 13 : Images de la région d'étude, résolution spatiale 30x30 m (Source U.S.G.S)**Tableau 08** : Informations utiles sur les images satellitaires à traitées

Image 23/11/1999	<ul style="list-style-type: none"> - Scène LANSAT 7 - Senseur ETM (SAM) optique - Heure et date d'acquisition : 10 :07 :04.7721809Z en 1999-11-23 - Nom du fichier LE07_L1TP_194037_19991123_20170216_01_T1 - Couverture nuageuse : 0.00 % - Résolution au sol : 30 mètres - Zone UTM : 31 - Couloir / ranger : 194 / 037 - Niveau de traitement : L1T - Projection de carte : UTM (WGS84 / WGS84) - Élévation de Source : GLS2000 - Date de traitement : 2017-02-16T03 :17 :43Z - Version de processeur : LPGS_12.8.3
Image 22/07/2021	<ul style="list-style-type: none"> - Scène LANSAT_8 - Senseur OLI_TIRS - heure et date d'acquisition: 10 :14 :17.0727630Z en 2021-07-22 - nom du fishier: LC08_L1TP_194037_20210722_20210729_01_T1 - Résolution au sol: 30 mètres - Zone UTM: 31 - Couloir / ranger: 194 / 037 - Projection de carte: UTM (WGS84 / WGS84) - Élévation de Source: GLS2000 - Couverture nuageuse: 0.00 % - Date de traitement: 2021-07-29T17 :10 :06Z - Version de processeur : LPGS_12.8.3

I.4.1.1. Empilement des couches (Layer stacking)

On utilise *Layer Stacking* pour construire une nouvelle image multi-bande et/ou multi-date à partir des images géo référencées de diverses tailles.

I.4.1.2. Découpage de région d'intérêt

L'étape suivante consiste à faire un découpage d'une image partielle représentant les limites de la région de Guerrara à partir de l'image globale, on utilisant deux outils, l'un est l'outil Region of interest (ROIs) pour sélectionner la zone d'intérêt et l'autre outil est Subset Data from ROIs pour le découpage, ces outils sont fournées par le logiciel ENVI version 5.3.

➤ Application

C'est l'étape avant dernière pour finir les prétraitements et passer aux traitements avancés et essentiels qui sont l'objet de notre étude.

➤ L'outil Region of interest (ROIs)

Il s'agit de sélectionner un minimum de 30 pixels spectralement représentatifs de chaque signature spectrale identifiée. Cet échantillon, ou « aire d'entraînement » servira à la

« CALIBRATION » de la classification. Il est défini à polygone pour chaque classe spectrale.

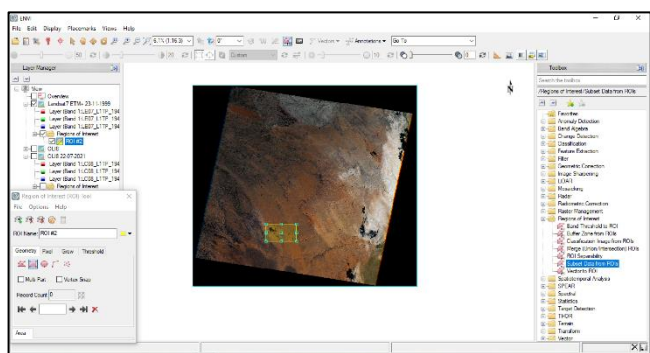


Image de la région de Guerrara (1999)

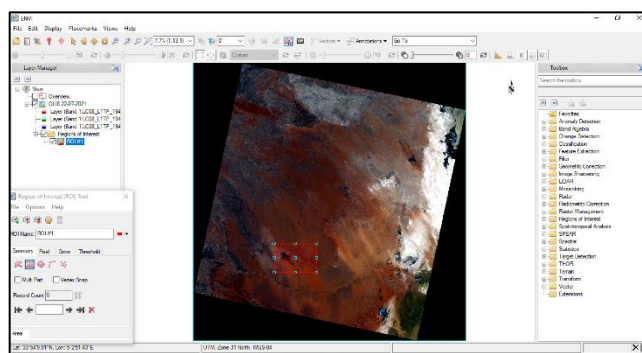


Image de la région de Guerrara (2021)

Figure 14 : Images après l'application de l'outil **Region of Interest (ROIs)**

Enfin, le découpage est réalisé par cet outil, et cela après avoir délimité la région d'intérêt, dans notre cas il faut avoir mêmes limites dans les deux scènes

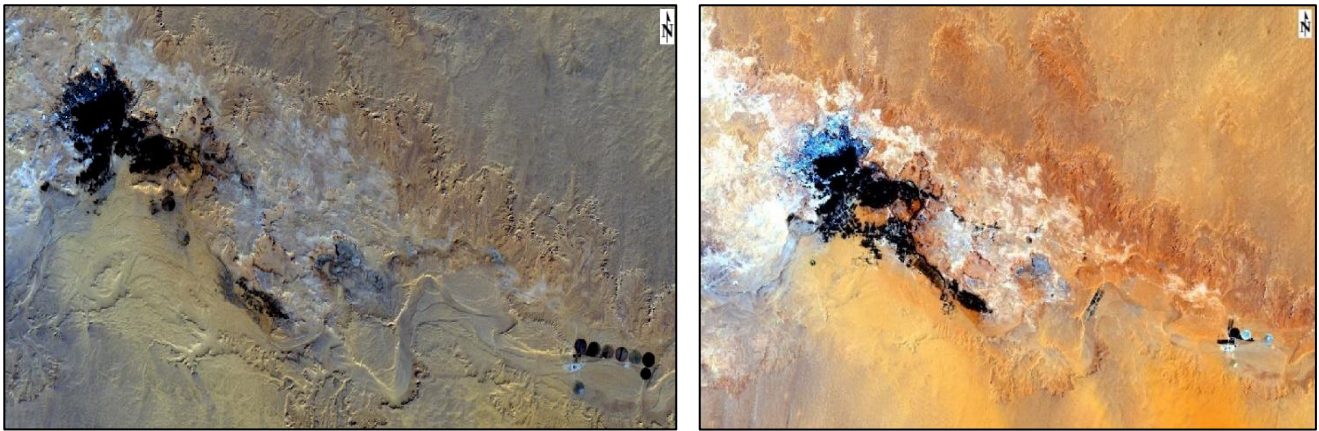


Image de la région de Guerrara (1999)

Image de la région de Guerrara (2021)

Figure 15 : Images après le découpage par l'outil **Subset Data from ROIs**

I.4.2. Traitements

Avant de faire un traitement sur les images, il est nécessaire de mieux connaître les combinaisons colorées concernées, le phénomène à étudier et le choix de la classification et même les différences entre image satellitaire du LANDSAT 7 ETM+ et LANDSAT 8 OLI/TIRS.

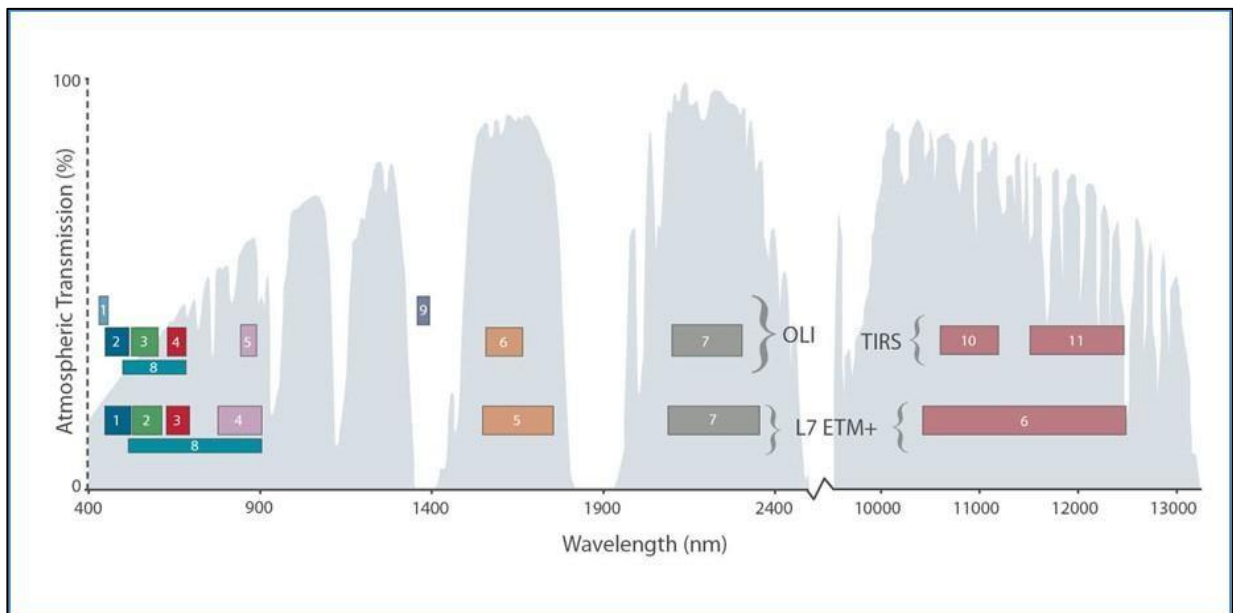


Figure 16 : Différences entre image satellitaire du LANDSAT 7 ETM+ et LANDSAT 8 OLI (NASA, LANDSAT, 2015)

I.4.2.1. Classification d'une image

➤ Notion de classe

La définition d'une classe repose sur le principe qu'a une signature spectrale donnée correspond un objet bien identifiable et inversement (Laine, 1990). Un pixel peut être aussi défini à partir d'un ensemble de n composantes images auxquelles on associe les paramètres de mesures. Cet espace à n dimensions, parfois appelé espace spectral, est donc occupé par l'ensemble des vecteurs possibles formés des valeurs des n paramètres d'observation (Bonn et *al.*, 1996).

Il existe différents types de méthodes de classifications (Antoine, 2019) :

- Supervisée : l'opérateur définit lui-même les classes à produire (nombre, caractéristiques spectrales,...ect)
- Non-supervisée : le logiciel définit lui-même les classes
- Par pixel : chaque pixel est classifié individuellement et indépendamment des pixels voisins
- Par objet : l'image est d'abord découpée en objet (1 objet = 1 ensemble de pixels voisins spectralement homogène) au cours d'une étape de « segmentation ». Ensuite, les caractéristiques de ces objets sont utilisées pour les classifier.

Pour être concis et précis, le choix d'une classification supervisée rend notre travail ciblé par l'objectif annoncé au début.

I.4.2.2. Notion de composition colorée

Dans les systèmes de télédétection, il est possible de détecter et d'enregistrer des parties du spectre électromagnétique non détectables à l'œil nu, comme par exemple l'infrarouge. Pour pouvoir visualiser ce type d'informations, il est nécessaire d'associer les bandes spectrales du système d'observation aux couleurs de l'affichage (rouge-vert-bleu), qui ne leur correspondent pas forcément. Ainsi, des compositions colorées ont été créées, parfois appelées "images avec de fausses couleurs".

Les informations fournies par une seule chaîne n'apportent pas toujours des détails satisfaisants, le principe est d'utiliser trois chaînes sur la même image ; couleur différente pour chaque canal, la superposition de ces images produit une nouvelle image appelée composition de couleur.

Une composition colorée obtenue à la suite d'une synthèse additive de lumières colorées (système Rouge - Vert - Bleu). Sachant que ces trois couleurs primaires correspondent à trois valeurs numériques pour chaque pixel.

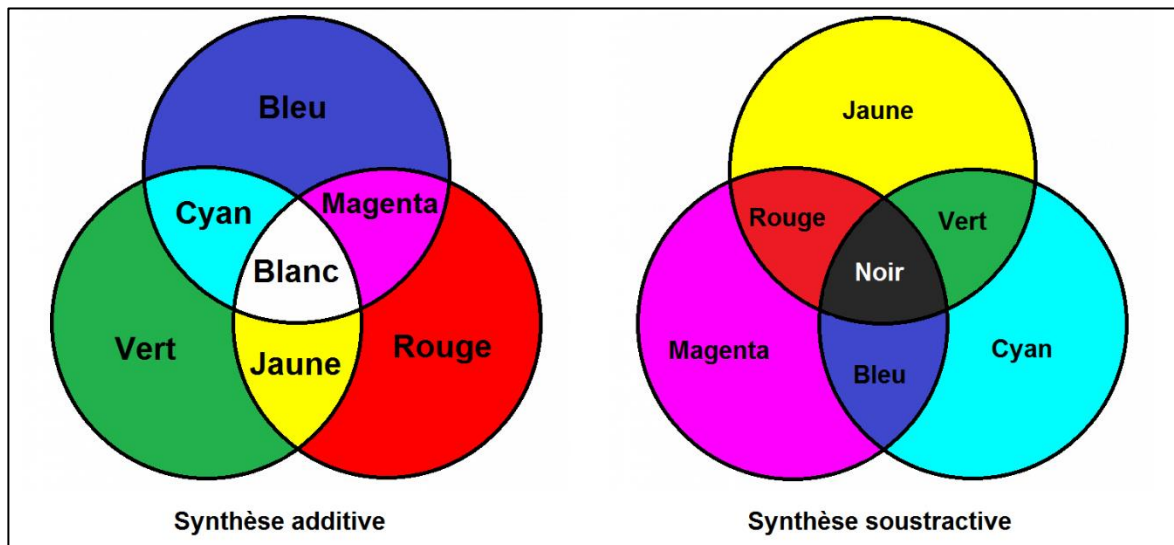


Figure 17 : Synthèse additive et la synthèse soustractive.

La multitude de canaux LANDSAT 7 ETM+ et LANDSAT 8 OLI offre une variété d'options pour synthétiser les combinaisons RVB. Parmi ces combinaisons, il en existe d'autres fortement corrélées, dont les informations disponibles sont répétées dans plusieurs bandes. Pour choisir les compositions RVB les plus importantes, un aperçu de l'état statistique des bandes RVB la même résolution spatiale est obtenue. Ainsi, le coefficient de corrélation des six bandes et leurs écarts types sont calculés

Les bonnes compositions de couleurs qui en résultent sont celles qui sont le moins en corrélation les unes avec les autres.

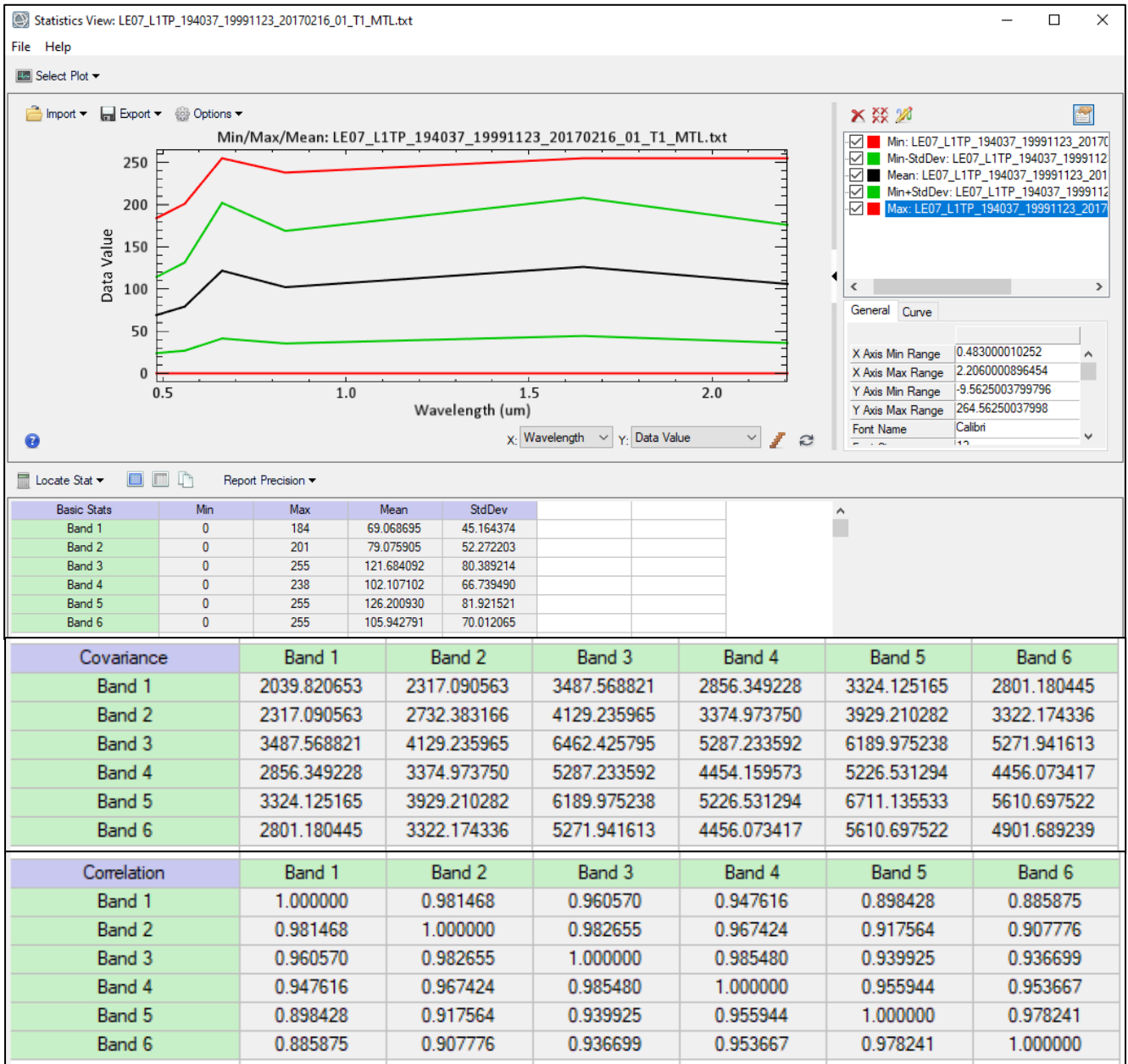


Figure 18 : Statistiques de base de l'image en 1999.

