



## Département des Sciences de la Terre

### Licence ès Sciences et Techniques

### Eau & Environnement

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de licence fondamental en Filière :

Eau et environnement

Intitulé de projet :

## L'évolution de l'occupation du sol au niveau de la palmeraie de Marrakech de 1990 à 2020

réalisé par :

AARAB Ihsane

BEN IHLAL Nohaila

Encadré par :

HANICH Lahoucine

EL ALAOUI EL FELS Abdelhafid

Soutenu le 1/07/2021 devant le jury :

HANICH Lahoucine

IBOUH Hassan

# *Remerciements*



### **Remerciement :**

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous 'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail. Nous tenons à remercier aussi Monsieur **Pr Moha TAOURIRTE**, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de MARRAKECH(FSTG) pour les bonnes conditions d'études qu'il nous a procurées durant notre cursus universitaire.

Nous aimerions aussi remercier chaleureusement **Pr HANICH** pour nous avoir donné l'opportunité de faire notre projet de fin d'étude, d'avoir accepté de nous' encadrer durant ce travail, ainsi que le soutien qu'il nous a fourni, tant au niveau scientifique que pour les compétences parallèles et ce, tout au long de notre cheminement. Son confiance ainsi que la grande liberté qu'il nous a accordée ont fortement contribué à notre développement professionnel. Nous espérons que ce travail est à la hauteur de ses espérances.

Nous remercions également **DR Adelhafid ELALAUOI EL FELS** de nous avoir guidé et Conseillé durant la période de travail et la rédaction du rapport. Un grand merci pour son grande disponibilité, son écoute et son suivi tout au long de ce travail. Ainsi que pour son patience et son compréhension de notre situation et de nos conditions et la gentillesse avec laquelle il a suivi l'élaboration de ce travail.

Nos vifs remerciements pour les membres du jury : **Pr HANICH Lahoucine , Au Pr IBOUH Hassan** : Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail nous somme très honorés de pouvoir bénéficier de votre expertise dans le domaine et vos avis valorisent grandement ce projet. Veuillez trouver ici l'expression de notre sincère reconnaissance.

Nos profonds remerciements vont également à tous les enseignants qui nous ont donné les bases de la recherche pendant les trois ans du LST à la FSTG de Marrakech et les Personnes qui nous ont aidé et contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

## Sommaire

Résumé : .....	8
Introduction générale : .....	11
<b>Chapitre 1 : Présentation de la palmeraie de Marrakech .....</b>	<b>12</b>
Introduction:.....	13
II-Présentation de la zone:.....	13
1-situation géographique : .....	13
2-Histoire : .....	14
II-La pédologie : .....	14
III-Le climat: .....	14
IV- L'hydrologie : .....	15
V- L'hydrogéologie : .....	15
VI-Irrigation : .....	16
<b>CHAPITRE 2 : Matériel et méthode .....</b>	<b>17</b>
I – Introduction : .....	18
II- Télédétection : .....	18
1-Définition .....	18
3-Système de la télédétection .....	19
3-1. le rayonnement électromagnétique: .....	19
3-2. la cible .....	20
3-3. L'environnement : .....	20
III- Systèmes d'observation : .....	21
1-Les satellites : .....	21
1-1. Landsat : .....	21
1-2 . sentinel : .....	22
a- Focus sur Sentinel 2 : .....	22
2- les capteurs : .....	23
2-1 : Type d'acquisition : .....	23
2-2 : les capteurs utilisés : .....	24
a-landsat TM .....	24
b-Sentinel 2A (MSI) : .....	25
c- Le capteur OLI (Operational Land Imager) : .....	26
IV-Les images satellite : .....	26

1-Définition : .....	26
1-2.format de l'image : .....	27
2-visualisation des images : .....	27
V-Extraction de l'information : .....	28
1- L'indice de végétation par différence normalisée ou indice de Tucker (NDVI).....	28
2-Indice du sol par différence normalisée NDSI : .....	29
3-Evolution spatio-temporelle de l'indice de l'urbanisme (NDBI ) : .....	29
4-Classification : .....	29
VI-Méthodologie de notre travail : .....	30
1-choix des dates des images : .....	30
2-Traitement : .....	31
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussions</b> .....	<b>32</b>
I-Introduction : .....	33
II-l'évolution temporelle :	
1-variation de NDVI : .....	33
2-Variation de NDBI : .....	35
3-variation de NDSI : .....	37
III-corrélation entre les indices : .....	39
1- L'analyse de corrélation entre NDVI et NDSI : .....	39
2- L'analyse de corrélation entre NDBI et NDVI : .....	40
IV-classification non supervisé : .....	41
V- Autres traitements : .....	44
1- Traitement ACP (Analyse en Composante Principale) : .....	44
2. La technique de « Change détection » pour l'estimation du changement de la végétation de Palmeraie du Marrakech entre 1990 et 2020 : .....	44
Conclusion : .....	47

### Liste de figures :

<b>Figure 1</b> : carte localisation de palmeraie de Marrakech.....	13
<b>Figure 2</b> : les sols bruns source wikipédia.....	14
<b>Figure 3</b> : carte de bassin versant Tansift source searchGat.....	15
<b>Figure4</b> : système d'irrigation source ( Claide –Cournoyr,2004).....	16

<b>Figure 5</b> : onde électromagnétique monochromatique.....	20
<b>Figure 6</b> : Réflexion, absorption et transmission d'énergie.....	20
<b>Figure 7</b> : éléments perturbateurs des rayons électromagnétiques.....	21
<b>Figure 8</b> : Sentinel 2A.....	23
<b>Figure 9</b> : Principe de la télédétection passive et active.....	24
<b>Figure 10</b> : représentation des pixels dans une image satellitaire.....	27
<b>Figure11</b> :Les opération de classification.....	30
<b>Figure12</b> : carte d'évolution de NDVI entre 1990 et 2020.....	33
<b>Figure 13</b> : graphe d'évolution de surface de végétation dans la palmeraie de 1990 à 2020.....	34
<b>Figure 14</b> :carte d'évolution de NDBI entre 1990 et 2020.....	35
<b>Figure 15</b> : la carte d'évolution de surface de l'urbanisme dans la palmeraie I de 1990 à 2020.....	36
<b>Figure 16</b> : carte de l'évolution de NDSI ENTRE 1990 et 2020.....	37
<b>Figure 17</b> : graphe de l'évolution de surface de sol dans la palmeraie de 1990 à 2020.....	38
<b>Figure 18</b> : graphe de corrélation entre surface de sol et de végétation.....	40
<b>Figure 19</b> : graphe de corrélation entre la surface de végétation et de construction.....	41
<b>Figure 20</b> : carte d'occupation de sol 1993 de la palmeraie par classification non supervisé.....	41
<b>Figure 21</b> : carte d'occupation de sol 2010 de la palmeraie par classification non supervisé.....	42
<b>Figure 22</b> : carte d'occupation de sol 2020 de la palmeraie par classification non supervisé.....	42
<b>Figure 23</b> : graphe d'évolution des différents éléments des années 1993, 2010 et 2020.....	43
<b>Figure24</b> : composite coloré basé sur l'ACP dans la palmeraie de Marrakech entre 1990-2020.....	44
<b>Figure 25</b> : technique de la détection du changement du couvert végétal de la Palmeraie de Marrakech (2001-2020).....	45
<b>Figure 26</b> : graphe variation de la superficie du couvert végétal d'après la technique (change detection) entre 2001 et 2020 de la palmeraie de Marrakech.....	46

### Liste de tableau :

<b>Tableau 1</b> : les bands de capteurs TM.....	25
<b>Tableau2</b> : les bands de Capteur MSI.....	26
<b>Tableau3</b> : les bades de capteur OLI.....	26
<b>Tableau4</b> : évolution des surfaces de végétation dans la palmeraie.....	34
<b>Tableau5</b> : évolution des surfaces de construction dans la palmeraie.....	36
<b>Tableau6</b> : évolution des surfaces de sol dans la palmeraie.....	38
<b>Tableau7</b> : la variation de surface de sol et végétation dans la palmeraie.....	39
<b>Tableau8</b> : la variation de surface de construction et végétation dans la palmeraie.....	40
<b>Tableau 9</b> : <i>variation de surface des éléments pour les années1993,2010, et2020.....</i>	<i>43</i>
<b>Tableau 10</b> : variation de la superficie du couvert végétal d'après la technique (change détection) entre 2001 et 2020 de la palmeraie de Marrakech.....	46

### Liste d'abréviation :

**NDVI** : normale différence végétation indice.

**NDBI** : normale différence urbanisme indice.

**NDSI** : normale différence sol indice.

**ACP** : analyse composite principale.

**B** : bande.

**TM**: Thematic Mapper.

**SIG** : Système d'Information Géographique.

**IR** : Infra-Rouge.

**PIR** : Proche Infra-Rouge.

**SWIR**: Short-Wave length Infra-Red .

**OLI** : Operational Land Imager.

**RN8** : Route numéro 8.

**MSI** : MultiSpectral instrument.

## Résumé :

La palmeraie de Marrakech est située sur la plaine du Haouz, à l'EST de Marrakech (centre de la région Marrakech Safi). C'est l'unique oasis au NORD du Haut Atlas, c'est une création du Xe siècle, elle traduit un savoir-faire millénaire de création d'oasis. Cette palmeraie a une grande importance écologique et touristique, elle connaît un taux d'évolution spatio-temporelle rapide.