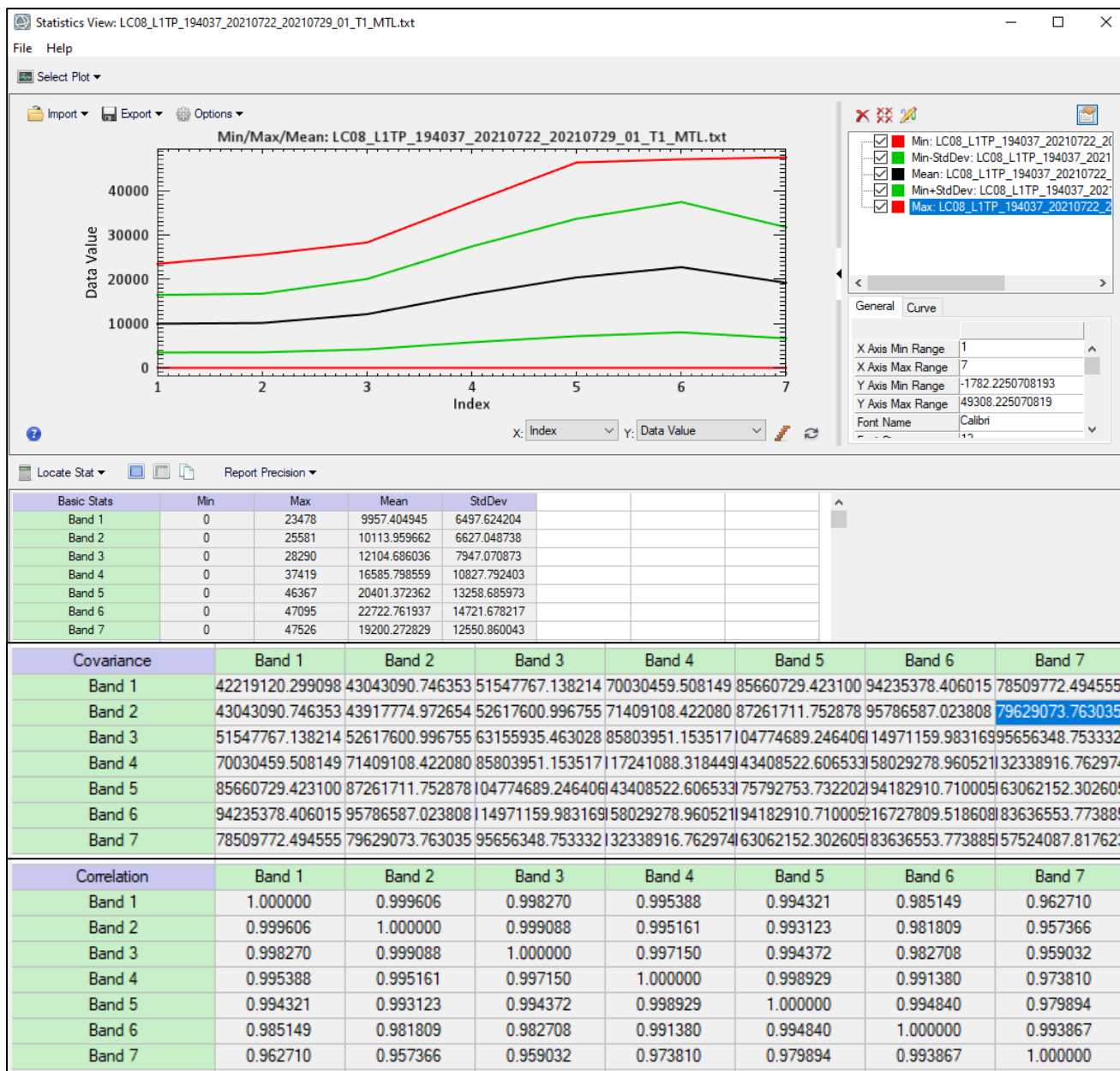


Figure 19 : Statistiques de base de l'image en 2021.

Les images de télédétection sont en mode RASTER ; en encodant des canaux avec la même résolution spatiale de l'image avec trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu), plusieurs compositions de couleurs peuvent être développées, ci-dessous les différentes combinaisons utilisées en mode RVB pour les images LANSAT 7 ETM+ et LANDSAT 8 OLI.

Tableau 09 : Différentes combinaisons utilisées en fausses couleurs et leurs utilités par LANDSAT 7 ETM + (Laghouag, 2011)

RGB	Description
321	Image en couleur naturelle.
432	Combinaison standard en fausses couleurs, la végétation apparait en rouge.
453	La limite entre terre et eau est très nette. Bon pour l'étude des sols et la végétation.
742	Combinaison souvent utilisée en géologie. Le sable, le sol et les minéraux montrent une multitude de couleurs. Bon pour étudier les régions désertiques.
753	Combinaison souvent utilisée en géologie. Le sable, le sol et les minéraux montrent une multitude de couleurs.
541	Combinaison souvent utilisée en agronomie, la végétation apparait en vert clair.
754	Très utilisée en géologie. Fournit la meilleure pénétration dans l'atmosphère. La végétation apparait en bleu.
731	Combinaison bonne en géologie. Les roches apparaissent dans une multitude de couleurs.

Tableau 10 : Différentes combinaisons utilisées en fausses couleurs et leurs utilités par LANDSAT 8 OLI (ESRI)

RGB	Description
432	Image en couleur naturelle.
764	Combinaison standard en fausses couleurs (Urbain).
543	Infrarouge (végétation)
652	Agriculture.
765	Pénétration atmosphérique.
562	La santé de la végétation.
564	L'eau/surface de la terre.
753	La nature avec la suppression de l'atmosphère.
754	Logiciels infrarouge.
654	L'analyse de la végétation.

Tableau 11 : Nombre de combinaisons possibles

Désignation	LANDSAT 7 ETM+	LANDSAT 8 OLI	Observations
Nombre des bandes	8	11	Nous devons choisir trois bandes
Arrangements avec répétition	83=512	113=1331	L'ordre et la répétition ne sont pas demandés
Arrangements sans répétition	336	990	L'ordre n'est pas demandé
Combinaison avec répétition	120	286	La répétition n'est pas demandée
Combinaison sans répétition	56	165	Pour notre cas, combinaison sans répétition est plus adaptée.
Nombre des bandes de même résolution	6 (30 m)	8 (30 m)	
Combinaison sans répétition	20	56	

I.4.2.3. Classification supervisée

Les recherches sur l'extraction de l'occupation du sol par imagerie satellitaire utilisent, pour la plupart, des méthodes de classification supervisée par pixel : c'est une technique qui suppose que l'on ait connaissance du domaine dans lequel on travaille, la démarche scientifique reste la même pour chacun des eux. Méthodes de classification, ainsi que le choix des algorithmes de classification. (Chesnais, 1998), utilise l'algorithme du maximum de vraisemblance (*Maximum Likelihood*) pour obtenir une classification représentative de l'occupation du sol.

Les classifications supervisées sont des méthodes qui permettent un résultat rapide et généralement assez efficace pour rendre compte des changements d'occupation du sol, elles

sont utilisées notamment dans le cadre d'images dont la résolution spatiale n'est pas très élevée.

La méthode consiste à choisir différents échantillons d'apprentissage que l'on considérera comme représentatifs des classes auxquelles on souhaite les affecter, puis à appliquer un algorithme de classificateur qui, selon certaines règles statistiques, affectera chaque pixel de l'image à une classe définie.

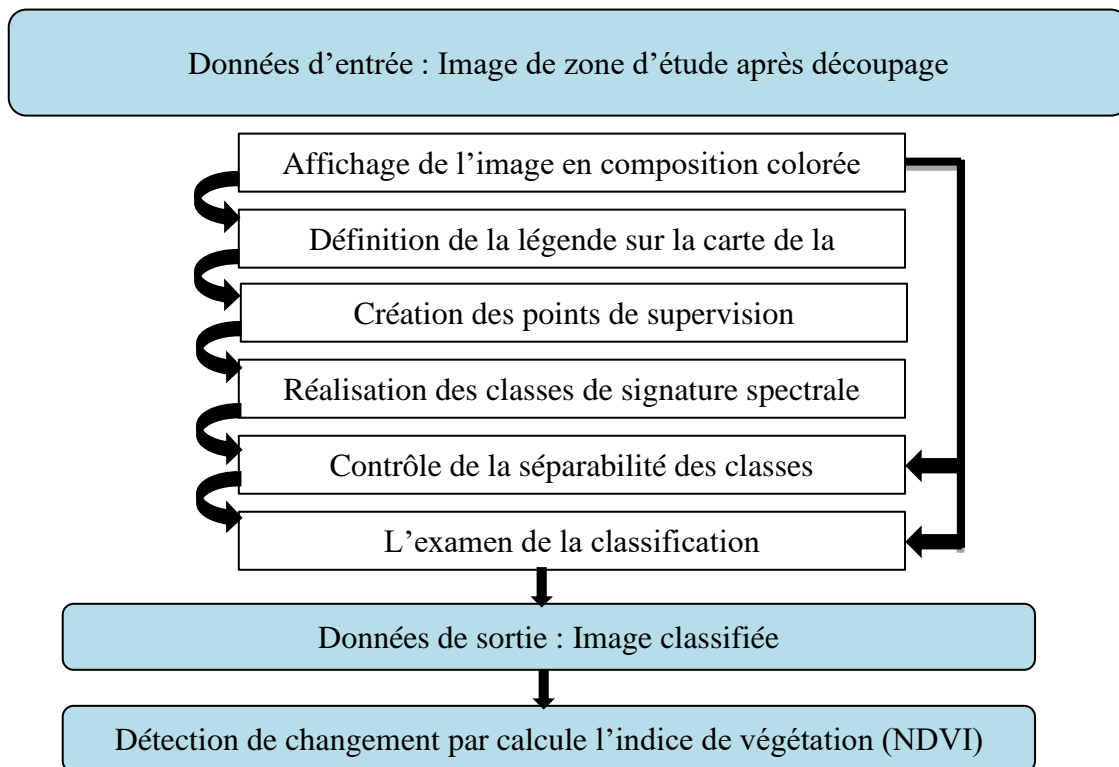


Figure 20 : Schéma d'intégration des données dans la classification supervisée avec un maximum de vraisemblance et calcul de l'indice de végétation « NDVI ».

I.4.2.4. Affichage de l'image en compositions colorées

L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pouvant refléter presque qu'on espère faire ressortir à partir des données télédéTECTEURS. Le principe consiste simplement en une exposition successive de films correspondants à trois bandes spectrales, avec un code de couleurs bien défini pour chacun, c'est-à-dire qu'on visualise trois canaux en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales (Bleu, Vert, Rouge). Le résultat final correspond à une image trichrome appelée composition colorée, dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances de ces trois couleurs de base (Haddouche, 1998).

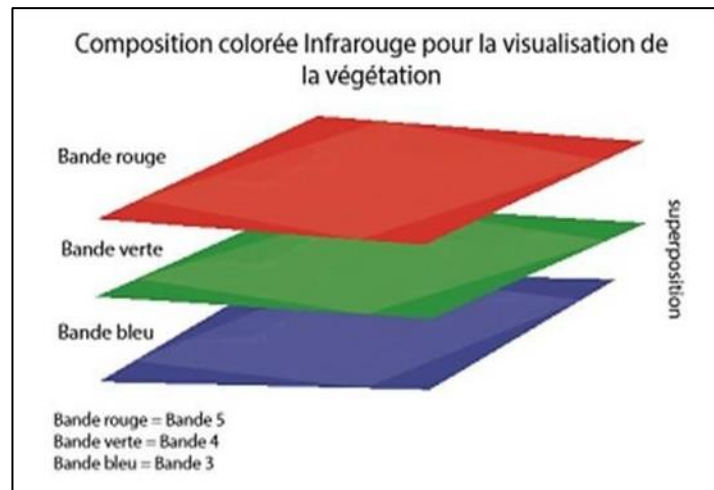


Figure 21 : Schéma de la composition colorée infrarouge pour l'image LANDSAT 8OLI

➤ **Application**

Le code couleur retenu pour le capteur LANDSAT 7 ETM+ est 4.3.2, cette combinaison standard est en fausses couleurs avec la végétation apparaissant en rouge. Et pour le capteur LANDSAT 8 OLI, le code couleur retenu est 5.4.3, d'où la description du code infrarouge qui exprime la végétation.

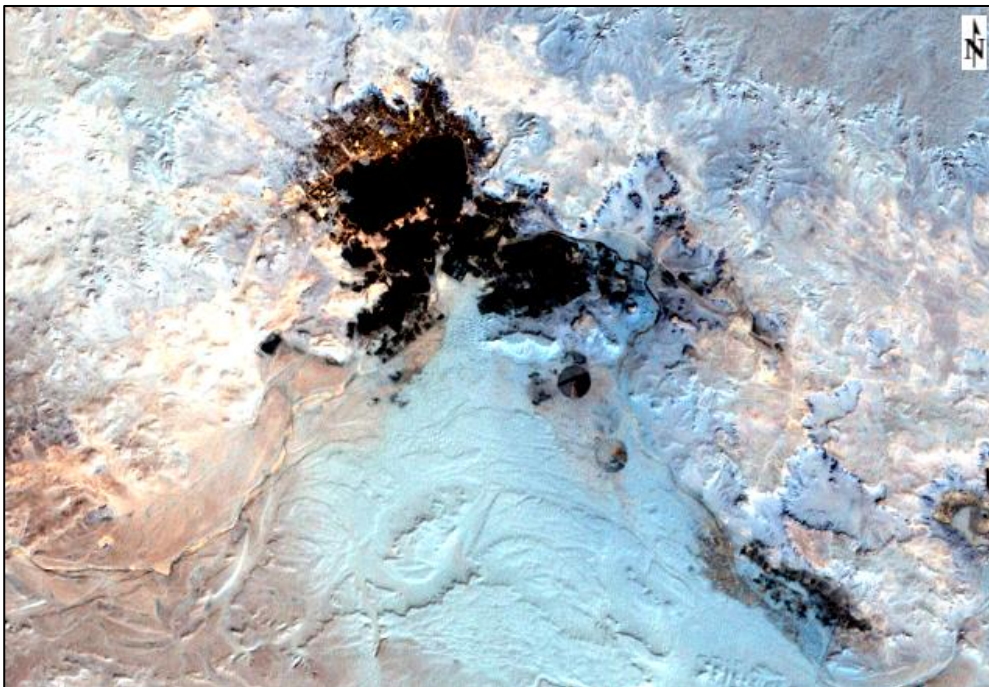


Image de la région de Guerrara (1999)

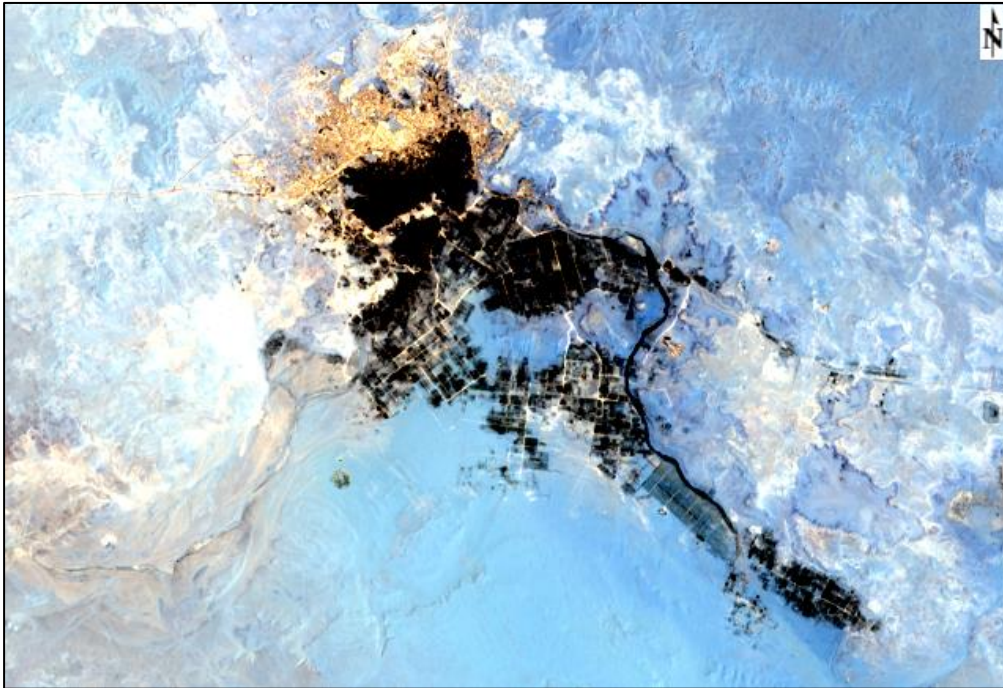


Image de la région de Guerrara (2021)

Figure 22 : Images après l'application de la composition colorée par l'outil **Change RGB Bands**

I.4.2.5. Définition de la légende sur la carte de végétation

Après un examen de la composition colorimétrique de la zone à classer (y compris le renforcement des contrastes), basé sur la connaissance personnelle de la zone étudiée, il est nécessaire de mettre en place une définition dans laquelle la légende de la carte est compromise afin que les classes que nous souhaitons voir apparaître la carte d'occupation de la végétation sur la carte d'occupation de la végétation résultante.

Tableau 12 : Classes de l'occupation du sol par la végétation

Classe	Type
1	Palmier dattier
2	Culture herbacée (maraîchère)
3	Végétation naturelle et verger (Arboriculture)
4	Zone urbaine et industrielle
5	Oued
6	Chebaka
7	Hamada et plateau rocheux

I.4.2.6. Création des points de supervision

La classification supervisée nécessite une bonne compréhension des propriétés des objets dans les régions d'images, des cartes de végétation modernes ou des images aériennes de la réalité au sol. Les sites ou emplacements d'entraînement correspondent à des échantillons de pixels représentant toutes les classes de végétation, et pour faire ce travail, il est nécessaire d'utiliser un GPS ou une application portable. Cependant, la deuxième méthode est plus simple et encore moins chère. Un exemple d'utilisation d'une application est une carte géographique GPS (Y2. technology, 2018), puis une base de données sera créée sous forme de fichier au format KML, suivie d'une carte de points prise avec ArcGis version 10.3.

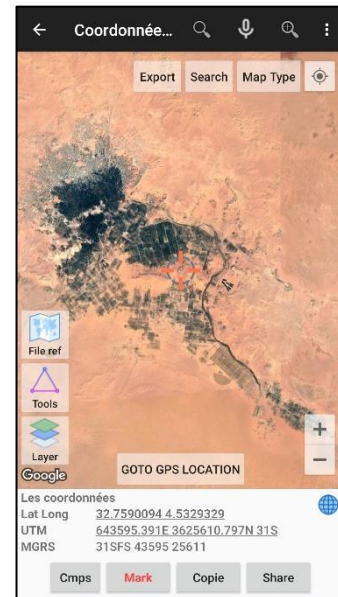


Figure 23 : Interface de UTM Geo Map

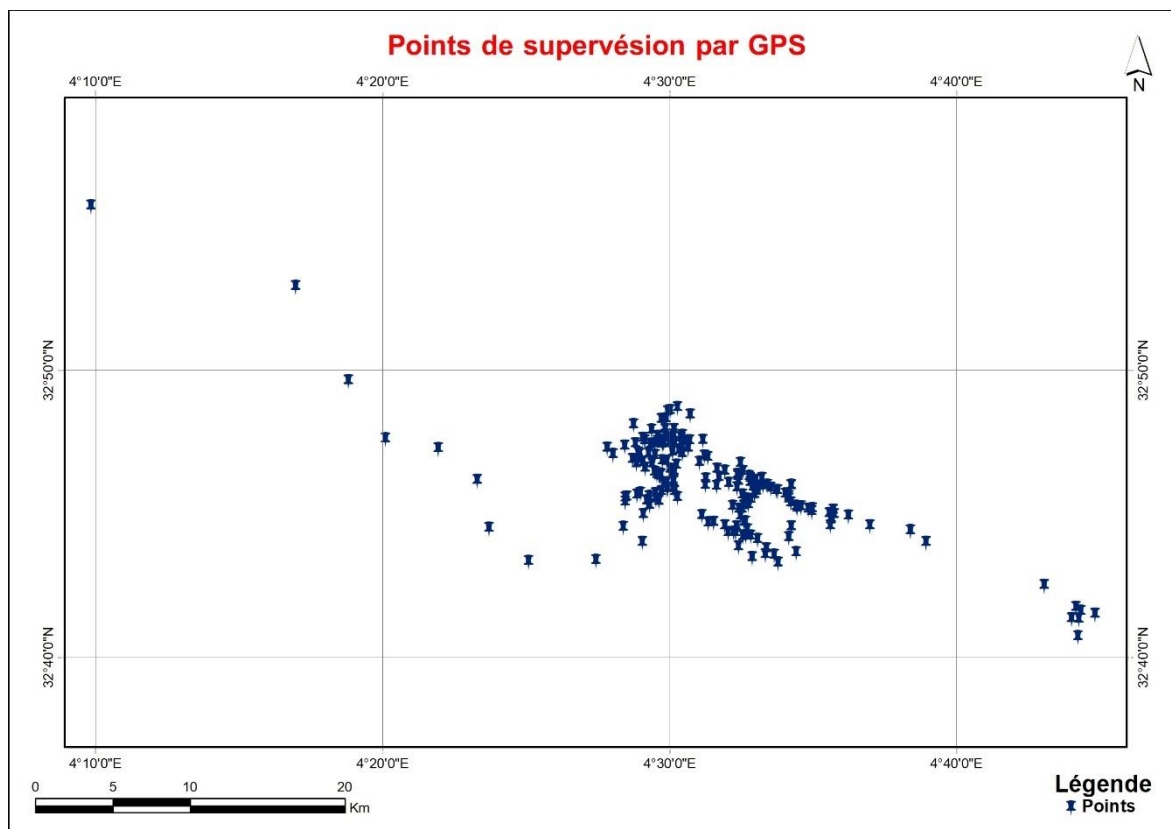


Figure 24 : Présentation des points de supervision dans la région de Guerrara par ARCGIS V.10.3

I.4.2.7. Réalisation des classes de signature spectrale

Les méthodes de classification d'images les plus courantes utilisent l'information radiométrique d'une ou plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement.

Ce type de classification standard est appelé reconnaissance de regroupements spectraux. L'image issue de la classification est composée de pixels appartenant chacun à un thème particulier (exemple : eau, forêt, bâti, etc.).

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 (Cherel, 2010).

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre des classes d'informations et des classes spectrales :

- Les classes d'informations, 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.

L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'informations. 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.

La démarche de classification comporte ainsi trois étapes fondamentales :

- Établissement de classes de signatures ou classes spectrales,
- Classification des pixels en fonction des classes de signatures,
- Vérification de la classification (fiabilité par rapport aux classes thématiques envisagées) (Cherel, 2010).

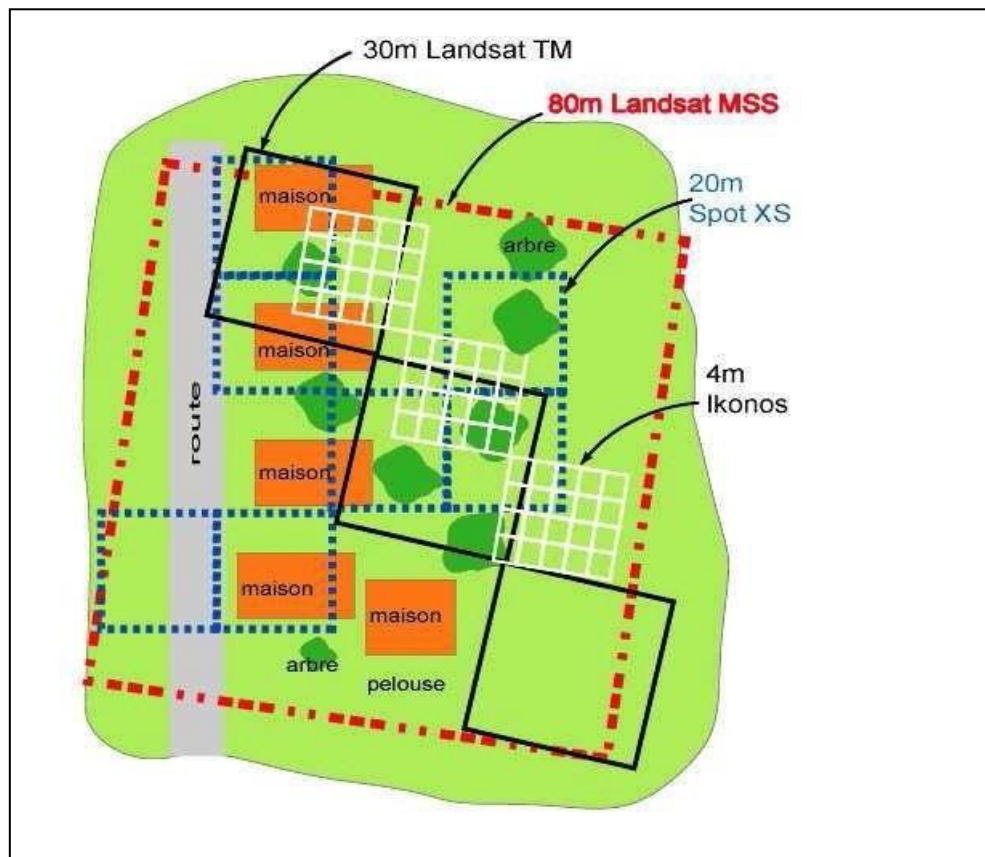


Figure 25 : Influence de la résolution des capteurs sur « pureté » des pixels (Cherel 2010)

Tableau 13 : Classes de la carte et leurs couleurs pour la classification supervisée

Classes de la legend de la carte	Classes spectrales correspondantes utilisée pendant le processus de classification supervisée
Palmier dattier	Vert foncé
Culture herbacée (maraîchère)	Jaune
Végétation naturelle et verger (Arboriculture)	Vert citron
Zone urbaine et industrielle	Blanche
Oued	Bleu
Chebaka	Rose
Hamada et plateau rocheux	Marron

➤ **Application**

Le principe de la classification dirigée par la procédure de maximum de vraisemblance « **Maximum Likelihood** » consiste à comparer la signature spectrale de chaque pixel dans les

bandes choisies (dans notre cas : NDVI, bleu, vert, rouge et proche infrarouge) avec celle des Régions d'intérêts puis affecter chaque pixel à la classe dont laquelle la signature spectrale est proche (Derdjini, 2017).

I.4.2.8. Contrôle de la séparabilité des classes

Étape de contrôle et d'évaluation, pour avoir le niveau de séparabilité des classes dans le contexte de la zone d'étude, puisque l'occupation de la végétation n'est pas en un seul endroit, mais plutôt composée d'un ensemble de groupes dispersés dans l'espace, mais il ne pas de forme régulière.

➤ **Application**

Par l'application de la commande ROI Separability, on aura des statistiques (Voir annexe 1).

I.4.3. Post-traitement

Enfin, c'est la dernière étape du plan de traitement des images satellitaires, mais cela reste une option, on parle déjà de traitement secondaire.

I.4.3.1. Outil de post-classification

1. Agrégation de classification (*classification aggregation*)

Cet outil est utilisé pour réunir des régions de classe adjacentes plus petites à une région plus grande. L'agrégation est un processus de nettoyage utile lorsque le résultat de la classification inclut de nombreuses petites régions.

➤ **Application**

Nous allons utiliser Clump Classes pour grouper les zones adjacentes de manière similaire en utilisant des opérateurs morphologiques. Les images de classification souffrent souvent d'un manque de cohérence spatiale (taches ou trous dans les zones classées). Le filtrage passe-bas pourrait être utilisé pour lisser ces images, mais les informations de classe seraient contaminées par des codes de classe adjacents. Clump Classes résout ce problème. Les classes sélectionnées sont regroupées en effectuant d'abord une opération de dilatation puis une opération d'érosion sur l'image de classification en utilisant un noyau de la taille spécifiée dans la boîte de dialogue des paramètres.

2. Statistiques d'images classifiées

Afin d'avoir une bonne explication et une évaluation robuste de l'objet ou du phénomène qui fait l'objet de notre recherche, il est nécessaire de disposer de statistiques réelles.

➤ Application

Avec l'outil Class Statistics, on aura plus des détails sur les images satellites classifiées.

3. Examen de la classification

La validation est une étape nécessaire pour perfectionner la classification des images et établir l'exactitude des résultats des classifications. Cette étape permet d'identifier les sources d'erreurs à corriger et d'améliorer la qualité de l'information sur la carte. De plus, la majorité des informations extraites des données de télédétection est ensuite employées dans un processus décisionnel où la précision de l'information est requise. Essentiellement, l'évaluation de la précision est un processus quantitatif ou qualitatif (Congalton et *al.*, 1999).

S'il existe des zones pour lesquelles la classe d'occupation du sol réelle n'est pas connue (pas d'information venant du terrain, etc.) il devient impossible d'en réaliser la validation. A l'opérateur alors d'estimer si ces zones sont négligeables (par exemple parce qu'elles couvrent un très faible pourcentage de la surface de l'image), ou pas, et de documenter les limitations de la méthode de validation utilisée. Enfin, il faut veiller à ce que les zones de validation soient suffisamment nombreuses et réparties de manière homogène sur la carte afin que celles-ci permettent de calculer une matrice de confusion qui soit bien représentative de la précision de classification de l'ensemble de l'image. Par exemple, si vous utilisez une seule petite zone de validation pour une classe donnée et que par chance tous les pixels de cette zone sont bien classés, la précision de classification obtenue pour cette classe par la matrice de confusion sera de 100 %, alors qu'il est probable que d'autres pixels appartenant à cette classe à d'autres endroits de l'image soient eux mal classifiés. Dans ce cas votre zone de validation ne sera pas représentative de l'ensemble de la classe d'occupation du sol et l'estimation de la précision de classification de cette classe sera donc faussée (Antoine, 2019).

➤ Application

4. Matrice de confusion

- Méthode pour quantifier la précision d'une classification.

- Matrice carrée (rangées : des classes réelles, colonnes : des classes de classification)
- La diagonale indique le nombre de pixels classés correctement
- Les valeurs dehors de la diagonale correspondent aux classifications erronées
 - Précision globale (overall accuracy) : pixels corrects / totaux
 - Erreur d'omission (les pixels d'une classe qui n'est pas détectée comme tel) : Déchet des files.
 - Erreur de commission (pixels classés de forme incorrecte) : Déchet des colonnes.
- Il Permet de connaître les conflits principaux entre des classes → redéfinir les classes

5. Coefficient Kappa

Le coefficient kappa mesure l'accord entre les classes résultantes du classificateur et les valeurs vraies.

- Une valeur kappa de 1 représente un accord parfait,
- Alors qu'une valeur de 0 ne représente aucun accord
- Et négatif représenter classification mauvaise.

Le coefficient kappa est calculé comme suit :

Où :

- Est le numéro de classe.
- Est le nombre total de valeurs classées par rapport aux valeurs vraies.
- Est le nombre de valeurs appartenant à la classe vraie qui ont également été classées. Comme classe (c.-à-d. Valeurs trouvées le long de la diagonale de la matrice de confusion).
- Est le nombre total de valeurs prédites appartenant à la classe i.
- Est le nombre total de valeurs de vérité appartenant à la classe i (Derdjini, 2017).

I.4.3.2. Calcul de l'indice de végétation « NDVI »

Le NDVI est un indice qui se définit comme la différence normalisée des mesures de réflectance spectrale acquises dans les zones de longueurs d'onde « Proche Infra-Rouge » (IR) et « Rouge » (R)

La formule est : $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$.

La valeur du varie théoriquement entre -1 et 1.

En pratique, une surface d'eau libre (océan, lac,...) prend des valeurs de NDVI proches de 0, un sol nu prend des valeurs de 0.1 à 0.2, alors qu'une végétation dense prenne des valeurs de 0.5 à 0.8.

Cependant, les plantes vertes absorbent une grande partie des radiations solaires dans une zone de longueurs d'onde appelée PAR (Photosynthetically Active Radiation), dont fait partie la zone du Rouge. Par contre, le IR est fortement diffusé (non absorbé : transmis et réfléchi) par la plante. Par conséquent, une plante verte apparaît sombre dans le PAR (dont le rouge) car ces longueurs d'ondes sont absorbées par la plante (petite valeur de réflectance), et brillante dans le IR car ces longueurs d'ondes sont réfléchies en partie (grande valeur de réflectance). Le NDVI est directement lié à l'activité photosynthétique des plantes et donc à la capacité d'absorption énergétique de la canopée du couvert végétal. Il agit comme indicateur de la biomasse chlorophyllienne des plantes en termes de réflectance dans le IR et le Rouge.

Une végétation en bonne santé absorbe la plupart de la lumière visible qu'il intercepte et réfléchit une partie importante de la lumière IR. Une végétation en mauvaise santé ou clair semée réfléchit plus de lumière visible et moins de IR (Derdjini, 2017).

I.4.3.3. Détection des changements

D'après Singh, la définition de la détection des changements est le processus d'identification et quantification des différences temporelles dans l'état d'un objet ou d'un phénomène existant sur la surface de la Terre en l'observant à des dates différentes. Généralement, l'analyse du changement est une comparaison spatiale, spectrale, thématique et temporelle de deux images satellites prises à des dates différentes, ou d'une image satellite et une carte numérique, ou de deux ou plus couvertures des terres de la même zone géographique produites à partir des données de télédétection qui sont prises à des moments différents (Alboody, 2011).

La figure ci-dessous représente un exemple de détection des changements:



Image : « A » Capturé dans le temps



Image : « B » Prise à un autre moment que A



Image : Les différences entre A et B

Figure 26 : Images exemple de détection de changement

CHAPITRE II

Résultats & Discussions

II.1. Analyse des images satellitaires

L'ensemble des traitements dans les images satellitaires LANDSAT 7 ETM+ (1999) et LANDSAT 8 OLI (2021) dans la région de Guerrara pour capter la végétation consiste à détecter les changements affectant le système oasien.

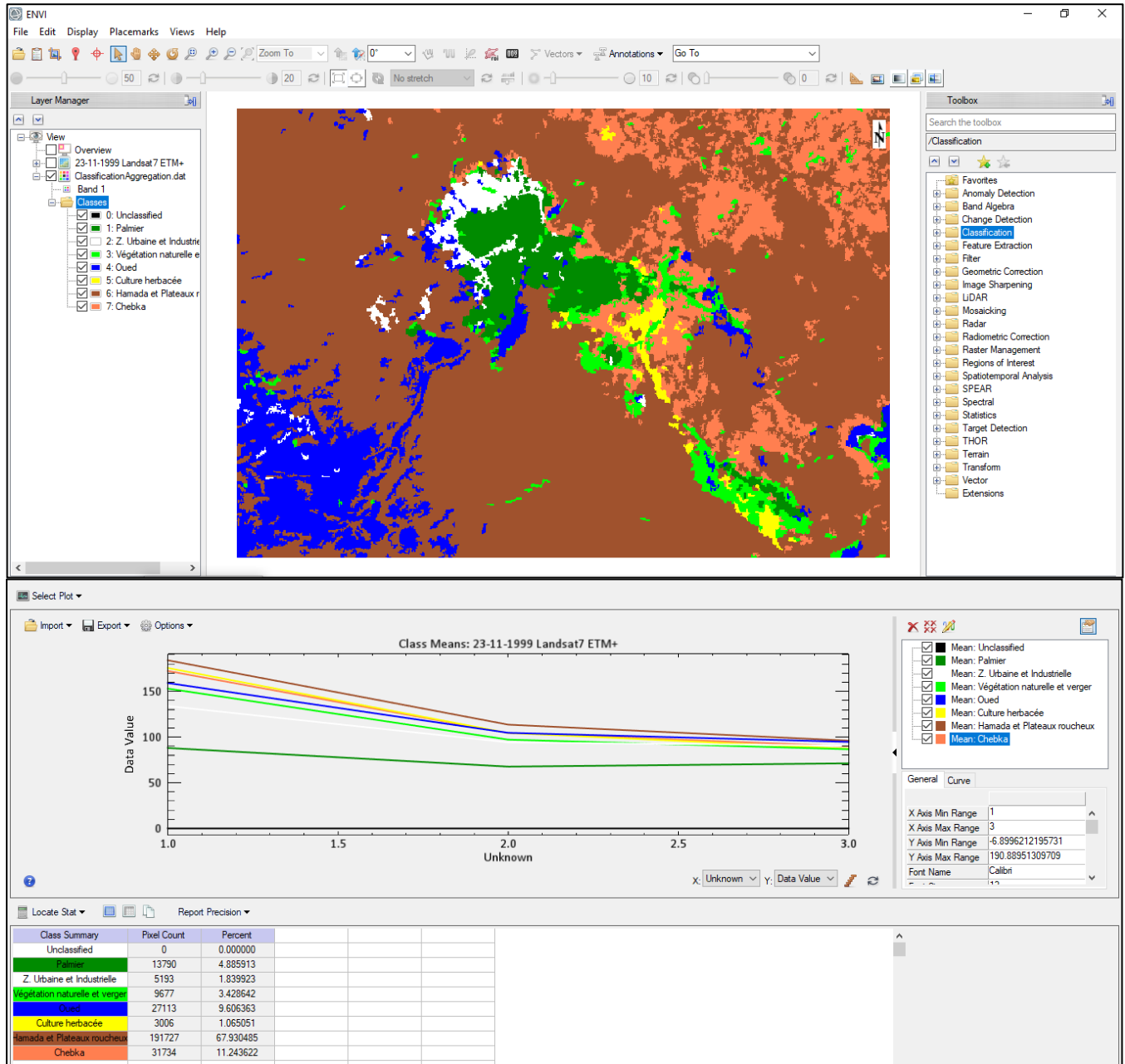


Figure 27 : Profil spectrale pour l'image LANDAST de la région de Guerrara en 1999