Le but de ce travail est de suivre l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol, dans cette Palmeraie, en se basant sur la variation spatiotemporelle des surfaces de : La végétation, le sol nu, et enfin L'urbanisme. La méthodologie de travail se base sur la télédétection. il s'agit de traitement, d'analyse et d'interprétation d'images satellite multi-temporelles (depuis 1990 jusqu'à 2020) en utilisant les indices NDVI, (Normalised **D**ifference **V**egetation **I**ndex) NDSI (Normalised **D**ifference **S**ol **I**ndex), et le NDBI (Normalised **D**ifference **B**uilt-up **I**ndex). Ces Indices ont permis de calculer la surface des éléments d'occupation du sol dans la zone d'études.

Nos résultats montrent que chaque élément de l'occupation de sol a son propre chemin d'évolution spatio-temporelle. Nous commençons par la surface couverte par la végétation qui est selon NDVI a un taux de diminution d'environ 12%, alors qu'en 1990 a été d'environ 41.25 Km<sup>2</sup>, tandis qu'en 2020 la surface recouverte par la végétation est à l'entourage de 31,82Km<sup>2</sup>.

Selon l'interprétation de NDSI la surface de sol a diminué de 43,96Km<sup>2</sup> en 1990 à 32,71Km<sup>2</sup> en 2020.

Pour l'indice de l'urbanisme NDBI d'après son calcul et l'interprétation des carte, la palmeraie de Marrakech a connu un grand développement au niveau de la surface recouvert par l'urbain. Car elle a augmentée de 45,85Km<sup>2</sup> en 1990 à 55,89 Km<sup>2</sup> en 2020.

Ces résultats obtenus par les indices on était confirmé par l'ACP et classification non supervisé.

**Mot clé :** l'occupation du sol, la palmeraie de Marrakech, télédétection, NDVI, NDSI, NDBI, ARCGIS , classification non supervisé .

## Abstract :

*The palm grove of Marrakech is located on the plain of Haouz, east of Marrakech (center of the region Marrakech Safi). It is the only oasis in the NORTH of the High Atlas, is a creation of the tenth century, it reflects a thousand-year-old know-how of oasis creation. This palm grove has a great ecological and tourist importance, it recognizes a rapid rate of space-time evolution.*

*The aim of this work is to follow the spatio-temporal evolution of the occupation of the ground, in this Palm grove, by being based on the spatio-temporal variation of the surfaces of: The vegetation, the bare soil, and finally The urbanism. The methodology of work is based on remote sensing. It involves processing, analysis and interpretation of multi-temporal satellite images (since 1990 until 2020) using NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), NDSI (Normalised Difference Soil Index), and NDBI (Normalised Difference Built-up Index). These indices were used to calculate the surface area of land cover elements in the study area.*

*Our results show that each element of land cover has its own path of spatio-temporal evolution. We start with the area covered by vegetation which according to NDVI has a decrease rate of about 12%, while in 1990 was about 41.25, while in 2020 the area covered by vegetation is around 31.82Km<sup>2</sup>.*

According to the interpretation of NDSI the land area has decreased from 43.96Km<sup>2</sup> in 1990 to 32.71Km<sup>2</sup> in 2020.

*For the index of urbanism NDBI (Normalised Difference Built-up Index) according to its calculation and interpretation of maps, the palm grove of Marrakech has experienced a great development in the surface covered by the urban. For it has increased from 45.85Km<sup>2</sup> in 1990 to 55.89 in 2020.*

These results obtained by the indices were confirmed by PCA and unsupervised classification.

**Key word:** land use, the palm grove of Marrakech, remote sensing, NDVI, NDSI, NDBI, ARCGIS PCA, unsupervised classification.

## 요약:

마라케시의 야자 숲은 마라케시의 EAST (마라케시 사피 지역의 중심) Haouz 평야에 위치하고 있습니다. 그것은 High Atlas의 NORTH에서 유일한 오아시스이며, 10 세기의 창조물이며, 천년 된 오아시스 생성 노하우를 번역합니다.

이 작업의 목표는이 팜 그 로브에서 식생, 베어 토양, 마지막으로 도시 계획의 시공간적 변화를 기반으로 토지 이용의 시공간적 진화를 따르는 것입니다. 작업 방법론은 원격 감지를 기반으로합니다. 여기에는 NDVI 지수 (정규 식생 지수) NDSI (정규화 토양 지수) 및 NDBI (정규화 차분 지수)를 사용하여 다 시간 위성 이미지 (1990 년부터 2020 년까지)의 처리, 분석 및 해석이 포함됩니다.

이 지표는 연구 지역에서 토지 피복 요소의 면적을 계산하는 데 사용되었습니다. 우리의 결과는 토지 이용의 각 요소가 고유 한 시공간 진화 경로를 가지고 있음을 보여줍니다. 우리는 NDVI에 따르면 약 12 %의 감소율을 갖는 반면, 1990 년에는 약 41.25 였고, 2020 년에는 식생으로 덮인 면적이 31.82Km<sup>2</sup> 인 식생으로 덮인 면적부터 시작합니다.

NDSI의 해석에 따르면 바닥 면적은 1990 년 43.96Km<sup>2</sup>에서 2020 년 32.71Km<sup>2</sup>로 감소했습니다.

계산 및지도 해석에 따른 NDBI 도시화 지수 (Normalized Difference Built-up Index)의 경우, 마라케시의 야자 나무 숲은 도시가 차지하는 면적 측면에서 큰 발전을 경험했습니다. 1990 년 45.85Km<sup>2</sup>에서 2020 년 55.89로 증가했기 때문입니다. 지수로 얻은 이러한 결과는 PCA 및 감독되지 않은 분류에 의해 확인되었습니다.

## Introduction générale :

Le présent travail entre dans le cadre de notre projet de fin d'étude pour l'obtention du Licence en Eaux et Environnement (EE) à la Faculté des Sciences et Technique Marrakech (FST). L'étude est faite sur la Palmeraie de Marrakech qui représente une grande capacité d'évolution est surtout dans une période de 30 années (1990\_2020) spécifiquement parlée de l'évolution de l'occupation de sol.