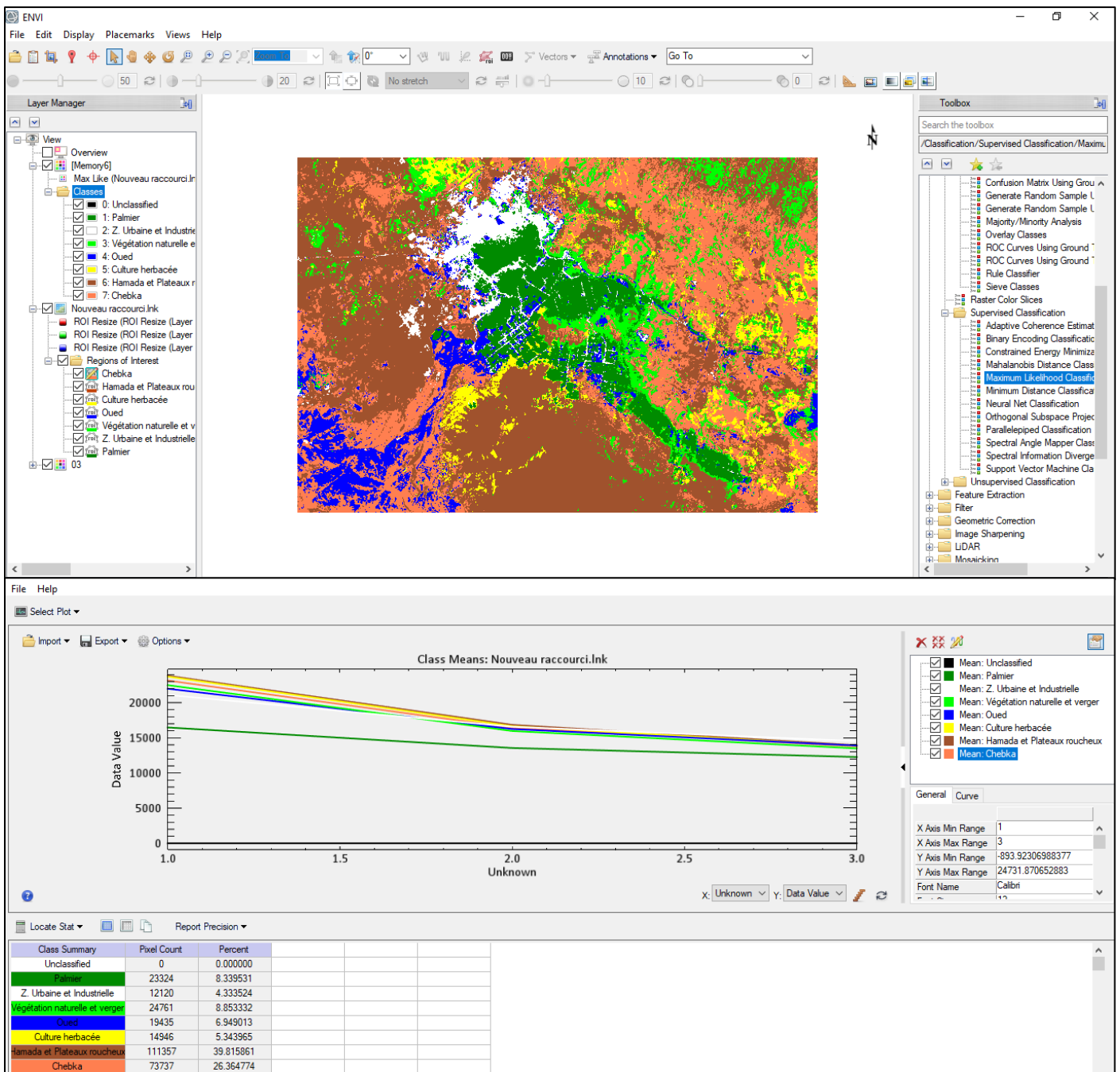


Figure 28 : Profil spectral pour l’image LANDAST de la région de Guerrara en 2021

II.2. Classification supervisée

II.2.1. Résultat de la classification

Après avoir réalisé la classification supervisée selon le maximum de vraisemblance « **Maximum Likelihood** », les images obtenues sont présentées au-dessous.

L'imagerie satellitaire LANDSAT peut convenir à la création de cartes à moyenne échelle qui fournissent une explication et une cohérence pour le phénomène étudié. Leur résolution spatiale modérée permet d'extraire les informations et données requises.

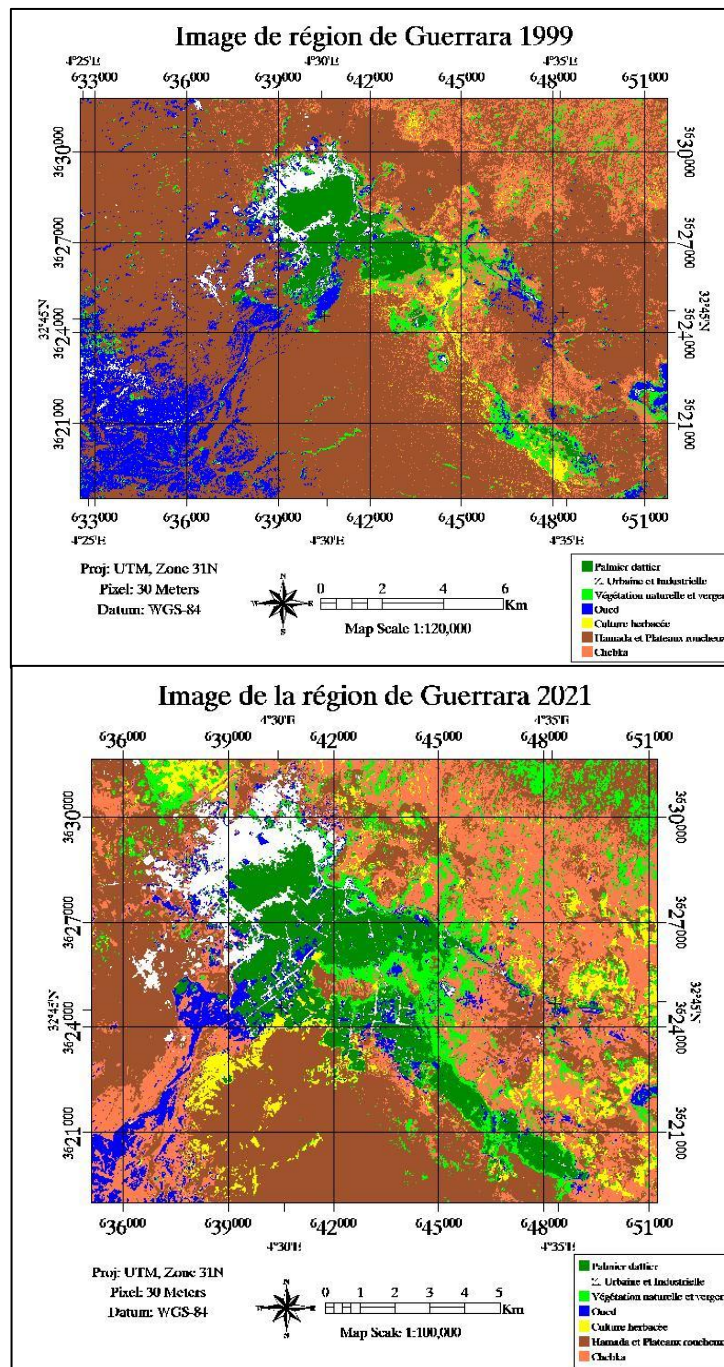


Figure 29 : Sortie des images par la classification supervisée

II.2.2. Agrégation de la classification

Cette amélioration facilite la visualisation et permet d'avoir des images sans trop de bruit, ce qui se traduit par la classification en sortie d'images écrêtées. Ils rendent l'opération d'analyse lourde à cause des petits pixels qui ne sont pas importants dans l'établissement cartographique.

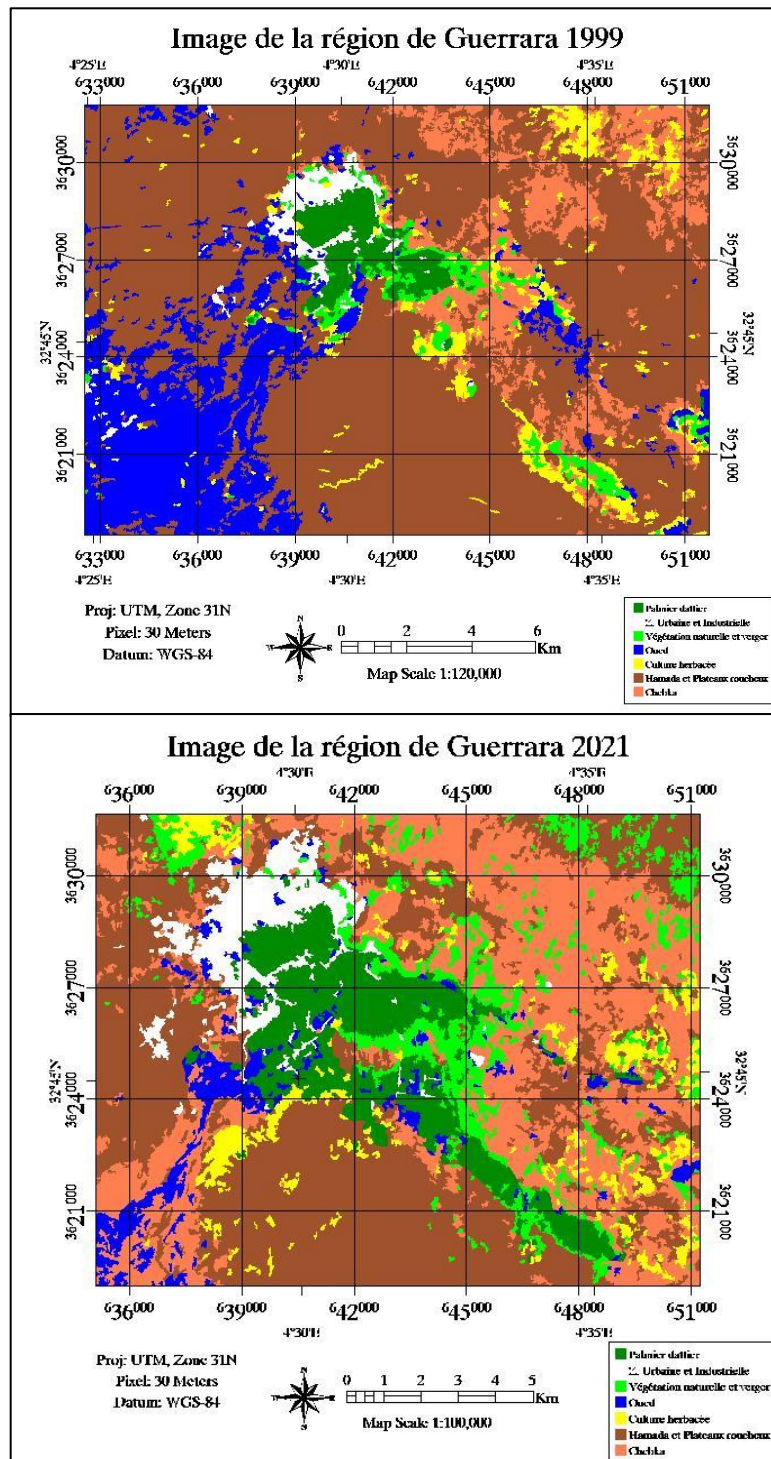


Figure 30 : Effet de l'agrégation de la classification

Le résultat est reconnu dans l'image ci-dessus, après avoir combiné les petits pixels uniques avec les petits pixels qui composent la zone d'intérêt proche.

II.2.3. Résultat d'examen de la classification

II.2.3.1. Matrice de confusion et Coefficient de Kappa

La matrice de confusion ci-dessous nous permet d'évaluer la qualité statistique de la région d'intérêt réalisée, notre objectif est de quantifier les pixels de la classe de référence dans la même classe qui ont été touchés, donc les valeurs qui composent la diagonale dans la matrice sont bien classés.

Tableau 14 : Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l'image 1999 (pixels)

Pixels affectés classification	Pixels de référence (terrain)										
	Les classes	Palmier dattier	Zone Urbain et Industriel	Végétation naturelle et Verger	Oued	Culture herbacée	Plateaux rocheux	Chebka	Total	Précision pour le réalisateur %	Erreur de déficit %
	Palmier dattier	9333	740	2704	68	75	29	177	13126	71	29
	Zone Urbain et Industriel	153	4086	374	1215	16	118	14	5976	68	32
	Végétation naturelle et Verger	74	107	1892	1078	5956	1626	2402	13135	14	86
	Oued	59	752	1067	24717	828	863	71	28357	87	3
	Culture herbacée	3	0	25	0	81	2242	2218	4569	2	98
	Plateaux rocheux	4	56	74	17559	2950	157761	3162	181566	87	13
	Chebka	41	15	738	79	2698	11189	20751	35511	58	42
	Total	9667	5756	6874	44716	12604	173828	28795	282240		
Précision pour le réalisateur %	97	71	28	55	1	9	72				
Erreur de déficit %	3	29	72	45	99	91	28				

Les valeurs bien classées (correctes) : 9333+ 4086+ 1892+ 24717+ 81+ 157761+ 20751= **218621**.

Le totale des valeurs : **282240**.

Précision globale : **77%**.

On la précision globale qui égale 77 % (rapport du nombre de pixels bien classés sur le nombre total de pixels), Dans notre exemple la précision globale = 218621/282240= **77%**, et le coefficient de Kappa = **0.6054**. La précision globale (**Overall Accuracy**) est moyenne car elleest 77 % (coefficient Kappa = 61%).

Tableau 15 : Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l’image 1999

		Pixels de référence (terrain)						
Pixels affectés classification	Les classes	Palmier dattier	Zone Urbain et Industriel	Végétation naturelle et Verger	Oued	Culture herbacée	Plateaux rocheux	Chebka
	Palmier dattier	96,54	12,86	39,34	0,15	0,6	0,02	0,61
	Zone Urbain et Industriel	1,58	70,99	5,44	2,72	0,13	0,07	0,05
	Végétation naturelle et Verger	0,77	1,86	27,52	2,41	47,25	0,94	8,34
	Oued	0,61	13,06	15,52	55,28	6,57	0,5	0,25
	Culture herbacée	0,03	0	0,36	0	0,64	1,29	7,7
	Plateaux rocheux	0,04	0,97	1,08	39,27	23,41	90,76	10,98
	Chebka	0,42	0,26	10,74	0,18	21,41	6,44	72,06

➤ **Interprétation :**

1. 9333 pixels sont correctement classes comme Palmier dattier d’un total de 9667 pixels
2. 4086 pixels sont correctement classes comme Z. Urbain et Industriel d’un total de 5756 pixels
3. 1892 pixels sont correctement classes comme Végétation naturelle et Verger d’un total de 6874 pixels
4. 24717 pixels sont correctement classes comme Oued d’un total de 44716 pixels

5. 81 pixels sont correctement classes comme Culture herbacée d'un total de 12604 pixels
6. 157761 pixels sont correctement classes comme Plateaux rocheux d'un total de 173828 pixels
7. 20751 pixels sont correctement classes comme Chebka d'un total de 28795 pixels

L'évaluation de la matrice de confusion nous donne des observations sur les confusions entre classes :

Tableau 16 : Table de faible et forte confusion pour l'image de la région de Guerrara 1999

Faibles confusions (0.02-5,44 %)	Fortes confusions (6.44- 47,25 %)
<ul style="list-style-type: none"> • Palmier dattier / Oued • Palmier dattier / Culture herbacée • Palmier dattier / Plateaux rocheux • Palmier dattier / Chebka • Z. Urbain et Industriel / Palmier dattier • Z. Urbain et Industriel / Oued • Z. Urbain et Industriel / Culture herbacée • Z. Urbain et Industriel / Plateaux rocheux • Z. Urbain et Industriel / Chebka • Végétation naturelle et Verger / Palmier dattier • Végétation naturelle et Verger / Z. Urbain et Industriel • Végétation naturelle et Verger / Oued • Végétation naturelle et Verger / Plateaux rocheux • Oued / Palmier dattier • Oued / Plateaux rocheux • Oued / Chebka • Culture herbacée / Palmier dattier • Culture herbacée / Végétation naturelle et Verger • Culture herbacée / Plateaux rocheux • Plateaux rocheux / Palmier dattier • Plateaux rocheux / Z. Urbain et Industriel • Plateaux rocheux / Végétation naturelle et Verger • Chebka / Palmier dattier • Chebka / Z. Urbain et Industriel • Chebka / Oued 	<ul style="list-style-type: none"> • Palmier dattier / Z. Urbain et Industriel • Palmier dattier / Végétation naturelle et Verger • Z. Urbain et Industriel / Végétation naturelle et Verger • Végétation naturelle et Verger / Culture herbacée • Végétation naturelle et Verger / Chebka • Oued / Z. Urbain et Industriel • Oued / Végétation naturelle et Verger • Oued / Culture herbacée • Culture herbacée / Chebka • Plateaux rocheux / Oued • Plateaux rocheux / Culture herbacée • Plateaux rocheux / Chebka • Chebka / Végétation naturelle et Verger • Chebka / Culture herbacée • Chebka / Plateaux rocheux

Tableau 17 : Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l’image 2021 (pixels)

Les classes		Pixels de référence (terrain)								Précision pour le réalisateur %	Erreur de déficit %
		Palmier dattier	Zone Urbain et Industriel	Végétation naturelle et Verger	Oued	Culture herbacée	Plateaux rocheux	Chebka	Total		
Palmier dattier	22379	324	298	156	59	29	15	23260	96	4	
Zone Urbain et Industriel	753	10231	96	214	11	478	112	11895	86	14	
Végétation naturelle et Verger	855	123	16205	190	621	2270	1942	22206	73	27	
Oued	732	819	383	8457	100	367	1307	12165	70	30	
Culture herbacée	253	13	359	54	9539	1616	1677	13511	71	29	
Plateaux rocheux	30	338	1109	105	671	77002	4144	83399	92	8	
Chebka	29	278	794	646	518	3241	54135	59641	91	9	
Total	25031	12126	19244	9822	11519	85003	63332	226077			
Précision pour le réalisateur %	89	84	84	86	83	91	85				
Erreur de déficit %	11	16	16	14	17	9	15				

Les valeurs bien classées (correctes) : 22379 + 10231+ 16205 + 8457 + 9539 + 77002 + 54135= **197 948**.