Le but est de mettre en évidence cette variation sous forme des résultats discutable en se basant sur nos nouvelles connaissances de télédétection et une étude bibliographique, on mettre l'accent sur l'importance de la zone. Dans le même objective, ce travail est articulé en trois chapitre :

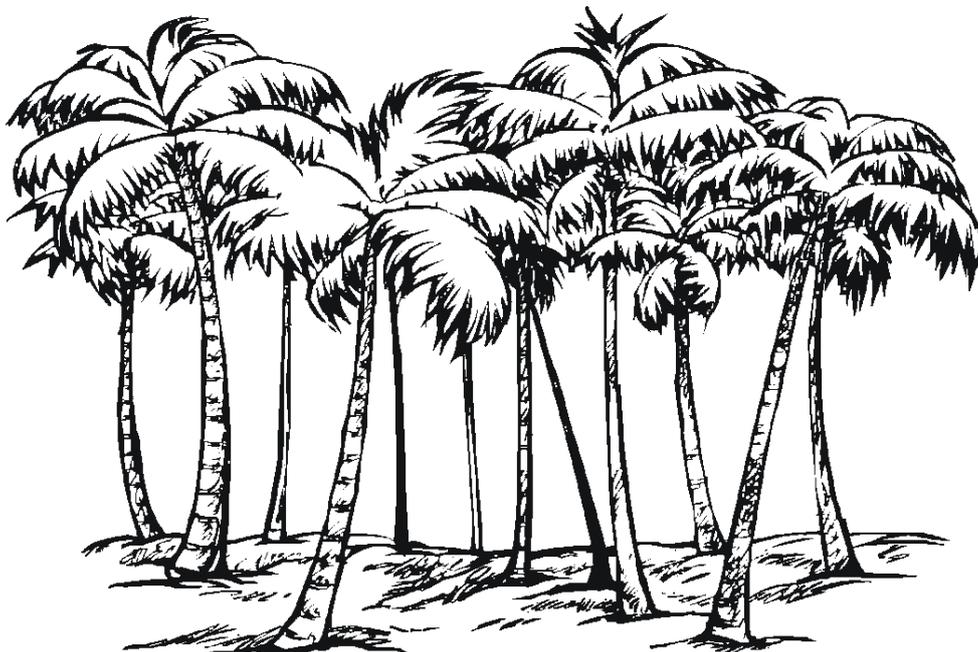
- Le premier chapitre est consacré à présenter, d'une manière général les caractéristiques de la palmeraie de Marrakech et mettre en évidence leur importance.

-Le deuxième chapitre traite deux éléments importants :

- **Matériels : on mettre l'accent sur la définition de la télédétection et tous les termes qui vient avec elle (les rayons solaire, cible....) .on s'intéresse à les images satellite, les satellites et les capteurs utilisé.**
- **Méthodologie : on utilise logiciel ARCGIS, de SIG (système d'information géographique), pour traiter les images télécharger, calculer les indices spectraux (NDVI, NDSI, NDBI), et pour faire une classification qui peut être supervisé ou non supervisé.**

-le troisième chapitre mettre également nos résultats qui sont: des cartes d'évolution de chaque indice pendant cette 30 année, cartes de classification et aussi notre analyse et interprétation qui illustre l'évolution de l'occupation de sol dans notre zone d'étude.

# Chapitre 1 : Présentation de la palmeraie de Marrakech



## Introduction:

La palmeraie de Marrakech est le seul groupement naturel de palmier situé au nord de la chaîne Atlas, elle est considérée comme un paysage botanique d'exception au Maroc classé monument historique au début de ce siècle.

Mais cette zone a aussi un intérêt touristique que la fait en faire un objectif de l'urbanisme « L'urbanisation massive et extension de la surface bâtie au-delà des remparts de l'ancienne Médina fait de la palmeraie non seulement un espace d'accueil des populations sous-jacentes mais aussi un espace touristique nouveau, de luxe et de grande envergure localement » (Boujrouf, 1996). Les équipements touristiques de cette espace prennent la forme de lotissements résidentiels, hôtel, club, restaurant, golf... La palmeraie avec tous ses patrimoines (historique, biologique .....) représente une masse des caractéristiques qui nous doit les mettre en évidence

## II-Présentation de la zone:

### 1-situation géographique :

Notre zone d'étude est située à l'Est de Médina Marrakech délimitée par oued Tensift au Nord, oued Issil au ouest, oued Ourika à l'est et au sud par RN8. Et occupe une espace de  $87.9km^2$ .

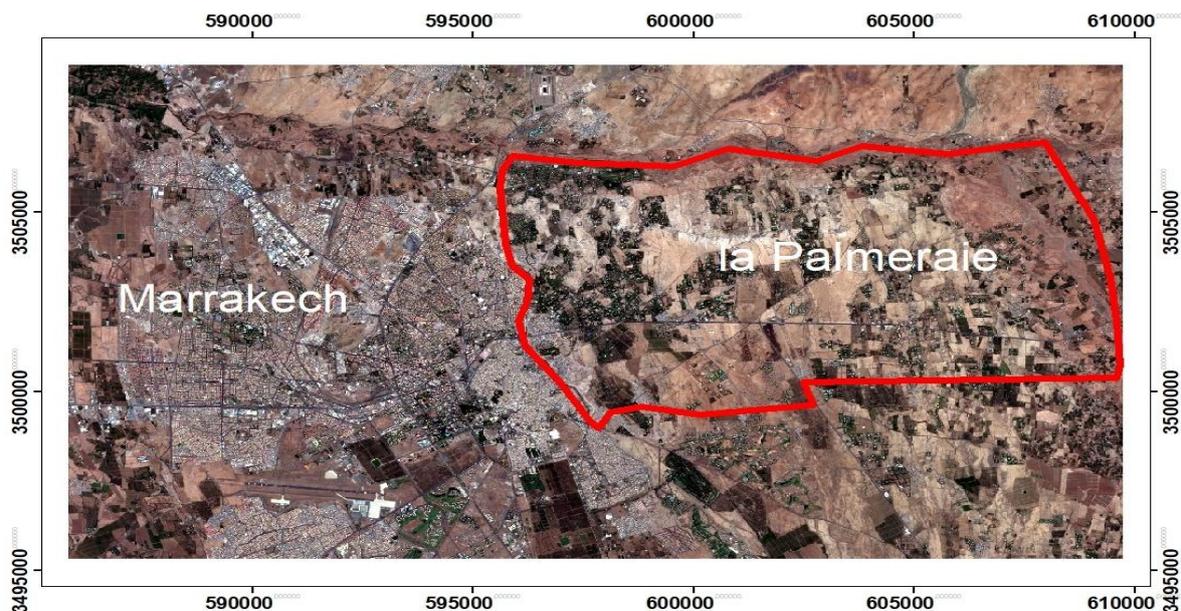


Figure 1 : carte localisation de palmeraie de Marrakech

## 2-Histoire :

Vers 1070 le Sultan souverain du Maroc Youssef ben Tachfine (1009-1106) de la dynastie des Almoravides, fonde la Médina de Marrakech en tant que capitale du Maroc, en bordure du massif de l'Atlas, où il crée cette vaste palmeraie sous forme d'oasis irriguée par un réseau de canalisations ancestral souterrain khattara, pour exploiter les nappes phréatiques locales.

## II-La pédologie :

La palmeraie de Marrakech est située dans la région du Haouz, elle occupe une plaine à sol plus ou moins profond facilement drainable ayant une texture à dominante limono-argileuse à forte teneur en calcaire. Ces sols sont des sols bruns que l'on rencontre en zone tempérée.



Figure 2 : les sols bruns source wikipédia

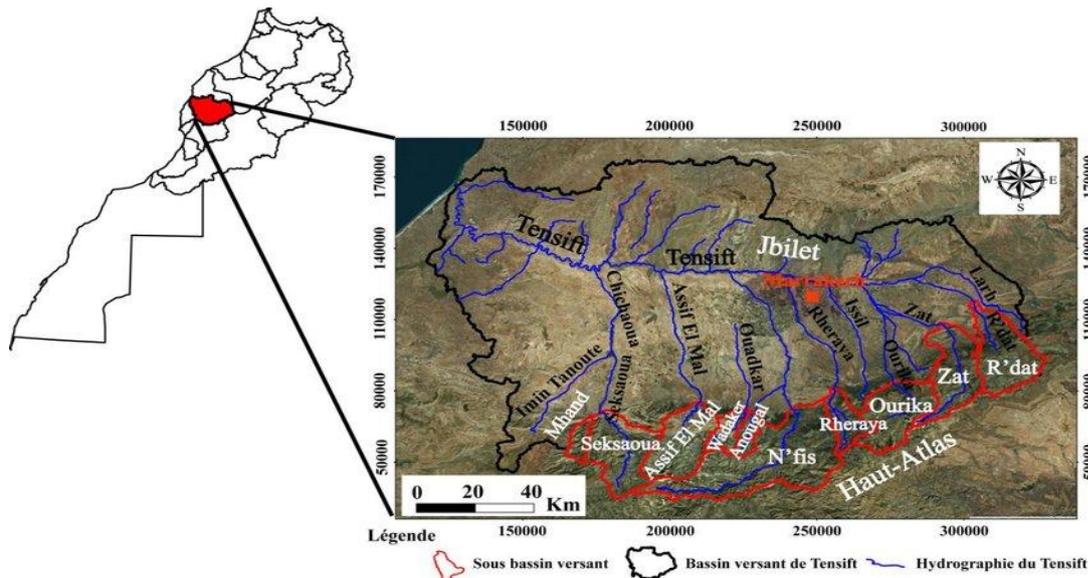
## III-Le climat:

La ville de Marrakech est sujette à un climat semi-aride (classification Koppen). La température moyenne annuelle est de 20° C. La moyenne des précipitations est de 281 mm par an, soit moins que la zone climatique méditerranéenne (400 mm par an) on peut parler de climat méditerranéen atténué par la proximité du désert. Le climat varie énormément d'une année à l'autre ; en effet si certaines années la ville peut recevoir 500 mm de précipitations (climat méditerranéen), elle peut d'autres années ne recevoir qu'une petite centaine de millimètres d'eau. À Marrakech, les hivers sont souvent froids la nuit et le matin (5 °C environ, parfois 0 °C). Les étés, quant à eux, sont très souvent torrides, avec des températures moyennes de 28 °C. Mais grâce à leur système ingénieux de stratification ; un

microclimat existe ainsi au sein de la palmeraie, créer par la densité de végétation dans quelque zones qui intercepte les rayons solaires t protégé du vent.

#### IV- L'hydrologie :

La palmeraie appartient au bassin versant tensift .L'Oued Tensift qui constitue le principal cours d'eau de la ville de Marrakech, coule d'Est en Ouest dans la plaine du Haouz au pied des Jbilet. Les principaux affluents de la rive gauche du Tensift prennent naissance dans la Province du Haouz : Oued R'Dat, Zat, Ourika, Rhéraya et N'fis.



#### V- L'hydrogéologie :

Dans la plaine du Haouz, on peut distinguer trois nappes superposés qui sont :

- Une nappe libre de profondeur allant de 10 m au Nord à 80 m au Sud avec un débit de 30l/s.
- Une 2eme nappe d'une profondeur moyenne de 300 m avec un débit plus faible.
- Une 3eme nappe très profonde (dépasse 500 m) et de débit assez négligeable

Dans ce travail, nous nous intéressons à la 1ère nappe qui est la nappe phréatique du Haouz. Considéré comme l'une des plus grande nappe du Maroc. Sa superficie est de 6000 m2 (Latitude : Nord 32°, Longitude : Est 8°), elle est alimentée principalement par l'infiltration des Oueds, les pertes des Seguias dans les zones irrigués traditionnellement et par infiltration des eaux de pluies à travers les formations jurassiques (calcaire et dolomie) du Haut Atlas. (**AGRINTER 2010**).

Cette nappe fournis, au Haouz central, un volume mobilisable annuel estimé à 173 Mm3 destiné à l'irrigation des périmètres agricoles (**LKBIR\_SABIR 2011**). Cette nappe importante

et généralisée, localisée dans la formation néogène et quaternaire son estimation en réserve peut aller jusqu'à 7 à 9 milliards de m<sup>3</sup> d'eau (SINAN et AL .2003).

## VI-Irrigation :

La palmeraie de Marrakech s'assèche, selon le programme de sauvegarde de la palmeraie. L'eau manque à cause des projets touristiques et des parcours de golf .mais il ya des essaye de mettre la zone bénéficié des eaux recyclées de la station d'épuration de Marrakech Et éviter le prélèvement de 725.000 m<sup>3</sup> d'eau sur la nappe phréatique. Donc le système d'irrigation dans la palmeraie a connu un changement temporel.



Système des Khetaras



Système de distribution

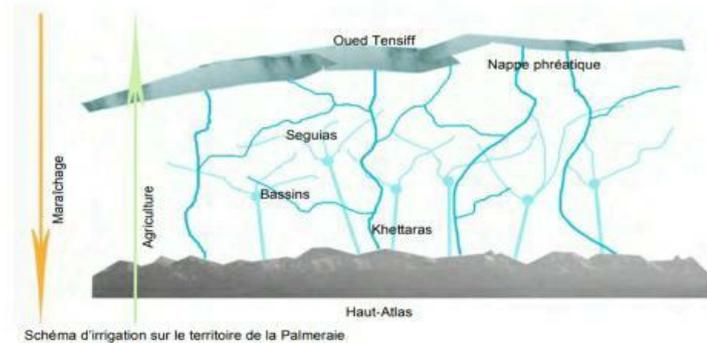
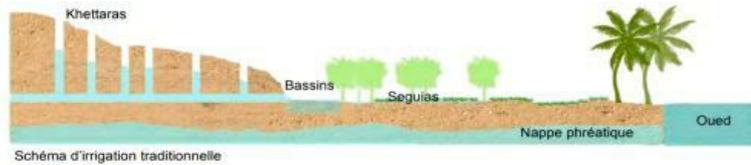
Crédits photographiques :  
Axelle Buriez

Figure4 : système d'irrigation source (Claide –Cournoyr,2004)

# CHAPITRE 2 : Matériel et méthode

## I – Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de présenter la méthodologie de notre travail, et aussi de donner une idée sur la notion de la télédétection qui est rendu cette étude dynamique possible, en s'intéressant notamment aux longueurs d'onde et aux réponses spectrales caractéristiques des classes d'objets.

La télédétection est née de la fusion de deux inventions anciennes : la montgolfière (première plate-forme d'observation aérienne) et la photographie. En réalité, la télédétection est née de la photographie aérienne, qui a connu un essor considérable au cours du XX<sup>e</sup> siècle, surtout au cours de la seconde guerre mondiale.

Notre étude consiste à analyser et interpréter les images satellites issues de, LANDSAT et SENTINEL 2, dans un intervalle de temps (1990\_2020), tandis que ces images présente plusieurs information que ne sont pas détectable sans un logiciel (dans notre cas « ARCGIS 10.3 ») que peut utilisé ses data et faire des calcules que vont mise en valeur une certain information désirer ; par exemple NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) que nous donne la superficie occuper par la végétation, NDBI (Normalised Difference building Index) et NDSI ( Normalised Differance Sol Index) .

## II- Télédétection :

### 1-Définition

"La télédétection est la science et l'art d'obtenir l'information sur un objet, surface ou phénomène à travers l'analyse des données acquises par un moyen qui n'est pas en contact avec l'objet, la surface ou le phénomène à étudier" (**Amina Beldjazia 2010**).

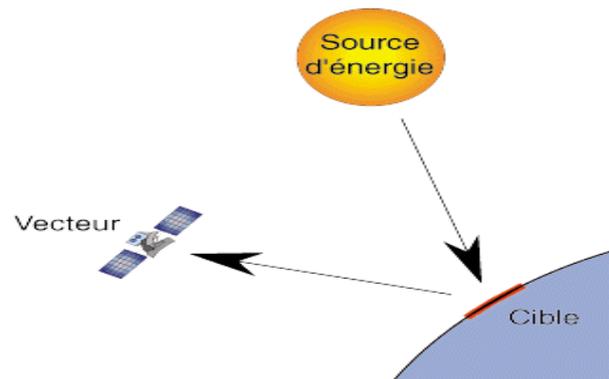
La télédétection est l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux –ci. Des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans *Télé* signifie "à distance" et *détection* veut dire "découvrir" ou "déceler" (Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988).

La télédétection est une discipline qui cherche à obtenir des informations de la Terre en utilisant des images acquises par des satellites ou des plateformes aériennes et en se servant de la utilisant des images acquises par des satellites ou des plateformes aériennes et en se servant de la radiation électromagnétique émise ou réfléchi par la surface terrestre. La

téledétection utilise les propriétés physiques des objets pour acquérir des informations sur leur nature. Ceci implique une interaction entre l'énergie qui est transmise par le rayonnement électromagnétique et les objets. Pour la plupart des plates-formes satellitaires, cette énergie est enregistrée par un capteur et transmis à une station de réceptions, sous forme d'une image numérique (Amina Beldjazia 2010).

### 3-Système de la télédétection

La télédétection est un système qui peut regrouper un ensemble de paramètres et phénomènes qui interagissent, dont nous pouvons dégager quatre (04) éléments principaux : le rayonnement électromagnétique, la cible, l'environnement de l'objet et le système d'observation.