Le totale des valeurs : **226077**.

Précision globale : **87%**.

On la précision globale qui égale 77 % (rapport du nombre de pixels bien classés sur le nombre total de pixels), Dans notre exemple la précision globale = 197 948/226077= 87%, et le coefficient de Kappa = 0.8362. La précision globale (Overall Accuracy) est moyenne car elle est 87 % (coefficient Kappa = 83%).

Tableau 18 : Matrice de confusion réalisée pour les dix classes de l’image 2021

		Pixels de référence (terrain)						
Les classes		Palmier dattier	Zone Urbain et Industriel	Végétation naturelle et Verger	Oued	Culture herbacée	Plateaux rocheux	Chebka
Pixels affectés classification	Palmier dattier	89,41	2,67	1,55	1,59	0,51	0,03	0,02
	Zone Urbain et Industriel	3,01	84,37	0,5	2,18	0,1	0,56	0,18
	Végétation naturelle et Verger	3,42	1,01	84,21	1,93	5,39	2,67	3,07
	Oued	2,92	6,75	1,99	86,1	0,87	0,43	2,06
	Culture herbacée	1,01	0,11	1,87	0,55	82,81	1,9	2,65
	Plateaux rocheux	0,12	2,79	5,76	1,07	5,83	90,59	6,54
	Chebka	0,12	2,29	4,13	6,58	4,5	3,81	85,48

➤ **Interprétation :**

1. 22379 pixels sont correctement classes comme Palmier dattier d’un total de 25031 pixels
2. 10231 pixels sont correctement classes comme Z. Urbain et Industriel d’un total de 12126 pixels
3. 16205 pixels sont correctement classes comme Végétation naturelle et Verger d’un total de 19244 pixels
4. 8457 pixels sont correctement classes comme Oued d’un total de 9822 pixels
5. 9539 pixels sont correctement classes comme Culture herbacée d’un total de 11519 pixels
6. 77002 pixels sont correctement classes comme Plateaux rocheux d’un total de 85003 pixels
7. 54135 pixels sont correctement classes comme Chebka d’un total de 63332 pixels

Tableau 19 : Table de faible et forte confusion pour l'image de la région de Guerrara 2021

Faibles confusions (0.02 – 4.5 %)	Fortes confusions (5.39 – 6.75 %)
<ul style="list-style-type: none"> • Palmier dattier / Z. Urbain et Industriel • Palmier dattier / Végétation naturelle et Verger • Palmier dattier / Oued • Palmier dattier / Culture herbacée • Palmier dattier / Plateaux rocheux • Palmier dattier / Chebka • Z. Urbain et Industriel / Palmier dattier • Z. Urbain et Industriel / Végétation naturelle et Verger • Z. Urbain et Industriel / Oued • Z. Urbain et Industriel / Culture herbacée • Z. Urbain et Industriel / Plateaux rocheux • Z. Urbain et Industriel / Chebka • Végétation naturelle et Verger / Palmier dattier • Végétation naturelle et Verger / Z. Urbain et Industriel • Végétation naturelle et Verger / Oued • Végétation naturelle et Verger / Plateaux rocheux • Végétation naturelle et Verger / Chebka • Oued / Palmier dattier • Oued / Végétation naturelle et Verger • Oued / Culture herbacée • Oued / Plateaux rocheux • Oued / Chebka • Culture herbacée / Palmier dattier • Culture herbacée / Z. Urbain et Industriel • Culture herbacée / Végétation naturelle et Verger • Culture herbacée / Oued • Culture herbacée / Plateaux rocheux • Culture herbacée / Chebka • Plateaux rocheux / Palmier dattier • Plateaux rocheux / Z. Urbain et Industriel • Plateaux rocheux / Oued • Chebka / Palmier dattier • Chebka / Z. Urbain et Industriel • Chebka / Végétation naturelle et Verger • Chebka / Culture herbacée • Chebka / Plateaux rocheux 	<ul style="list-style-type: none"> • Végétation naturelle et Verger / Culture herbacée • Oued / Z. Urbain et Industriel • Plateaux rocheux / Végétation naturelle et Verger • Plateaux rocheux / Culture herbacée • Plateaux rocheux / Chebka • Chebka / Oued

II.2.4. Indice « NDVI » calculé

L'indice "NDVI" prend en compte la densité du couvert végétal dans la région d'étude, qui affecte les valeurs élevées (gris clair), et au contraire, les zones de sol nu avec des valeurs quasi nulles (noir).

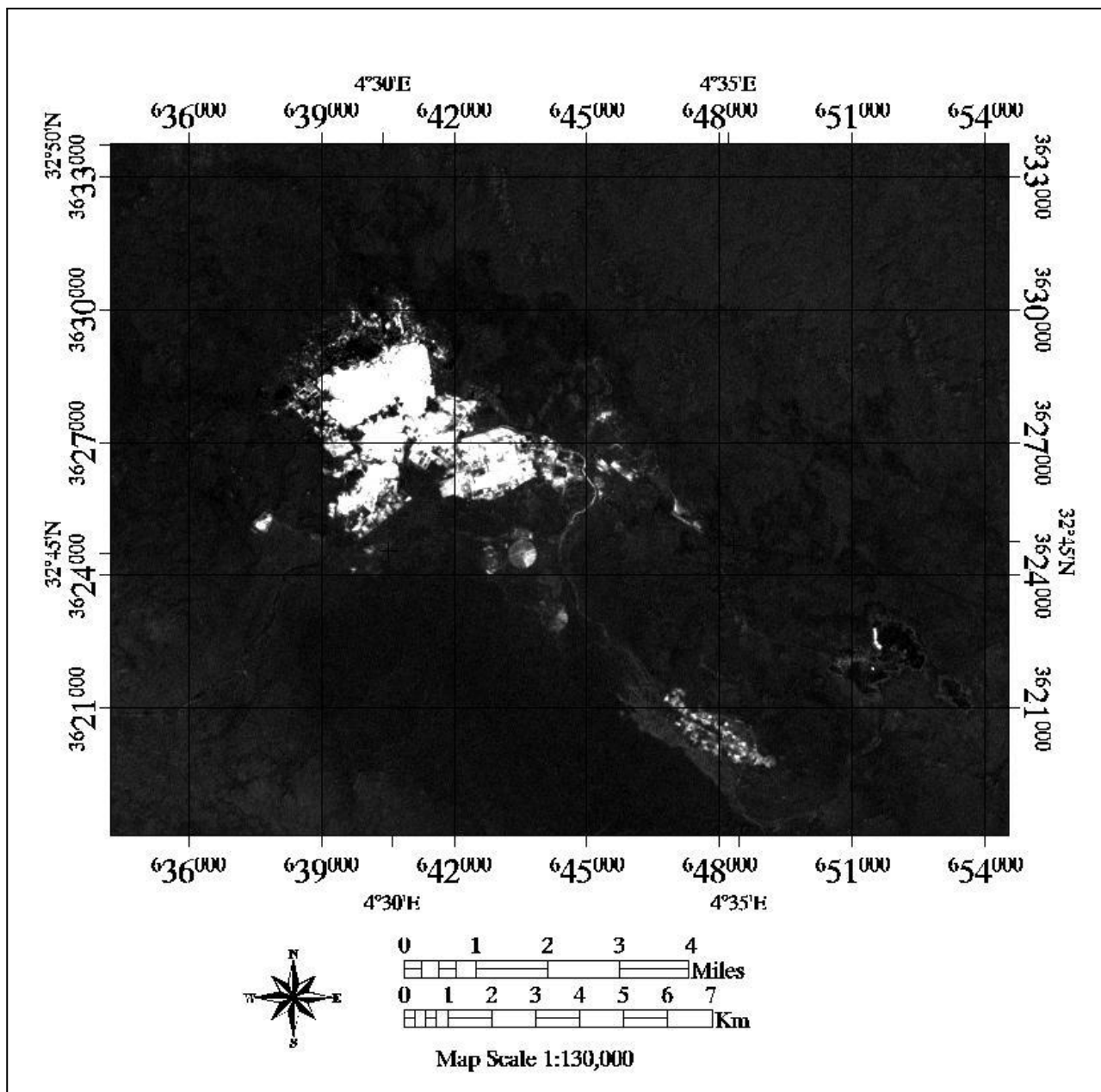


Figure 31 : Indice de végétation « NDVI » sur l'image de la région de Guerrara 1999

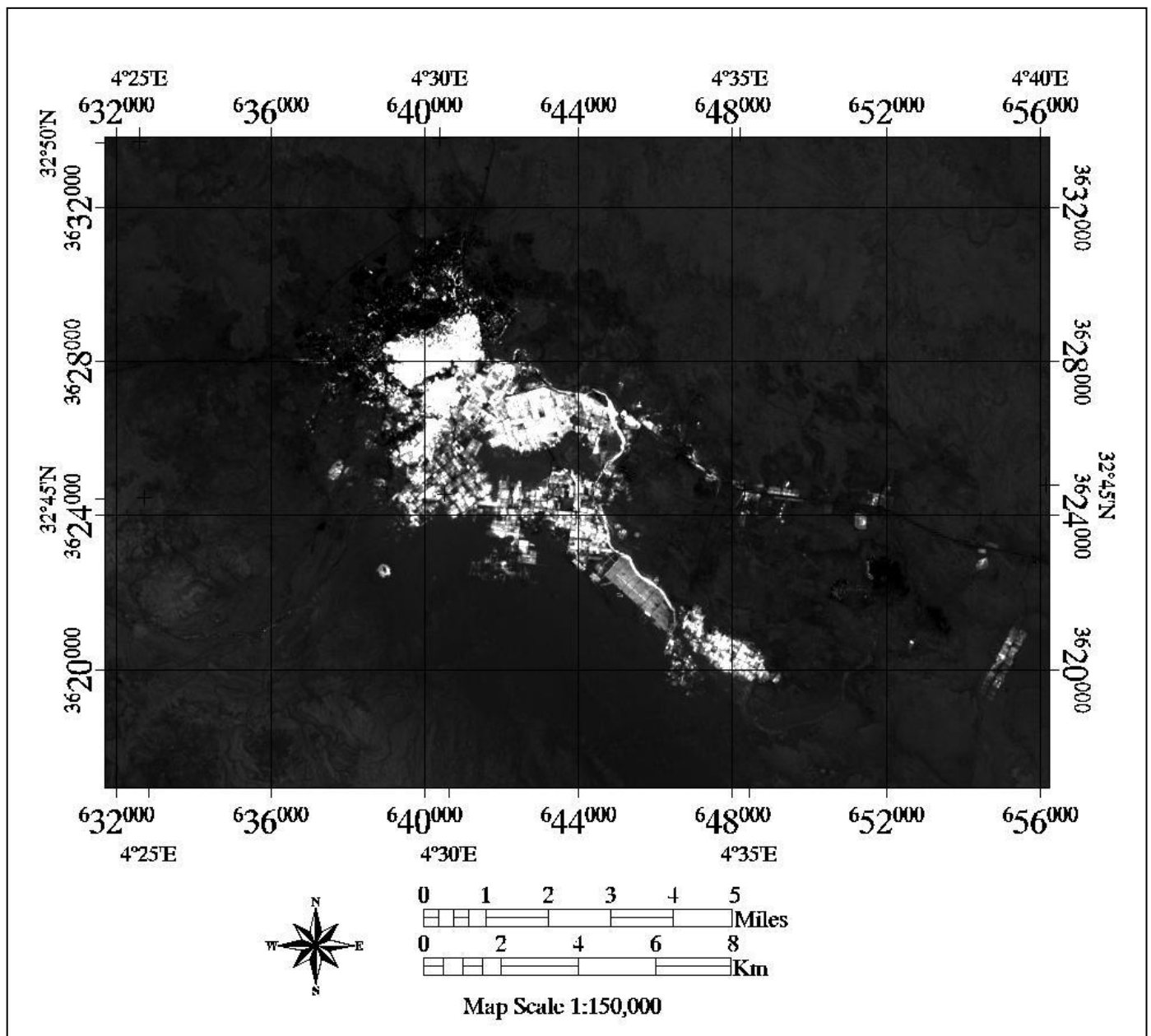


Figure 32 : Indice de végétation « NDVI » sur l'image de la région de Guerrara 2021

La lecture des images nous donne des informations comme :

- ❖ Des bonnes valeurs de l'indice « NDVI » pour le couvert végétal dense, qui est en relation aux palmiers dattier localisé dans le système oasien de la région de Guerrara.
- ❖ Des moyennes valeurs de l'indice « NDVI » pour le couvert végétal clairsemé, qui correspond à la végétation naturelle et verger et la végétation herbacée.
- ❖ Faibles valeurs de l'indice « NDVI » pour le reste, qui correspond à l'urbaine et zone industrielle et le plateau rocheux.

L'indice « NDVI » de l'année 2021 à un degré de végétation de la région d'étude bon et élevé en comparaison avec l'image 1999.

Les informations statistiques pour l’histogramme de l’indice « NDVI » de la région d’étude :

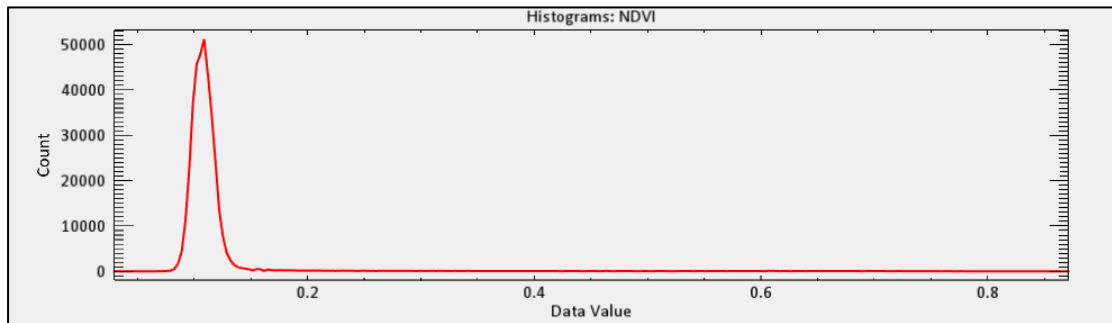


Figure 33 : Histogramme « NDVI » 1999

Tableau 20 : Statistique de l’indice « NDVI » de l’image de la région de Guerrara 1999

	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Bande 1 NDVI Image 1999	0.029	0.871	0.122	0.07

Le tableau 20, au-dessus montre un résumé sur les valeurs de l’indice « NDVI » pour l’image de la région de Guerrara en 1999.

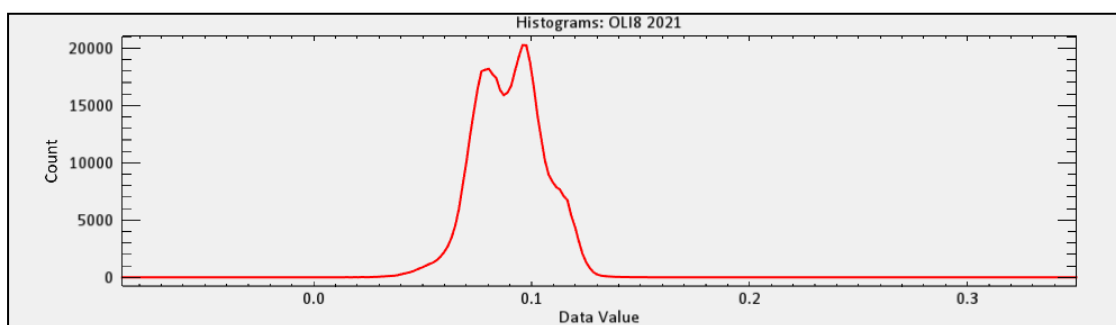


Figure 34 : Histogramme « NDVI » 2021

Tableau 21 : Statistique de l’indice « NDVI » de l’image de la région de Guerrara 2021

	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Bande 1 NDVI Image 1999	-0.088	0.35	0.091	0.016

Le tableau ci-dessus présente à nouveau un récapitulatif des valeurs de l’indice "NDVI" pour l’imagerie de la région de Guerrara en 2021.

L’indice « NDVI » est calculé par le logiciel ENVI version 5.3, nous résumons donc les résultats pour les deux périodes 1999 et 2021 dans le tableau ci-dessous.

Tableau 22 : Récapitulatif de l'indice « NDVI »

Année	Résultat
1999	0.02 — 0.87
2021	-0.08 — 0.35

Enfin, une représentation simple avec quelques détails est importante pour se référer à la plage de densité graduée des valeurs NDVI pour la rendre facile à comprendre.