#### 3-1. le rayonnement électromagnétique:

Selon la théorie corpusculaire de la lumière, le rayonnement électromagnétique peut être considéré comme étant un flux de particules élémentaires appelés photons. Selon la théorie ondulatoire, le rayonnement électromagnétique est composé de deux vecteurs champ électrique et magnétique perpendiculaires et se déplaçant à la vitesse de la lumière (dans le vide  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ) (figure 2). Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique : sa longueur et sa fréquence

La longueur d'onde est la distance entre deux points homologues (deux crêtes ou deux creux) qu'on note  $\lambda$  (m). La fréquence est le nombre d'oscillations par unité de temps qu'on note  $\nu$  (nombre oscillations/s ou Hertz Hz).

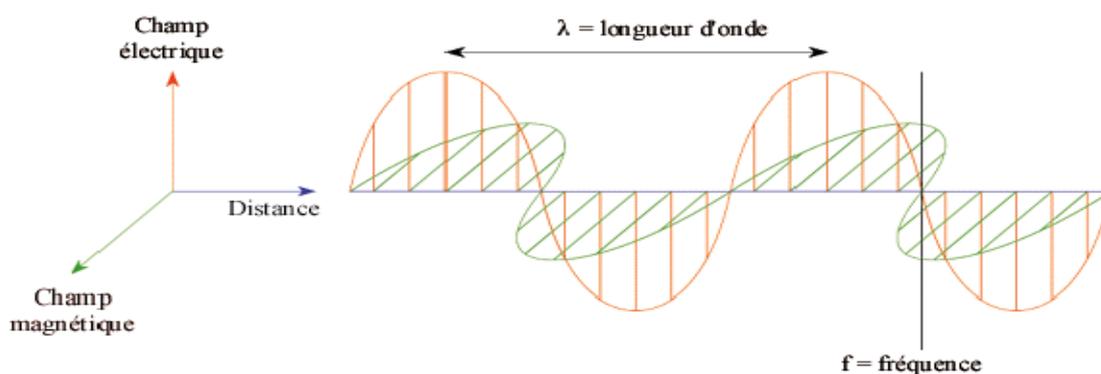
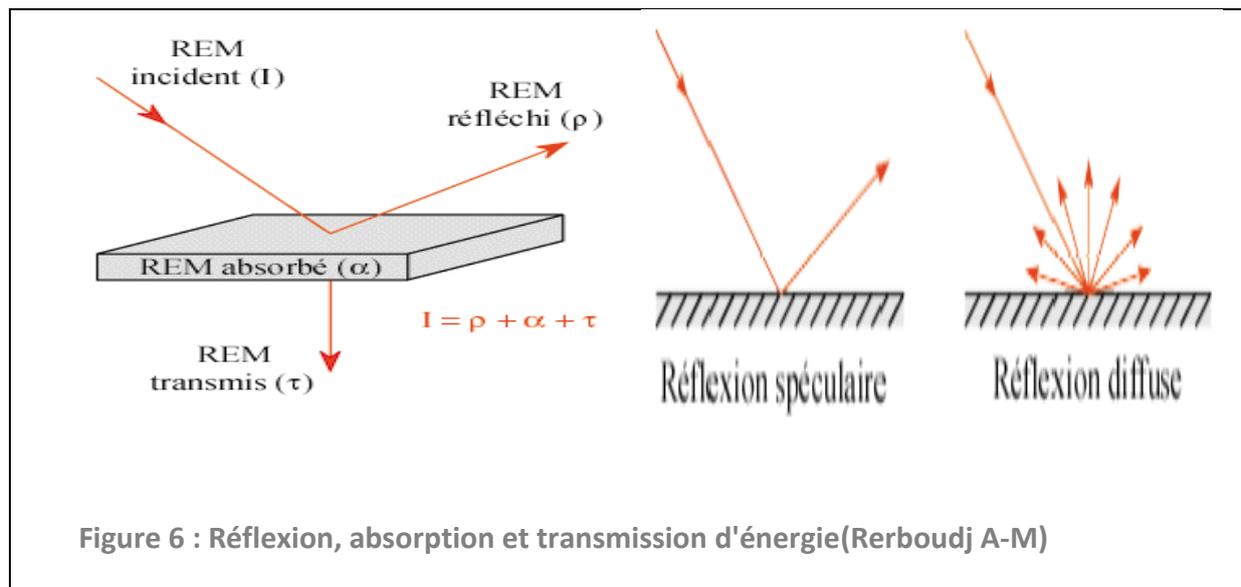


Figure 5 : onde électromagnétique monochromatique (Rerboudj A-M)

### 3-2. la cible

La cible : elle réfléchit, émet, transmet ou absorbe le rayonnement électromagnétique. La réflexion et l'émission sont des porteurs d'information concernant l'objet. La transmission et l'absorption du rayonnement par l'objet se traduisent par l'enregistrement d'une faible quantité d'énergie au niveau du capteur. Cette faible énergie joue un rôle très important en photo-interprétation elle traduit un bon contraste entre l'objet et son environnement. **(Rerboudj A-M).**



### 3-3. L'environnement :

L'atmosphère est un milieu très hétérogène (gaz divers) : ces gaz et les particules ont des températures supérieures à 0°k ; ils émettent de l'énergie (processus d'absorption, de réémission, de diffraction, de réfraction, de réflexion) et introduisent ainsi des parasites (Fig.5). Le voisinage introduit une diminution ou une augmentation d'énergie liée à l'état de la surface et la résolution alors que l'atmosphère introduit deux types de perturbations : les perturbations géométriques et les perturbations radiométriques **(Rerboudj A-M).**

Remarque : L'atmosphère altère le signal dans son double trajet :

- source – cible
- cible – capteur

Pour les applications courantes, nous supposerons que cette perturbation est quasiment la même pour tous les objets ; nous pouvons donc l'occulter

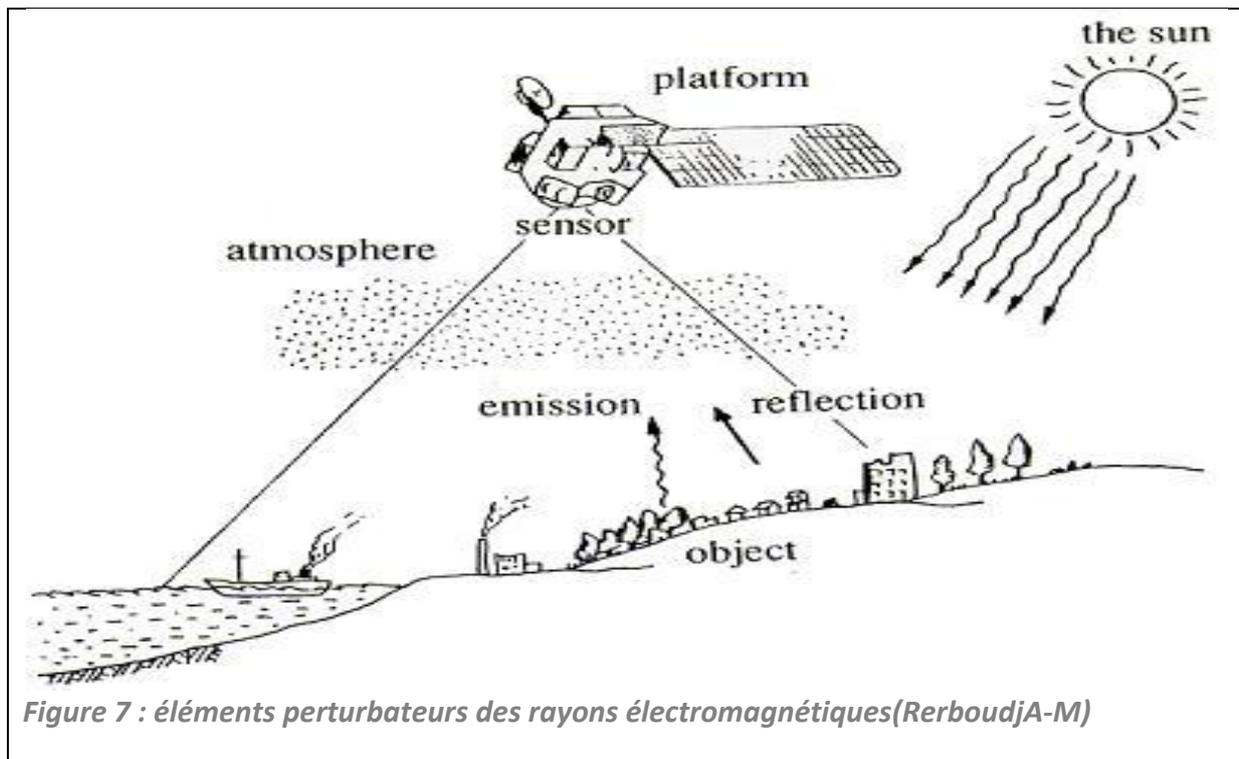


Figure 7 : éléments perturbateurs des rayons électromagnétiques(RerboudjA-M)

### III- Systèmes d'observation :

Ils représentent à la fois les instruments de mesures du *rayonnement électromagnétique* (capteurs), et les systèmes de *téledétection* (plates formes).

#### 1-Les satellites :

##### 1-1. Landsat :

Bien que plusieurs satellites météorologiques soient également utilisés pour la surveillance de la surface de la Terre, ceux-ci n'ont pas été conçus pour la cartographie détaillée de la surface terrestre. Suite aux succès éclatants des premières images des satellites météorologiques dans les années 60, et par les images acquises lors des missions spatiales habitées, le premier satellite d'observation Landsat-1 a été lancé par la NASA en 1972. Connu à l'origine sous l'acronyme ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite),

Landsat avait été conçu pour tester la faisabilité d'une plate-forme multi spectrale d'observation de la Terre non habitée. Depuis, le programme Landsat a permis l'acquisition de données sur tous les coins de la planète. Le programme Landsat qui était gérée à l'origine par la NASA, est sous la responsabilité de la NOAA, en 1983. En 1985, le programme a été commercialisé pour fournir des données aux divers utilisateurs civils. Tous les satellites Landsat ont été placés en orbite héliosynchrone polaire. Les trois premiers satellites (Landsat-1 à Landsat-3) se situaient à une altitude de 900 km avec une répétitivité de 18

jours, tandis que les derniers orbitent à une altitude approximative de 700 km avec une répétitivité de 16 jours. Tous les satellites Landsat croisent l'équateur le matin pour profiter des conditions d'illumination optimales.

Les satellites de la série Landsat portent plusieurs capteurs comme les systèmes de caméras RBV (Return Beam Vidicon), le système MSS (Multi Spectral Scanner), et plus tard, le TM (Thematic Mapper) Chacun de ces capteurs a une fauchée de 185 km, avec une scène complète de 185 km sur 185 km.

### 1-2 . sentinel :

Les satellites Sentinel , sont une famille de satellites d'observation de la Terre et d'instruments embarqués destinés à remplacer notamment le satellite ENVISAT. Ils constituent le volet spatial du programme Copernicus de l'Union européenne. Il contient plusieurs collection telle que :

- Les 2 Sentinel-1 doivent fournir une imagerie radar tout-temps, jour et nuit, à des fins d'observation du sol et des océans. Lancés le 3 avril 2014 et le 25 avril 2016.
- Les 2 Sentinel-2 doivent fournir des images multi-spectrales à grande résolution. Lancés le 23 juin 2015 et le 07 mars 2017.
- Les 2 Sentinel-3 fournissent des données optiques, radar et altimétrique sur les océans et continents. Lancés en 2018
- Les Sentinel-4 et 5 fournissent des données sur la composition de l'atmosphère. Le premier doit être lancé en 2019.

#### a- Focus sur Sentinel 2 :

- Les satellites Sentinel 2 possèdent plusieurs spécificités qui en font des outils innovants pour l'agriculture numérique. La répétitivité de la mesure (passage tous les 5 jours) et la multiplicité des mesures (13 bandes observés) permettent de suivre à haute résolution l'occupation des sols et les données environnementales.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

Composé de 2 satellites 2A et 2B

- Lancés en 2015 et 2017
- Passage tous les 10 jours, soit une revisite tous les 5 jours avec deux satellites.
- Fauchée d'une photo : 290km
- Imageur multi spectral 13 bandes :

En 60m : 443nm, 940nm, 1375nm

En 20m : 705nm, 740nm, 783nm, 865nm, 1610nm, 2190nm

En 10m : 490nm, 560nm, 665nm, 842nm

Les données de Sentinel sont téléchargeables depuis certains sites, en images brutes (sans post-processing) ou traitées pour enlever les effets atmosphériques.

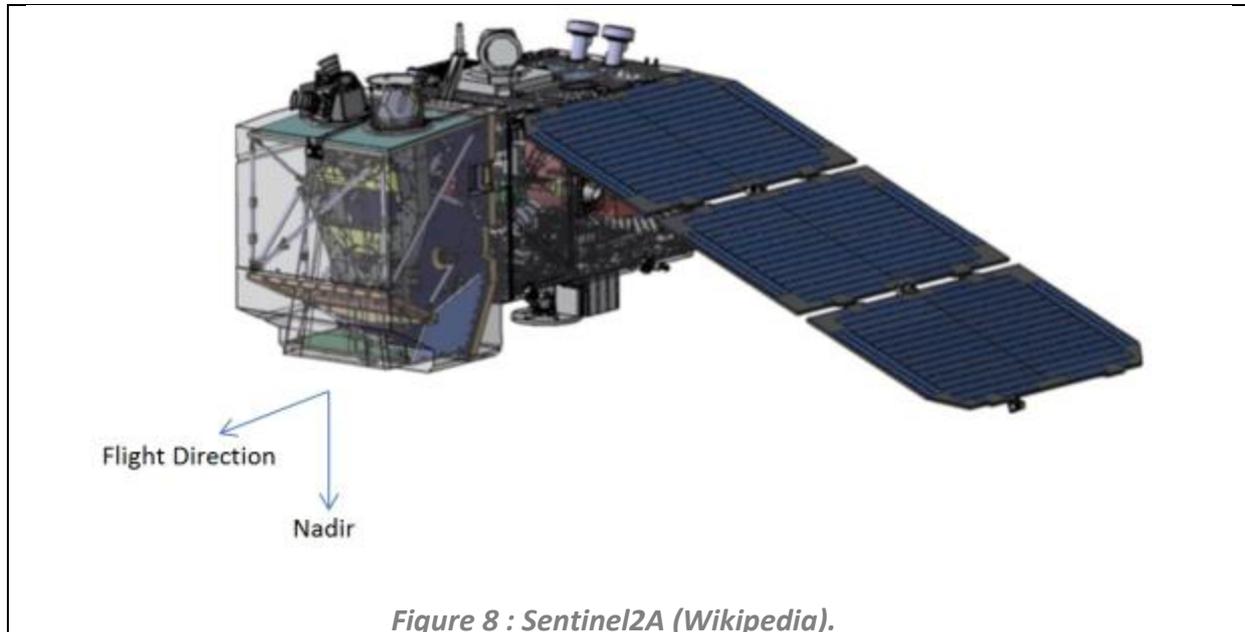


Figure 8 : Sentinel2A (Wikipedia).

## 2- les capteurs :

Les capteurs sont des appareils capables de recevoir le rayonnement qui vient de la terre et de le transformer en un signal permettant la mémorisation de l'information. Ils se distinguent par leurs types d'acquisitions (passif ou actif), leurs modes d'acquisitions et leurs résolutions.

### 2-1 : Type d'acquisition :

**Les capteurs passifs :** le soleil est la source d'énergie ou de rayonnement utilisé en télédétection. Cette énergie est soit réfléchi (la portion visible) ou absorbée et transmise (fluorescence, infra-rouge thermique) par la cible. Les capteurs passifs sont des dispositifs de télédétection qui mesure l'énergie disponible naturellement.

**Les capteurs actifs:** produisent leur propre énergie pour illuminer la cible, et mesurer le signal rétrodiffusé dans sa direction. Ce sont des radiomètres opérant dans le domaine des hyperfréquences, ils ont l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison.