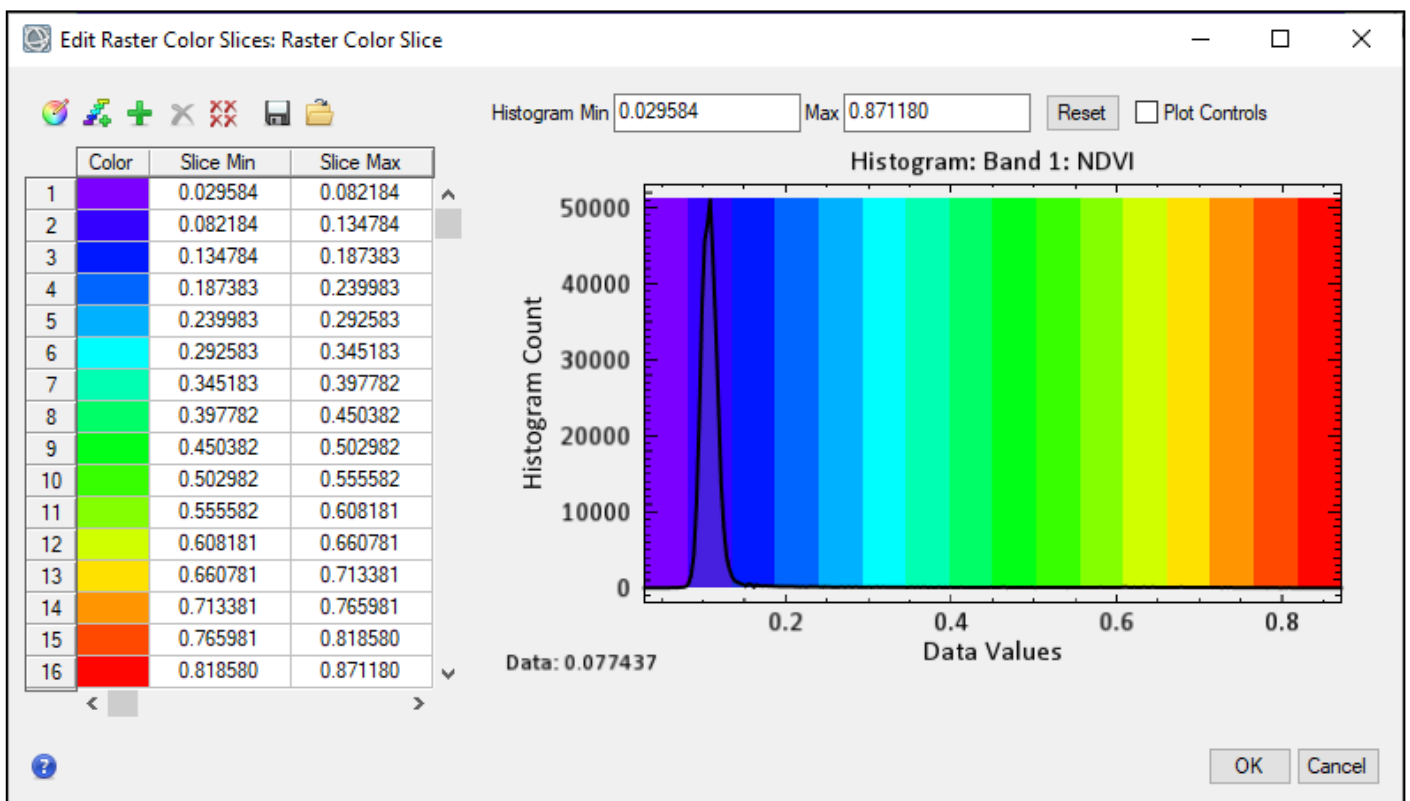


Figure 35 : Plage de graduant de tranche des valeurs de l'indice de végétation (image 1999)

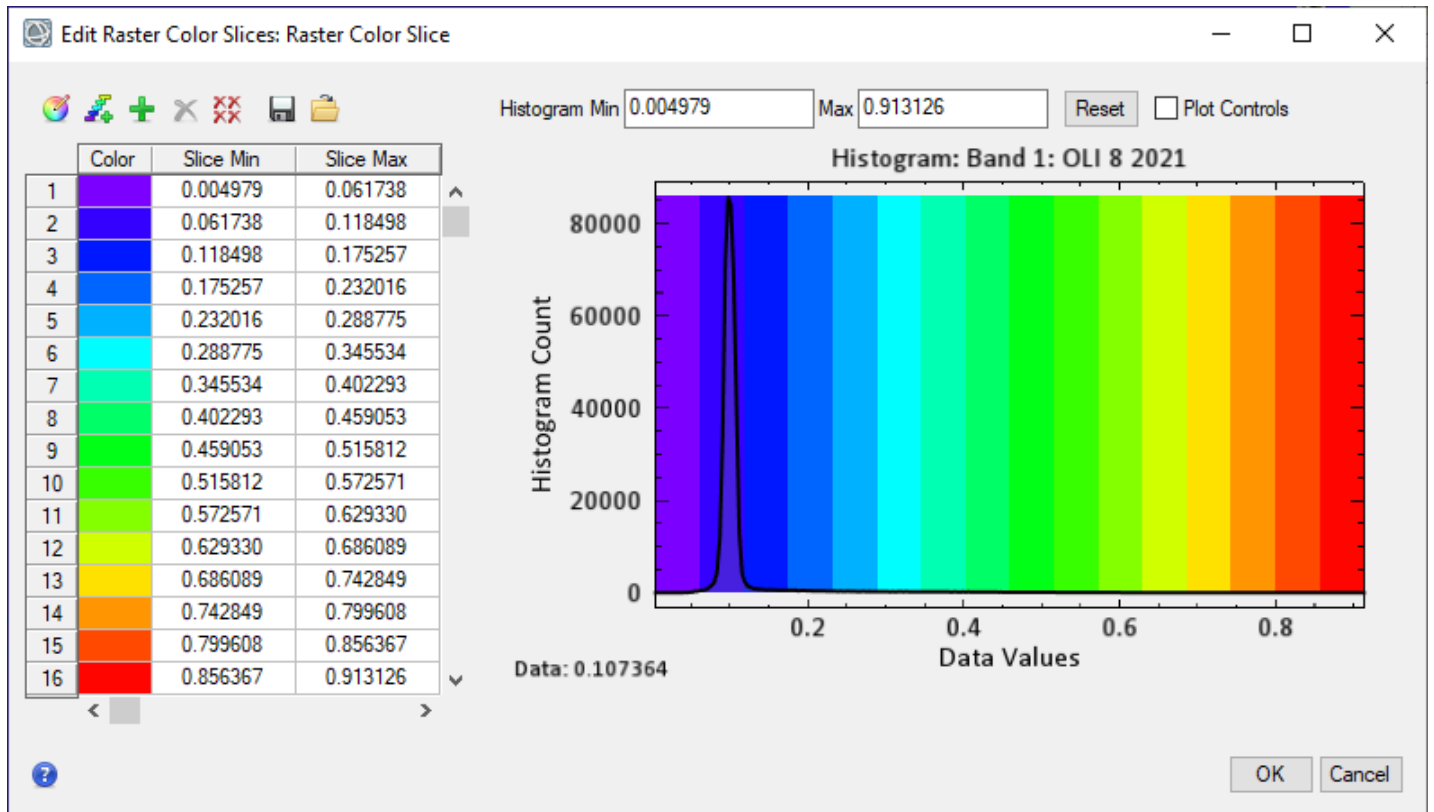


Figure 36 : Plage de graduant de tranche des valeurs de l'indice de végétation (image 2021)

Ces échelles de couleurs graduées sont attribuées à l'indice de végétation NDVI et incluent toutes les valeurs comprises dans l'intervalle -1 et +1, allant du bleu clair au brun foncé. Les palmiers dattiers sains et dansants et la végétation occupent les meilleures valeurs pour l'indice NDVI en brun foncé. Parce que cette couleur se dégrade en bleu vif fera référence à la végétation clairsemée. La simulation de la classification des tuiles de densité sur l'indice de végétation NDVI a abouti à la sortie représentée cartographiquement suivante (Figure 33 ; Tableau 20 ; 21).

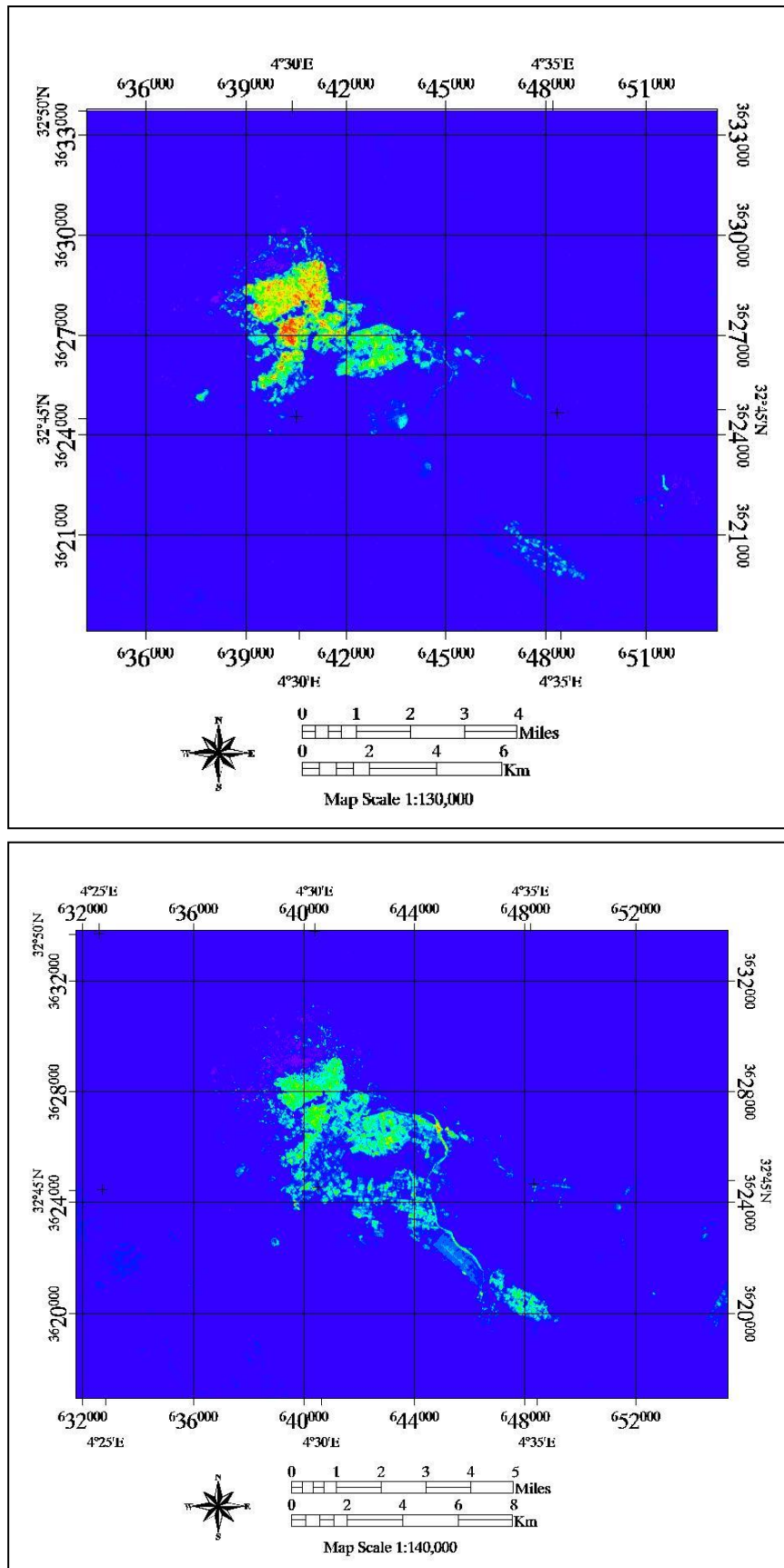


Figure 37 : Image NDVI (image 1999 et image 2021)

Tableau 23 : Résultat de tranche de densité (**densty silice**) de l'image 1999

Classe	NDVI	Total pixels	Classe NDVI %
1	0.029584 to 0.082184	396	0.106064
2	0.082184 to 0.134784	351981	94.273891
3	0.134784 to 0.187383	7484	2.004500
4	0.187383 to 0.239983	2474	0.662631
5	0.239983 to 0.292583	1644	0.440326
6	0.292583 to 0.345183	1407	0.376848
7	0.345183 to 0.397782	1143	0.306139
8	0.397782 to 0.450382	974	0.260874
9	0.450382 to 0.502982	933	0.249893
10	0.502982 to 0.555582	901	0.241322
11	0.555582 to 0.608181	983	0.263285
12	0.608181 to 0.660781	1078	0.288729
13	0.660781 to 0.713381	996	0.266767
14	0.713381 to 0.765981	661	0.177041
15	0.765981 to 0.81858	267	0.071513
16	0.81858 to 0.87118	37	0.009910
	Total	373359	100 %

Tableau 24 : Résultat de tranche de densité (**densty silice**) de l'image 2021

Classe	NDVI	Total pixels	Classe NDVI %
1	0.004979 to 0.061738	835	0.181311
2	0.061738 to 0.118498	423522	91.963243
3	0.118498 to 0.175257	13586	2.950054
4	0.175257 to 0.232016	6909	1.500215
5	0.232016 to 0.288775	4497	0.976475
6	0.288775 to 0.345534	3436	0.746090
7	0.345534 to 0.402293	2888	0.627098
8	0.402293 to 0.459053	2120	0.460335
9	0.459053 to 0.515812	1350	0.293138
10	0.515812 to 0.572571	850	0.184568
11	0.572571 to 0.62933	356	0.077302
12	0.62933 to 0.686089	116	0.025188
13	0.686089 to 0.742849	43	0.009337
14	0.742849 to 0.799608	13	0.002823
15	0.799608 to 0.856367	3	0.000651
16	0.856367 to 0.913126	2	0.000434
	Total	460526	100%

II.3. Détection des changements

Les cartes d'occupation de la végétation qui en résultent permettent de décrire des entités ou des composants de la zone étudiée, d'extraire ainsi des informations sur l'évolution spatio-temporelle et d'analyser les changements détectés.

Cette étape a été effectuée à l'aide de l'outil Change Detection Statistics dans le panneau Change Detection de la Toolbox (Envi v 5.3), (Tableaux 22 ; 23), (Figures 32 ; 33).

Le tableau ci-dessous rassemble des informations sur le nombre et le pourcentage de pixels pour chaque catégorie par rapport aux autres, voire la surface (m²) de la zone d'étude pour les deux dates, puis tire des conclusions sur les augmentations ou les diminutions.

L'analyse des résultats a conduit à l'énoncé suivant :

Tableau 25 : Répartition spatiale des classes de l'image 1999

Classe	Nombre de pixels	Nombre de pixels %	Superficie (km ²)	Superficie (Ha)	Superficie (%)
Palmier dattier	9667	3	8,70	870	3
Z. Urbaine et Industrielle	5756	2	5,18	518	2
Végétation naturelle et verger	6874	2	6,19	619	2
Oued	44716	16	40,24	4024	16
Culture herbacée	12604	4	11,34	1134	4
Hamada et Plateaux rocheux	173828	62	156,45	15645	62
Chebka	28795	10	25,92	2592	10
Total	282240	100	254,01	25401	100

Tableau 26 : Répartition spatiale des classes de l'image 2021

Classe	Nombre depixels	nombrede pixels %	Superficie (km ²)	Superficie (Ha)	Superficie (%)
Palmier dattier	25031	11	22.53	2253	11
Z. Urbaine et Industrielle	12126	5	10.91	1091	5
Végétation naturelle et verger	19244	9	17.32	1732	9
Oued	9822	4	8.84	884	4
Culture herbacée	11519	5	10.37	1037	5
Hamada et Plateaux rocheux	85003	38	76.50	7650	38
Chebka	63332	28	57	5700	28
Total	226077	100	203.47	20347	100