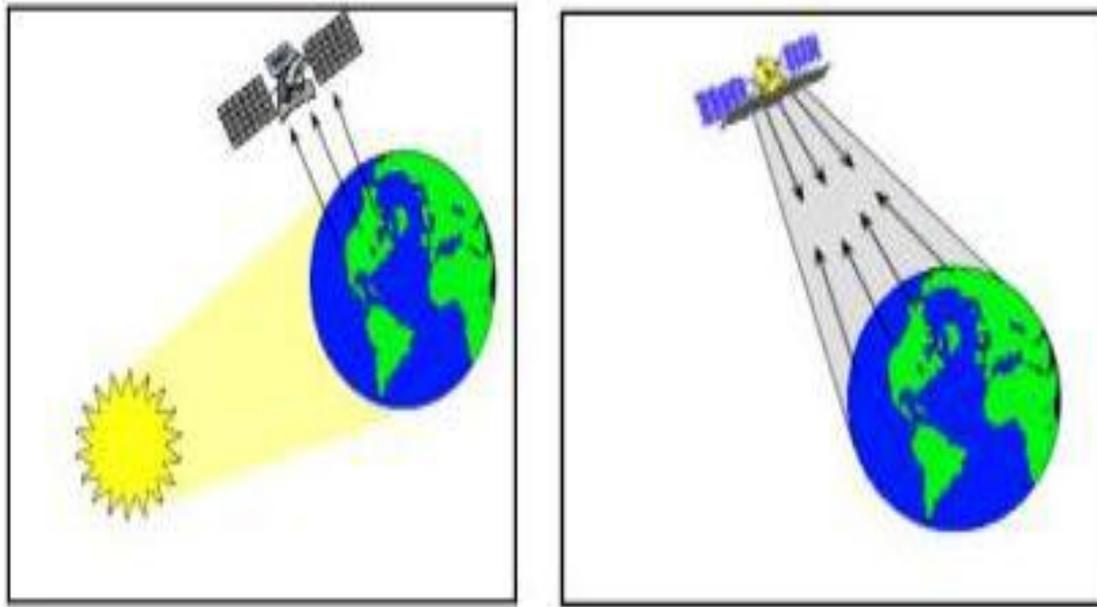


Figure 9: Principe de la télédétection passive et active(Rerboudj A –M)

### 2-2 : les capteurs utilisés :

On a travaillé sur deux satellites (landsat et sentinel ) , et précisément sur leurs capteurs landsat (TM et OLI) , Sentinel 2A(MSI) .

#### a-landsat TM

Le capteur TM apporte plusieurs améliorations : une meilleure résolution spatiale et radiométrique, des bandes spectrales plus étroites, sept bandes spectrales, et une augmentation du nombre de détecteurs par bandes (seize pour les bandes non thermiques). Seize lignes de balayage sont captées simultanément pour chaque bande spectrale non thermique (quatre pour les bandes thermiques). La limite de résolution spatiale du TM est de 30 m pour toutes les bandes, sauf l'infrarouge thermique qui est de 120 m. Toutes les bandes sont enregistrées sur une étendue de 256 valeurs numériques (8octets). Le tableau suivant décrit la résolution spectrale des bandes individuelles TM et leurs applications.

Tableau1 : les bandes de capteur TM.

Bandes	Domaine spectral (microns)	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie/cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles; (absorption de chlorophylle); identification des traits culturels et urbains
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	identification des types de végétation et de plantes; santé et contenu de la masse biologique; délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol
TM 5	1,55 - 1,75 (IR de courte longueur d'onde)	sensible à l'humidité dans le sol et les plantes; discrimination entre la neige et les nuages
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique; cartographie thermique
TM 7	2,08 - 2,35 (IR de courte longueur d'onde)	discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation

**b-Sentinel 2A (MSI) :**

Deux satellites Sentinel-2(2A ,2B) sont prévus pour observer la totalité des terres émergées tous les 10 jours, avec une résolution de 10 à 60 m. Ces 2 satellites seront équipés de l'instrument MSI (Multi-Spectral Instrument) fonctionnant dans 13 bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge. Quatre bandes spectrales (490, 560,670 et 850 nm) seront fournies à 10 m de résolution, 3 bandes spectrales (440, 940 et 1370 nm), destinées aux corrections atmosphériques auront une résolution de 60 m, les 6 bandes restantes seront fournies à 20 m de résolution. L'instrument permettra d'observer une fauchée de 290 km (Drusch et al.2012).

Tableau 2 : les bands de capteur MSI

Bands	Central wavelenge( $\mu\text{m}$ )	Resolution(m)
B1 : coastal aerosol	0,443	60
B2 : blue/bleu	0,490	10
B3 : green/vert	0,560	10
B4 : red/rouge	0,665	10
B5 : vegetation red edge	0,705	20
B6 : vegetation red edge	0,740	20
B7 : vegetation red edge	0,783	20
B8 : PIR	0,842	10
B8A : vegetation red edge	0,865	20
B9 : water vapour	0,945	60
B10 : SWIR-cirrus	1,375	60
B11 : SWIR	1,610	20
B12 : SWIR	2,190	20

### c- Le capteur OLI (Operational Land Imager) :

De Landsat8 qui a été lancé le 11 février 2013, il acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge. Sept de ces bandes spectrales étaient déjà présentes sur la version précédente de l'instrument TM de Landsat, Deux canaux supplémentaires ont été ajoutés, destinés principalement à la correction atmosphérique (Canal bleu à 440 nm) et à la détection des nuages (1380 nm). La résolution optique est de 30 mètres sur toutes les bandes sauf sur la bande panchromatique (15 m).

Pour comparer les images du capteur TM et celle du OLI, il faut qu'elles présentent les mêmes caractéristiques spectrales et surtout la résolution et la performance radiométrique. Cette dernière est quantifiée sur une plage dynamique de 12 bits sur le nouveau capteur (Cela se traduit par 4096 niveaux de gris potentiels dans une image par rapport à seulement 256 niveaux de gris de 8 bits instruments précédents), cela permet d'améliorer le signal de bruit pour une meilleure caractérisation de l'état de la couverture terrestre. Les produits d'OLI sont livrés sous forme d'images de 16 bits (55 000 à l'échelle des niveaux de gris)(Rafik ;Oughriss 2016).

Tableau 3 : les bands de capteur OLI

Bands	Wavelength( $\mu\text{m}$ )	Resolution(m)
B1 : coastal aerosol	0,43-0,45	30
B2 : blue/bleu	0,45-0,51	30
B3 : gren/vert	0,53-0,59	30
B4 : red/rouge	0,64-0,67	30
B5 : PIR	0,85-0,88	30
B6 : SWIR 1	1,57-1,65	30
B7 : SWIR 2	2,11-2,29	30
B8 : Panchromatic	0,50-0,68	15
B9 : cirrus	1,36-1,38	30

## IV-Les images satellite :

### 1-Définition :

Selon le mode de stockage, on distingue les images analogiques et les images numériques. L'**image numérique** est une fonction  $F(X, Y)$  à deux variables X et Y qui sont respectivement la ligne et la colonne, fournissant une ou plusieurs valeurs entières représentant les niveaux de gris du pixel dans les différents canaux. Chaque valeur radiométrique est codée sur N bits (N bits = 8 pour la plupart des systèmes de télédétection) et il lui correspond  $2^{Nbits}$  niveaux de gris. Chaque image peut occuper un

espace mémoire égal à  $X \times Y \times N \text{ bits}$  pour une seule bande spectrale. L'image numérique est une matrice dont chaque élément nous renseigne sur la luminance d'une portion élémentaire de l'objet au sol.

### 1-2.format de l'image :

Les formats standards de bandes magnétiques que l'on peut trouver en télédétection sont:

- \* **BSQ**: Band Sequential,
- \* **BIL**: Band Interleaved by Line,
- \* **BIP**: Band Interleaved by pixel



*Figure10 : représentation des pixels dans une image satellitaire (Rafik ; oughriss,2016)*

### 2-visualisation des images :

Le principe de la visualisation d'un canal d'une image numérique est d'associer en niveau de gris, c'est-à-dire d'afficher. Mais il est également possible de visualiser plusieurs canaux simultanément en système additive des couleurs. C'est ce que l'on appelle une composition colorée, ceci constitue une généralisation de la visualisation d'un canal à deux ou trois dimensions.