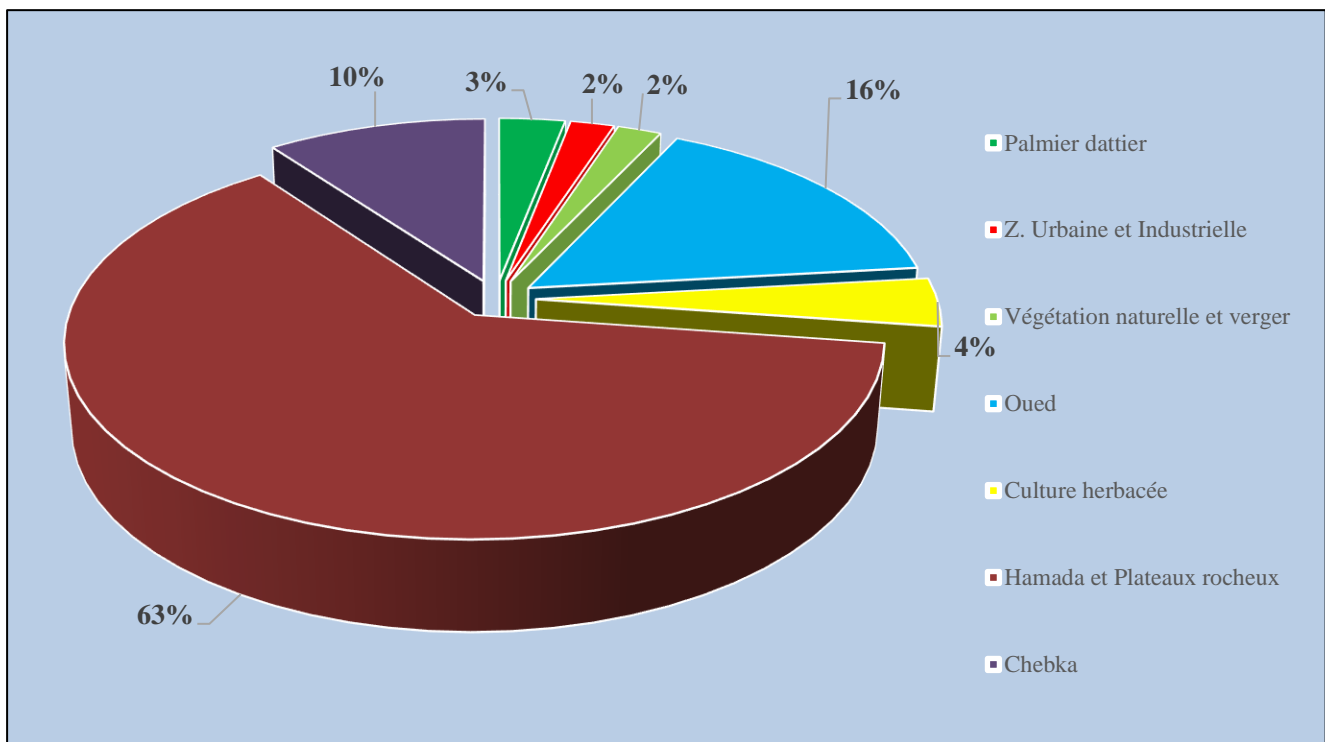


Figure 38 : Répartition spatiale des surfaces de l'image 1999

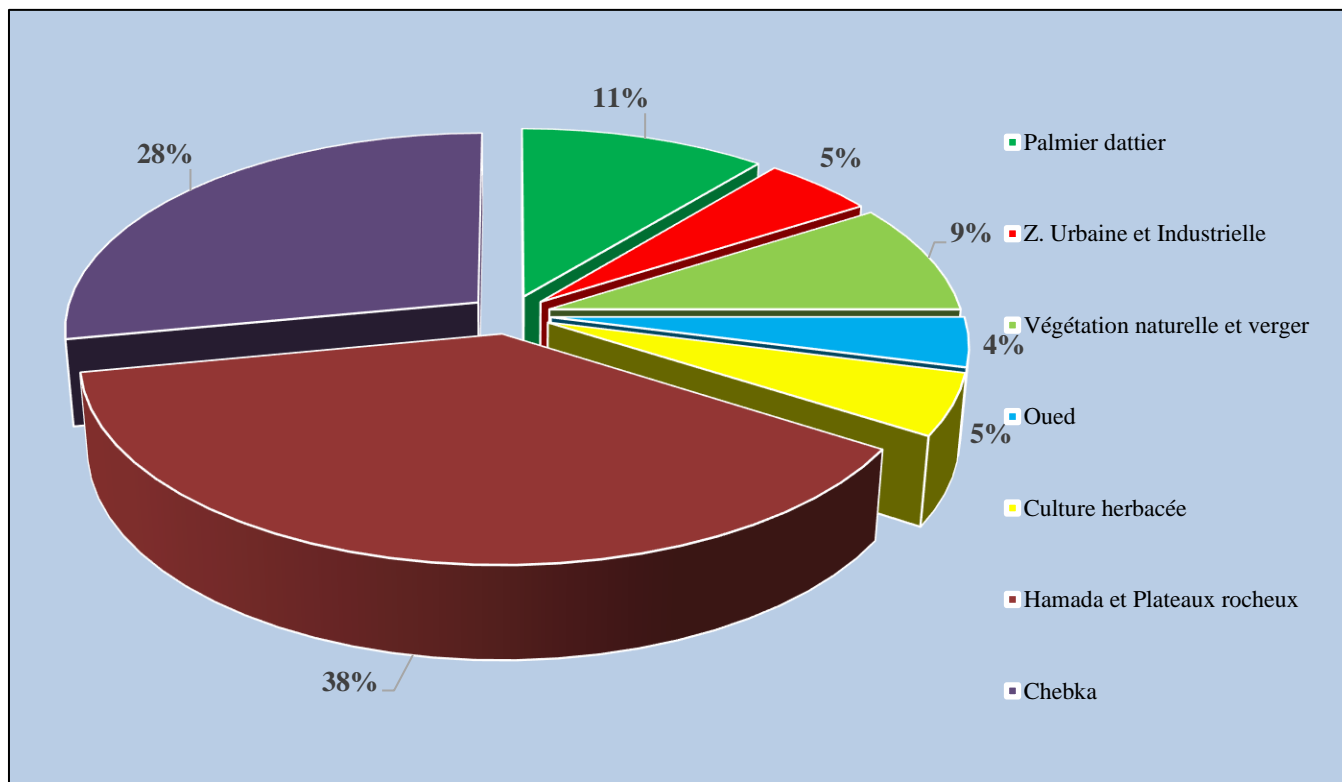


Figure 39 : Répartition spatiale des surfaces de l'image 2021

Tableau 27 : Changements détectés entre 1999 et 2021

Classe	Superficie (km ²)	Superficie (Ha)	L'évolution (%)
Palmier dattier	13.83	1383	61
Z. Urbaine et Industrielle	5.73	573	53
Végétation naturelle et verger	11.13	1113	64
Oued	-31.4	-3140	-355
Culture herbacée	-0.97	-97	-09
Hamada et Plateaux rocheux	-79.95	-7995	-105
Chebka	31.08	3108	55

Nous avons des changements dramatiques dans les terres et les catégories (Tableau 24), ce qui est le but de ce travail, donc dans cette section, nous allons analyser et évaluer l'évolution spatiale et temporelle des différentes entités du système oasien dans la région de Guerrara, et tenter de fournir Trouver des explications fiables à ces changements.

Les descriptions détaillées dans le tableau 27 et les figures 37 et 38 décrivent :

- ❖ La superficie du palmier et de la chebka a sensiblement augmenté entre 1999 et 2021. La superficie de palmier a augmenté de 13,83 km² et la chebka a également augmenté de 31,08 km² soit 61 et 55 % respectivement.
- ❖ La végétation naturelle et les vergers sont connus pour leur évolution remarquablement apparente, qui occupe une surface importante par l'extension du territoire désertique, en ce qui concerne les précipitations, même en l'absence d'impact direct sur le couvert végétal naturel des pâturages, cette évolution est de 11,13 km² ou 64 %.
- ❖ Au niveau de la zone urbaine et industrielle, la superficie a augmenté de manière significative, dépassant 5,73 km² soit 53 %
- ❖ Les composantes fortement dégradées qui varient entre 0,97 et 79,95 km² sont la Culture herbacée (maraîchage) et l'Oued, mais aussi la Hamada et le Plateau Rocheux, avec des pourcentages allant de -09 à -335 %.

L'état des composantes de l'image à l'échelle brute en 1999 n'est guère similaire à celui de 2021, l'évolution pouvant être identifiée par la progression ou la régression de ces composantes.

➤ Discussion

Avoir une bonne interprétation de nos résultats et être en mesure d'analyser les progrès et les régressions concernant les composantes de l'étude dans la région de Guerrara et de mettre en relation les facteurs physiques ou humains et les causes de tous ces changements.

Les commentaires et observations à l'examen du tableau et des figures ci-dessus sont représentatifs des phénomènes évolutifs de la surface de composition de la scène du système oasien dans la région de Guerrara pour les dates 1999 et 2021.

La région de Guerrara a connu un net changement qui s'est manifesté dans l'augmentation notable du nombre de palmiers, où le nombre de palmiers dans les années 90 était de 119 000 arbres (dont 100 000 dans l'ancienne oasis), et après l'an 2000, le nombre est devenu environ 230 510 palmiers selon les statistiques fournies par la sous-section agricole du département de Guerrara, surtout après la promulgation de la loi de soutien agricole de 2004,

qui encourageait la population à cultiver des palmiers et d'autres types de plantes, et cela a été noté à travers le résultats de l'étude entre 1999 et 2021.

Le soutien agricole fixé par la Direction des Intérêts Agricoles de l'Etat de Ghardaïa en 2004, qui est l'une des principales raisons ayant conduit à l'augmentation notable du nombre de palmiers (119 000 avant la subvention et 230 510 après la subvention) et il comprenait deux aspects :

- **Soutien financier** : qui est fourni à chaque éleveur de 1200 DA sur chaque palmier dattier pendant un an.
- **Appui technique** : qui est programmé pour les agriculteurs, formations sur les techniques de culture, suivi et traitement des palmiers dans l'oasis.

En outre, l'une des raisons les plus importantes qui ont fait augmenter davantage la superficie de l'oasis est la stratégie stricte mise en place par la municipalité pour contrôler et diriger l'urbanisation dans la direction opposée à l'oasis, ainsi que pour restreindre la construction dans l'ancienne oasis et ne pas fournir de licence pour construire de grands projets au sein de l'oasis qui l'affectent à l'avenir.

Creuser des puits artésiens afin d'économiser l'eau, qui est l'élément principal de la prospérité de l'agriculture dans toute région, ainsi que donner la plus grande importance au suivi périodique des eaux souterraines (analyses, surveillance des sources de pollution ... etc.), notamment après mélange avec les eaux usées et apparition de traces à l'intérieur des puits traditionnels.

Nous notons également l'augmentation significative des zones urbaines et cela est dû à la croissance démographique continue de la population, qui doit être constamment surveillée par les intérêts de la municipalité pour éviter l'empiètement du ciment sur l'oasis à l'avenir.

Contraintes et restrictions sur la conduite des travaux

- ❖ Fournit une résolution spatiale moyenne d'au moins 30 mètres.
- ❖ Le matériel et l'équipement sont limités.
- ❖ Il faut beaucoup de temps pour obtenir et collecter les informations nécessaires.
- ❖ Complexité du traitement des images.

Réflexions sur la protection du système oasisien dans la région de Guerrara

- ✓ La municipalité continue d'encourager et de soutenir les agriculteurs de l'ancienne oasis et de développer des projets qui contribuent à augmenter la superficie du couvert végétal, en particulier les palmiers.
- ✓ Promulguer des lois réglementant l'exploitation de l'oasis en termes d'agriculture, de

construction, de forage de puits...etc.

- ✓ Restauration d'anciens puits, épuration de ceux pollués, et mise en place d'un service spécial de suivi périodique de l'état des nappes phréatiques (réalisation d'analyses, recherche de sources polluées...etc.)
- ✓ Sensibilisation continue de la population sur l'importance de l'oasis dans la région et la nécessité de la préserver à travers l'organisation de campagnes de volontariat (en nettoyage de l'oasis et des ruisseaux des vallées, plantation de palmiers...etc.) ainsi qu'à travers des médias sociaux.
- ✓ Une communication régulière avec les agriculteurs en créant leurs propres bureaux de conseil pour les guider dans la résolution de leurs problèmes.
- ✓ Mise en place d'une politique de développement durable et de vastes programmes d'investissements pour valoriser les activités environnementales locales.

➤ **Conclusion**

Le système oasien dans la région de Guerrara s'est considérablement développé par rapport aux années précédentes, comme le montre l'étude. L'une des raisons importantes en est la loi sur la bonification des terres promulguée par la municipalité en 2004.

Pour la mise en valeur du paysage de la région de Guerrara avec des scènes de résolution moyenne, notamment à l'aide d'images satellitaires LANDSAT 7 ETM+ et 8 OLI, nous avons besoin d'outils informatiques sophistiqués dans ce domaine. L'écologie, parce qu'elle nous donne des résultats fiables avec une incertitude négligeable, chacun se soucie davantage de la préservation de l'univers et, si nécessaire, de sa protection contre les catastrophes d'origine humaine ou naturelle.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Au terme de ce travail, l'imagerie satellitaire, notamment l'exemple librement accessible au public, la scène LANDSAT, constitue une source énorme pour beaucoup, notamment les collégiens, du fait de leur facilité d'acquisition, de leur résolution acceptable, des traitements appliqués. Les niveaux forment une solide base, que ce soit pour accéder en temps réel à l'information ou pour réaliser des cartes de la végétation ou de l'occupation des sols à des endroits soigneusement choisis. Permet enfin l'analyse et l'interprétation de l'évolution des phénomènes dans le temps ou l'espace ou l'espace-temps.

L'objectif principal du travail que nous avons abordé au début de cette étude est le changement et la transformation majeurs des palmiers dattiers et des autres composants qui composent le système oasien à Guerrara. Cela se fait en appliquant une méthode scientifique, la télédétection, basée sur une comparaison d'images prises en 1999 et 2021, traitées sous le logiciel envi 5.3 et une classification supervisée, et en calculant l'indice de végétation "NDVI" pour en déduire les facteurs qui provoquent des changements d'état.

Des usages précédemment décrits dans cette étude, elle nous fournit l'état actuel d'occupation de la végétation et un aperçu des changements qui se sont produits et de leur impact sur notre système oasien. Nous avons donc examiné les états et compris les raisons des changements dans les états humains et naturels.

En dépit de l'énorme évolution démographique témoigne la commune de Guerrara récemment, il n'a pas un effet négatif sur l'augmentation du nombre de palmiers en particulier ou d'autres espèces en général, comme il est souvent le contraire, cela est dû au développement de l'urbanisation du côté nord de la ville, où il y a des endroits appropriés pour la construction, et aussi en raison du soutien matériel et technique fournie par l'Etat aux agriculteurs, il a joué un rôle très important dans la préservation des palmiers et des forêts et encourager l'investissement.

Enfin, il garantit les perspectives que la municipalité cherche à l'avenir pour préserver le système oasien en encourageant la culture des palmiers, ainsi qu'une bonne orientation pour l'urbanisation hors de l'oasis, et ce sont les mesures les plus importantes qu'elle cherche à mettre en œuvre.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

ABDED O M. Modélisation et représentation multi-échelle de données localisées. Mémoire de magister : technique spatiale et applications. Oran : Centre National Des Techniques Spatiales, 2002, 100p.

ABDELLAOUI A. Aupelf Uref, *Changements globaux et désertification*, précis de télédétection, volume 02, 1996, 535-569 pp.

ALBOODY A., Réception des données spatiales et leurs traitements : Analyse d'images satellites pour la mise à jour des SIG par enrichissement du système de raisonnement spatial RCC8, université de Toulouse. Thèse de Doctorat, 25/03/2011, pp 5.

ASSOCIATION POUR LA SAUVEGARDE DU PATRIMOINE DE GUERRARA (A.S.P.G)., 2021.

AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (ANRH) et ALGERIENNE DES EAUX (ADE) de Ghardaïa., « Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la ville de Guerarra », 2007.

BUELGUEDJ M. Evaluation du sous-secteur des dattes en Algérie. INRAA El-Harrach, 2007.

BENKENZOU D. CHEGMA S. MERAKCHI F. ZIDANE B. Monographie de la wilaya de Ghardaïa, Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (D.P.A.T.), 2006, 122 p.

BONN F. ROCHON G. Aupelf, Principes et méthodes, précis de télédétection. Volume 01, 1996.

BAIT A., CHETTOUH C., GUESMIA S.: Possibilités de développement de la palmeraie de Guerrara. Tom.I Mémoire Ing., I.T.A., Mostaganem, 1977, 82 p.

CHEHMA A. Etude floristique et nutritive des parcours camelins du sahara septentrional algérien cas des régions d'Ouargla et Ghardaïa. Thèse de doctorat : biologie appliquée, Annaba : Université BADJI-MOKHTAR, 2005, 198p.

CHEHMA A. Le Saharien Algérie, situation et défis. Laboratoire de Bio ressources sahariennes. Préservation et valorisation. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 2011, 8p.

COMMISSARIAT AU DEVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE DANS LES REGION SAHARIENNES (C.D.A.R.S.). Etude du réseau d'irrigation du périmètre Daya Benfelah (commune de Guerrara, Wilaya de Ghardaïa). C.D.A.R.S Ouargla. 1999, 34 p.

DEMANGEOT J. Les milieux naturels désertiques, 2^{ème} édition, Paris : Jouve, 1981, 250p.

Références bibliographiques

DIRECTION DE PLANIFICATION D'AMENAGEMENT DES TERRITOIRES (D.P.A.T). Atlas de Ghardaïa, 2005, 132 p.

DIRECTION DES SERVICES AGRICOLES GUERRARA. Evolution de la culture de la datte, 1999.

DERDJINI H., Cartographie des changements de l'occupation du sol dans la plaine de la mitidja à partir des images landsat, école nationale supérieure d'hydraulique-Arbaoui Abdellah. Thèse de Master, Avril /2017 pp 34, 35, 40.

DUBIEF J. : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 1953, 457p.

DJILI B. 2004. Etude des sols alluviaux en zones arides. Cas de la Dayat d'El-Amide (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Thèse de magistère university d'Ouargla.

EUROPEAN SPACE AGENCY
LS07_RNSG_ETM_GTC_1P_19991130T101301_19991130T101329_003332_0195_0037_4
8

FIFATI A., Typologie et caractérisation de la qualité des aquifères d'une zone aride Cas de la région de Guerrara (Ghardaïa), mémoire magistère, Université de Tébessa, 2012.

GASQUET N. ENNIH J. LIEGEOIS A. SOULAIMANI. MICHARD A. The pan-african belt. In Continental evolution: the geology of Morocco. Berlin 2008, 33-64pp.

HADDOUCHE D., Cartographie pédopaysagique de synthèse par télédétection « images landsat tm » cas de la région de ghassoul(el-bayadh). Mémoire de magister : Sciences agronomiques. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 1998, 138 p.

HADJ-SAID, S., HAMDI-AISSA B., TOUIL Y., : Qualité et ressources en eaux souterraines dans un agrosystème oasien au Sahara d'Algérie (cas de l'oasis de Guerrara, M'Zab). Bull. du Groupe Francophone Humidité et Transferts en Milieux Poreux, 54, 2008, 195-198.

J-P CHEREL. Classification d'images de télédétection, Montpellier 3, Cours, 2010, 13p.

KEBILI M. BOUSELSAL B. GOUAIDIA L. Etude hydrogéologique de l'aquifère de continental intercalaire (CI) dans la région de Ghardaïa (Sud Algérie). Ouargla : Université Kasdi Merbah 2019,7p.

LOKE. M.H: Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method, Journal of Applied Geophysics 95 (2013) 135–156.

Références bibliographiques

LU D. MAUSEL P. BRONDIZIO E. MORAN E. Change detection techniques, International journal of remote sensing, vol.25, 2004, 2365-2407pp.

MELOUAH O. : Investigation géophysique du sous-sol pour la détection des poches de dissolution et des cavités karstiques : Cas de la région de Guerrara (Ghardaïa). 2021.

MINISTERE FRANÇAISE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE.
Comment choisir son image satellitaire ? [En ligne] Disponible sur : <https://www.applisat.fr/generalites-satellites/choisir-image-satellitaire> (Consulté le 18/04/2022).

NIXON R.W. : Imported varieties of dates in the United States, USDA Circular 834, 1950, 1 - 144.

OFFICE NATIONALE DE METROLOGIE GHARDAÏA (O.N.M). 2016.

OZENDA P. Flore du Sahara. Paris : CNRS, 2^{ème} Edition, 1983.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY.
LC08_L1TP_195037_20210408_20210416_01_T1 [En ligne]. Disponible sur : <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Consulté le 08/04/2022).

VILLE L. : Exploration géologique du Béni-M'Zab, du Sahara et de la régions des steppes de la province d'Alger. Ed. Imprimerie Nationale. Paris, 1872, 540 p.

Annexes

Annexes

Annexe 1 : Séparabilités pour les régions d'intérêts (1999-2021)

➤ Input File : La région de Guerrara 2021

Input File : 22-07-2021 Landsat OLI8

ROI Name : (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Palmier :

Z. Urbaine et Industrielle : (2.00000000 2.00000000)

Végétation naturelle et verger : (1.90034848 1.99885729)

Oued : (0.00000000 0.00000000)

Culture herbacée : (1.60835919 1.99995246)

Hamada et Plateaux rouches : (1.84762145 1.99993397)

Chebka : (2.00000000 2.00000000)

Z. Urbaine et Industrielle :

Palmier : (2.00000000 2.00000000)

Végétation naturelle et verger : (1.99997832 2.00000000)

Oued : (0.00000000 0.00000000)

Culture herbacée : (2.00000000 2.00000000)

Hamada et Plateaux rocheux : (2.00000000 2.00000000)

Chebka : (2.00000000 2.00000000)

Végétation naturelle et verger :

Palmier : (1.90034848 1.99885729)

Z. Urbaine et Industrielle : (1.99997832 2.00000000)

Oued : (0.00000000 0.00000000)

Culture herbacée : (1.23087433 1.50795320)

Hamada et Plateaux rocheux : (1.34649928 1.54837077)

Chebka : (1.87295433 2.00000000)

Oued :

Palmier : (0.00000000 0.00000000)

Z. Urbaine et Industrielle : (0.00000000 0.00000000)

Végétation naturelle et verger : (0.00000000 0.00000000)

Annexes

Culture herbacée : (0.00000000 0.00000000)

Hamada et Plateaux rocheux : (0.00000000 0.00000000)

Chebka : (0.00000000 0.00000000)

Culture herbacée :

Palmier : (1.60835919 1.99995246)

Z. Urbaine et Industrielle : (2.00000000 2.00000000)

Végétation naturelle et verger : (1.23087433 1.50795320)

Oued : (0.00000000 0.00000000)

Hamada et Plateaux rocheux : (0.58656662 0.76566442)

Chebka : (1.60954016 2.00000000)

Hamada et Plateaux rocheux :

Palmier : (1.84762145 1.99993397)

Z. Urbaine et Industrielle : (2.00000000 2.00000000)

Végétation naturelle et verger : (1.34649928 1.54837077)

Oued : (0.00000000 0.00000000)

Culture herbacée : (0.58656662 0.76566442)

Chebka : (1.43636513 1.99979291)

Chebka :

Palmier : (2.00000000 2.00000000)

Z. Urbaine et Industrielle : (2.00000000 2.00000000)

Végétation naturelle et verger : (1.87295433 2.00000000)

Oued : (0.00000000 0.00000000)

Culture herbacée : (1.60954016 2.00000000)

Hamada et Plateaux rocheux : (1.43636513 1.99979291)

Pair Separation (least to most) ;

Oued and Chebka - 0.00000000

Palmier and Oued - 0.00000000

Oued and Hamada et Plateaux rocheux - 0.00000000

Oued and Culture herbacée - 0.00000000

Annexes

Z. Urbaine et Industrielle and Oued - 0.00000000
Végétation naturelle et verger and Oued - 0.00000000
Culture herbacée and Hamada et Plateaux rocheux - 0.58656662
Végétation naturelle et verger and Culture herbacée - 1.23087433
Végétation naturelle et verger and Hamada et Plateaux rocheux -
1.34649928
Hamada et Plateaux rocheux and Chebka - 1.43636513
Palmier and Culture herbacée - 1.60835919
Culture herbacée and Chebka - 1.60954016
Palmier and Hamada et Plateaux rocheux - 1.84762145
Végétation naturelle et verger and Chebka - 1.87295433
Palmier and Végétation naturelle et verger - 1.90034848
Z. Urbaine et Industrielle and Végétation naturelle et verger -
1.99997832
Palmier and Chebka - 2.00000000
Z. Urbaine et Industrielle and Hamada et Plateaux rocheux - 2.00000000
Z. Urbaine et Industrielle and Chebka - 2.00000000
Z. Urbaine et Industrielle and Culture herbacée - 2.00000000
Palmier and Z. Urbaine et Industrielle - 2.00000000

➤ **Input File : La région de Guerrara 1999**

Input File : 23-11-1999 Landsat7 ETM+

ROI Name : (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Palmier :

Z. Urbaine et Industrielle : (1.66744870 1.96165052)

Végétation naturelle et verger : (1.76675280 1.80249637)

Oued : (1.99608065 1.99965260)

Culture herbacée : (1.96788973 1.98473998)

Hamada et Plateaux rocheux : (1.99840069 1.99951920)

Chebka : (1.94380396 1.94824139)

Annexes

Z. Urbaine et Industrielle :

Palmier : (1.66744870 1.96165052)

Végétation naturelle et verger : (1.04316450 1.11200754)

Oued : (1.10938388 1.27883940)

Culture herbacée : (1.54322768 1.63816886)

Hamada et Plateaux rocheux : (1.61971977 1.71700981)

Chebka : (1.65033383 1.69254837)

Végétation naturelle et verger :

Palmier : (1.76675280 1.80249637)

Z. Urbaine et Industrielle : (1.04316450 1.11200754)

Oued : (1.22356906 1.25752449)

Culture herbacée : (0.36045290 0.40388459)

Hamada et Plateaux rocheux : (1.32514769 1.38240917)

Chebka : (0.78313929 0.80053369)

Oued :

Palmier : (1.99608065 1.99965260)

Z. Urbaine et Industrielle : (1.10938388 1.27883940)

Végétation naturelle et verger : (1.22356906 1.25752449)

Culture herbacée : (1.07171959 1.09781549)

Hamada et Plateaux rocheux : (0.76985077 0.84897449)

Chebka : (1.48052233 1.50694073)

Culture herbacée :

Palmier : (1.96788973 1.98473998)

Z. Urbaine et Industrielle : (1.54322768 1.63816886)

Végétation naturelle et verger : (0.36045290 0.40388459)

Oued : (1.07171959 1.09781549)

Hamada et Plateaux rocheux : (0.96415721 0.99702175)

Chebka : (0.53610279 0.56077806)

Hamada et Plateaux rocheux :

Palmier : (1.99840069 1.99951920)

Annexes

Z. Urbaine et Industrielle : (1.61971977 1.71700981)
Végétation naturelle et verger : (1.32514769 1.38240917)
Oued : (0.76985077 0.84897449)
Culture herbacée : (0.96415721 0.99702175)
Chebka : (0.84583233 0.91156825)

Chebka :

Palmier : (1.94380396 1.94824139)
Z. Urbaine et Industrielle : (1.65033383 1.69254837)
Végétation naturelle et verger : (0.78313929 0.80053369)
Oued : (1.48052233 1.50694073)
Culture herbacée : (0.53610279 0.56077806)
Hamada et Plateaux rocheux : (0.84583233 0.91156825)

Pair Separation (least to most) ;

Végétation naturelle et verger and Culture herbacée - 0.36045290
Culture herbacée and Chebka - 0.53610279
Oued and Hamada et Plateaux rocheux - 0.76985077
Végétation naturelle et verger and Chebka - 0.78313929
Hamada et Plateaux rocheux and Chebka - 0.84583233
Culture herbacée and Hamada et Plateaux rocheux - 0.96415721
Z. Urbaine et Industrielle and Végétation naturelle et verger -
1.04316450
Oued and Culture herbacée - 1.07171959
Z. Urbaine et Industrielle and Oued - 1.10938388
Végétation naturelle et verger and Oued - 1.22356906
Végétation naturelle et verger and Hamada et Plateaux rocheux -
1.32514769
Oued and Chebka - 1.48052233
Z. Urbaine et Industrielle and Culture herbacée - 1.54322768
Z. Urbaine et Industrielle and Hamada et Plateaux rocheux - 1.61971977
Z. Urbaine et Industrielle and Chebka - 1.65033383
Palmier and Z. Urbaine et Industrielle - 1.66744870
Palmier and Végétation naturelle et verger - 1.76675280

Annexes

Palmier and Chebka - 1.94380396

Palmier and Culture herbacée - 1.96788973

Palmier and Oued - 1.99608065

Palmier and Hamada et Plateaux rocheux - 1.99840069

Annexes

Annexe 2 : Matrice de confusion pour les régions d'intérêts (1999, 2021)

➤ Output File : La Vallée 1999

Confusion Matrix : [Memory1] (739x575x1)
 Overall Accuracy = (218621/282240) 77.4593%
 Kappa Coefficient = 0.6054

		Ground Truth (Pixels)			
Class		Unclassified	Palmier	Z.Urbaine et	Végétation na
Oued					
Unclassified	0	0	0	0	0
Palmier	68	0	9333	740	2704
Z. Urbaine et	1215	0	153	4086	374
Végétation na	1078	0	74	107	1892
Oued	24717	0	59	752	1067
Culture herba	0	0	3	0	25
Hamada et Pla	17559	0	4	56	74
Chebka	79	0	41	15	738
Total	44716	0	9667	5756	6874

		Ground Truth (Pixels)			
Class		Culture herba	Hamada et Pla	Chebka	Total
Unclassified		0	0	0	0
Palmier		75	29	177	13126
Z. Urbaine et		16	118	14	5976
Végétation na		5956	1626	2402	13135
Oued		828	863	71	28357
Culture herba		81	2242	2218	4569
Hamada et Pla		2950	157761	3162	181566

Annexes

Chebka	2698	11189	20751	35511
Total	12604	173828	28795	282240

Ground Truth (Percent)

Class	Unclassified	Palmier	Z. Urbaine et	Végétation na
Oued				
Unclassified 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Palmier 0.15	0.00	96.54	12.86	39.34
Z. Urbaine et 2.72	0.00	1.58	70.99	5.44
Végétation na 2.41	0.00	0.77	1.86	27.52
Oued 55.28	0.00	0.61	13.06	15.52
Culture herba 0.00	0.00	0.03	0.00	0.36
Hamada et Pla 39.27	0.00	0.04	0.97	1.08
Chebka 0.18	0.00	0.42	0.26	10.74
Total 100.00	0.00	100.00	100.00	100.00

Ground Truth (Percent)

Class	Culture herba	Hamada et Pla	Chebka	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00
Palmier	0.60	0.02	0.61	4.65
Z. Urbaine et	0.13	0.07	0.05	2.12
Végétation na	47.25	0.94	8.34	4.65
Oued	6.57	0.50	0.25	10.05
Culture herba	0.64	1.29	7.70	1.62
Hamada et Pla	23.41	90.76	10.98	64.33
Chebka	21.41	6.44	72.06	12.58
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Annexes

Class Omission	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)
Unclassified 0/0	0.00	0.00	0/0
Palmier 334/9667	28.90	3.46	3793/13126
Z. Urbaine et 1670/5756	31.63	29.01	1890/5976
Végétation na 4982/6874	85.60	72.48	11243/13135
Oued 19999/44716	12.84	44.72	3640/28357
Culture herba 12523/12604	98.23	99.36	4488/4569
Hamada et Pla 16067/173828	13.11	9.24	23805/181566
Chebka 8044/28795	41.56	27.94	14760/35511

Class User Acc.	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)
Unclassified 0/0	0.00	0.00	0/0
Palmier 9333/13126	96.54	71.10	9333/9667
Z. Urbaine et 4086/5976	70.99	68.37	4086/5756
Végétation na 1892/13135	27.52	14.40	1892/6874
Oued 24717/28357	55.28	87.16	24717/44716
Culture herba 81/4569	0.64	1.77	81/12604
Hamada et Pla 157761/181566	90.76	86.89	157761/173828
Chebka 20751/35511	72.06	58.44	20751/28795

Annexes

➤ Output File : La Vallée 2021

Confusion Matrix : [Memory1] (740x576x1)

Overall Accuracy = (197948/226077) 87.5578%

Kappa Coefficient = 0.8362

		Ground Truth (Pixels)			
Class		Unclassified	Palmier	Z. Urbaine et	Végétation na
0	Unclassified	0	0	0	0
156	Palmier	0	22379	324	298
214	Z. Urbaine et	0	753	10231	96
190	Végétation na	0	855	123	16205
8457	Oued	0	732	819	383
54	Culture herba	0	253	13	359
105	Hamada et Pla	0	30	338	1109
646	Chebka	0	29	278	794
9822	Total	0	25031	12126	19244

		Ground Truth (Pixels)			
Class		Culture herba	Hamada et Pla	Chebka	Total
Unclassified		0	0	0	0
Palmier		59	29	15	23260
Z. Urbaine et		11	478	112	11895
Végétation na		621	2270	1942	22206
Oued		100	367	1307	12165
Culture herba		9539	1616	1677	13511
Hamada et Pla		671	77002	4144	83399

Annexes

Chebka	518	3241	54135	59641
Total	11519	85003	63332	226077

Ground Truth (Percent)

Class	Unclassified	Palmier	Z.Urbaine et	Végétation na
Oued				
Unclassified 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Palmier 1.59	0.00	89.41	2.67	1.55
Z. Urbaine et 2.18	0.00	3.01	84.37	0.50
Végétation na 1.93	0.00	3.42	1.01	84.21
Oued 86.10	0.00	2.92	6.75	1.99
Culture herba 0.55	0.00	1.01	0.11	1.87
Hamada et Pla 1.07	0.00	0.12	2.79	5.76
Chebka 6.58	0.00	0.12	2.29	4.13
Total 100.00	0.00	100.00	100.00	100.00

Ground Truth (Percent)

Class	Culture herba	Hamada et Pla	Chebka	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00
Palmier	0.51	0.03	0.02	10.29
Z. Urbaine et	0.10	0.56	0.18	5.26
Végétation na	5.39	2.67	3.07	9.82
Oued	0.87	0.43	2.06	5.38
Culture herba	82.81	1.90	2.65	5.98
Hamada et Pla	5.83	90.59	6.54	36.89
Chebka	4.50	3.81	85.48	26.38
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Annexes

Class	Commission	Omission	Commission	Omission
(Pixels)	(Percent)	(Percent)	(Percent)	(Pixels)
Unclassified	0.00	0.00	0/0	0/0
Palmier	3.79	10.59	881/23260	2652/25031
Z. Urbaine et	13.99	15.63	1664/11895	1895/12126
Végétation na	27.02	15.79	6001/22206	3039/19244
Oued	30.48	13.90	3708/12165	1365/9822
Culture herba	29.40	17.19	3972/13511	1980/11519
Hamada et Pla	7.67	9.41	6397/83399	8001/85003
Chebka	9.23	14.52	5506/59641	9197/63332

Class	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User
(Pixels)	(Percent)	(Percent)	(Percent)	(Pixels)
Unclassified	0.00	0.00	0/0	0/0
Palmier	89.41	96.21	22379/25031	22379/23260
Z. Urbaine et	84.37	86.01	10231/12126	10231/11895
Végétation na	84.21	72.98	16205/19244	16205/22206
Oued	86.10	69.52	8457/9822	8457/12165
Culture herba	82.81	70.60	9539/11519	9539/13511
Hamada et Pla	90.59	92.33	77002/85003	77002/83399
Chebka	85.48	90.77	54135/63332	54135/59641

Résumé

Cartographie du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) par télédétection spatiale dans la région de Guerrara (Wilaya de Ghardaïa).

Après l'accroissement urbain constaté dans la zone de Guerrara, on s'interroge sur l'impact de cette augmentation sur le couvert végétal qui s'y trouve à deux époques distinctes.

Le but principal de notre étude était de trouver des changements dans l'occupation de la végétation, en utilisant l'imagerie satellitaire LANDSAT dans la région de Guerrara (wilaya de Ghardaïa), avec une méthode de classification supervisée avec un bon intervalle de temps entre deux dates, post-classification et détection des changements statistiques et NDVI. En fait, la précision globale résultante est de 77 % et 87 % pour les images de 1999 et 2021, respectivement. Ces images, acquises par les capteurs des satellites LANDSAT 7 ETM+ et 8 OLI en 1999 et 2021, ont été attribuées à dix catégories représentatives des composantes terrestres : palmiers dattiers, cultures herbacées (maraîchère), végétation naturelle et vergers, zones urbaines et industrielles, oued et Chebka.

Tous les résultats montrent l'évolution temporelle et spatiale de l'occupation de la végétation au sein de la zone d'étude et sur une période de plus de 20 ans, nous avons donc des cartes d'occupation de la végétation et des tableaux récapitulatifs des changements pour deux dates différentes, et même nous pouvons connaître les facteurs et leur type qui affectent notre région.

Mots clés : LANDSAT, NDVI, Télédétection, Palmier dattier, Guerrara, Ghardaïa.

Abstract

After the urban growth observed in the Guerrara area, one wonders about the impact of this increase on the vegetation cover found there at two distinct times.

The main aim of our study was to find changes in vegetation occupation, using LANDSAT satellite imagery in the region of Guerrara (wilaya of Ghardaïa), with a supervised classification method with a good time interval between two dates, post-classification and detection of statistical and NDVI changes. In fact, the resulting overall accuracy is 77% and 87% for the 1999 and 2021 images, respectively. These images, acquired by the sensors of the LANDSAT 7 ETM+ and 8 OLI satellites in 1999 and 2021, were assigned to ten categories representative of the terrestrial components: date palms, herbaceous crops (market gardening), natural vegetation and orchards, urban and industrial areas, wadi and Chebka.

All results show the temporal and spatial evolution of vegetation occupation within the study area and over a period of more than 20 years, so we have vegetation occupation maps and summary tables changes for two different dates, and even we can know the factors and their type that affect our region.

Keywords: LANDSAT, NDVI, Remote sensing, Date palm, Guerrara, Ghardaïa.

ملخص

بعد النمو العمراني الملحوظ في منطقة القرارة، يساءل المرء عن مدى تأثير هذه الزيادة على الغطاء النباتي الموجود هناك في زمنين

مختلفين.

كان الهدف الرئيسي من دراستنا هذه هو إيجاد تغييرات في احتلال الغطاء النباتي، وهذا باستخدام صور القمر الصناعي لاندسات في منطقة القرارة (ولاية غرداية)، مع طريقة تصنيف خاضعة للإشراف مع فاصل زمني جيد بين تاريخين، من خلال التصنيف المراقب ومن خلال طرق الكشف عن التغييرات الإحصائية وباستعمال مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي. في الواقع، تبلغ الدقة الإجمالية الناتجة 77 و 87 % للصور من 1999 و 2021 على التوالي. تم تخصيص هذه الصور، المحصل عليها بواسطة مستشعرات أقمار صناعية + LANDSAT 7 ETM و 8 OLI وفي عامي 1999 و 2021، إلى عشر فئات ممثلة للمكونات الأرضية: نخيل التمر، والزراعات العشبية (البيستنة السوقية)، والنباتات الطبيعية والبساتين، والمناطق الحضرية والصناعية والوادي وشبكة.

توضح جميع النتائج التطور الزمني والمكاني لشغل الغطاء النباتي داخل منطقة الدراسة وعلى مدى أكثر من 20 عامًا، لذلك لدينا خرائط احتلال نباتي وتغييرات جداول موجزة لتاريخين مختلفين، وحتى يمكننا معرفة العوامل ونوعها التي تؤثر على منطقتنا.

الكلمات المفتاحية: لاندسات، NDVI، الاستشعار عن بعد، نخيل التمر، القرارة، غرداية.