Cet affichage en trichromie est sous deux formes :

-une composition colorie vrais :

Bande Rouge (B3 du TM) dans le rouge

Bande vert (B2 du TM) dans le vert

Bande Bleu (B1 du TM) dans le Bleu

Ou en fausse couleur, dont on affecte n'importe quelle bande spectrale à n'importe quelle couleur. Le plus important ici d'arriver à faire la distinction entre les objets ou les classes thématiques

## V-Extraction de l'information :

### 1- L'indice de végétation par différence normalisée ou indice de Tucker (NDVI).

L'indice de végétation est un outil utilisé dans les domaines environnementaux et pour l'agriculture en particulier, car il fournit des informations sur la verdure et l'état de la végétation. La formule de calcul du NDVI est :

$$\text{NDVI} = (\text{proche IR} - \text{rouge}) / (\text{proche IR} + \text{rouge})$$

$$\text{Pour Landsat TM5 : NDVI} = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

$$\text{Pour Landsat 8 : NDVI} = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

$$\text{Pour Sentinel2 : NDVI} = (B8 - B4) / (B8 + B4)$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairage. Le NDVI conserve une valeur constante quelle que soit l'éclairage global, contrairement à la simple différence entre la bande PIR et Rouge (indice de végétation simple), qui est très sensible aux variations d'éclairage. Cet indice normalisé est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation.

Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Une végétation en bonne santé absorbe la plupart de la lumière visible qui l'intercepte et réfléchit une partie importante de la lumière PIR. Une végétation en mauvaise santé ou clairsemée réfléchit plus de lumière visible et moins de PIR. La puissance de cet indice réside dans sa capacité de distinguer même entre les espèces végétales, car il est directement lié à l'activité photosynthétique des plantes et donc à la capacité d'absorption énergétique du couvert végétal agit comme indicateur de la biomasse chlorophyllienne des plantes (Rafik;Oughriss,2016).

## 2-Indice du sol par différence normalisée NDSI :

Les valeurs de NDSI varient selon la signature spectrale de la bande infrarouge et le proche infrarouge moyen. Les couleurs claires (valeurs positives) symbolisent les sols et les couleurs sombres (valeurs négatives) symbolisent autres éléments du paysage. Il est utile dans la cartographie des entités pédologiques, mais aussi certains éléments de constructions environnantes. La formule pour calculer cet indice est :

$$\mathbf{NDSI = (Vert - SWIR) / (Vert + SWIR).}$$

Pour Landsat TM5 :  $\mathbf{NDSI=(B2-B5)/(B2+B5)}$

Pour Landsat8 :  $\mathbf{NDSI=(B3-B6)/(B3+B6)}$

Pour Sentinel2 :  $\mathbf{NDSI=(B3-B11)/(B3+B11)}$

## 3-Evolution spatio-temporelle de l'indice de l'urbanisme (NDBI) :

Le phénomène urbain est à l'heure actuelle un enjeu important à l'échelle planétaire. C'est pourquoi, il est absolument nécessaire de se doter de moyens conceptuels et méthodologiques qui peuvent en améliorer la compréhension et le suivi. Cet effort est important bien que les règles de production, les modes d'implantation et d'évolution, les caractéristiques de peuplement (solde naturel, migration, etc.) ainsi que les formes d'urbanisation ne soient pas précisément comparables. La modélisation urbaine a facilité ces investigations en favorisant une conceptualisation du système urbain selon deux approches complémentaires : l'une analytique, utilisée pour la description et la mise en relation des composantes urbaines ; l'autre synthétique répondant au besoin d'articulation de ces composantes au sein d'une même unité territoriale plus ou moins élastique. Pour la détermination de l'indice de l'urbain, il n'existe pas aucune relation ou formule qui calcule cet indice d'une manière précise et exacte. Mais d'après les recherches effectuées durant la réalisation de cet projet, on a pu à trouver une formule qui détermine l'indice de l'urbanisme mais avec une confusion avec NDWI. Et qui se présente au-dessous sous forme de:

$$\mathbf{NDBI= (SWIR-PIR)/ (SWIR+PIR)}$$

Pour Landsat TM5 :  $\mathbf{NDBI= (B5-B4)/ (B5+B4)}$

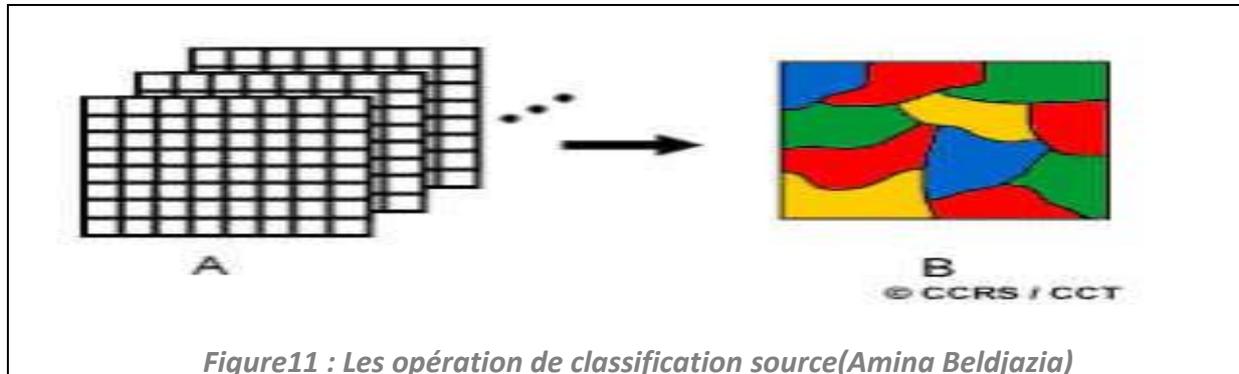
Pour Landsat 8 :  $\mathbf{NDBI=(B6-B5)/(B6+B5)}$

Pour Sentinel2 :  $\mathbf{NDBI=(B11-B8)/(B11+B8)}$

## 4-Classification :

Les opérations de classification et d'analyse d'image sont utilisées pour identifier et classifier numériquement des pixels sur une image. La classification est habituellement faite sur des banques de données multi spectrales (A), et ce procédé donne à chaque pixel d'une image

une certaine classe ou thème (B) basé sur les caractéristiques statistiques de la valeur de l'intensité du pixel (figure11). Il existe une variété d'approches prises pour faire une classification numérique. Nous allons brièvement décrire deux approches générales qui sont souvent utilisées, soit la classification supervisée et la classification non supervisée.



**Supervisée** : on utilise des zones pour lesquelles on connaît l'occupation du sol comme des exemples pour un apprentissage, la classification est effectuée à partir des caractéristiques statistiques de ces zones connues et identifiées sur l'image.

**Non supervisée** : on regroupe les pixels de l'image par similarité et on identifie les classes ensuite. La classification supervisée fournit souvent de meilleurs résultats, mais elle nécessite des données de référence pour l'apprentissage (campagnes sur le terrain, photo-interprétation, image très haute résolution, etc.).(Idbraim, S.2009)

## VI-Méthodologie de notre travail :

### 1-choix des dates des images :

Nous avons choisis les images Landsat selon leurs disponibilités dans le site web (<https://earthexplorer.usgs.gov>) et les images Sentinel par le site web (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/-/home>), Les capteurs satellitaires sont exposés habituellement aux effets atmosphériques (nuages, poussière et autres) ce qui rend la vision et l'interprétation de l'image parfois pénible. Nous avons fixé le mois novembre de chaque année pour mettre l'accent sur la végétation qui endure toute l'année et les surfaces d'eau permanentes à fin de suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace. Ce qui permet au capteur de prendre une image propre qui ne nécessite pas trop de correction atmosphérique pour la visualiser.

## 2-Traitement :

L'image satellite à travers les bandes qui la compose regroupe pas mal d'informations, elle nécessite des traitements spéciaux pour les extraire, La différenciation des paysages repose sur la dissimilitude de leur signature spectrale. Il convient de contrôler la distribution des données pour une éventuelle rectification. De même qu'il convient de rapporter à un même ordre de grandeur les dynamiques respectives de différents fichiers-images avant de les comparer. Ces transformations facultatives ne modifient pas l'information mais elles sont de nature à améliorer les visualisations et la pertinence des traitements ultérieurs.

L'**ArcGis** (10.3) est logiciel utilisés pour calculer les indices spectraux (NDVI, NDBI, NDSI), et pour faire des classifications non supervisées et ACP afin de détecté le changement dans l'espace et dans le temps.

# Chapitre 3 : Résultats et discussions

## I-Introduction :

Ce chapitre est le fruit de notre travail sur les images satellite, il illustre les informations qui nous voulons extraire après les calculs et les traitements qu'on a fait.

Notre résultats vont être sous forme des cartes de chaque indice qui vont représenter l'évolution de végétation, sol et construction dans la zone d'étude afin d'avoir une idée générale sur l'occupation du sol pendant ces 30 années.

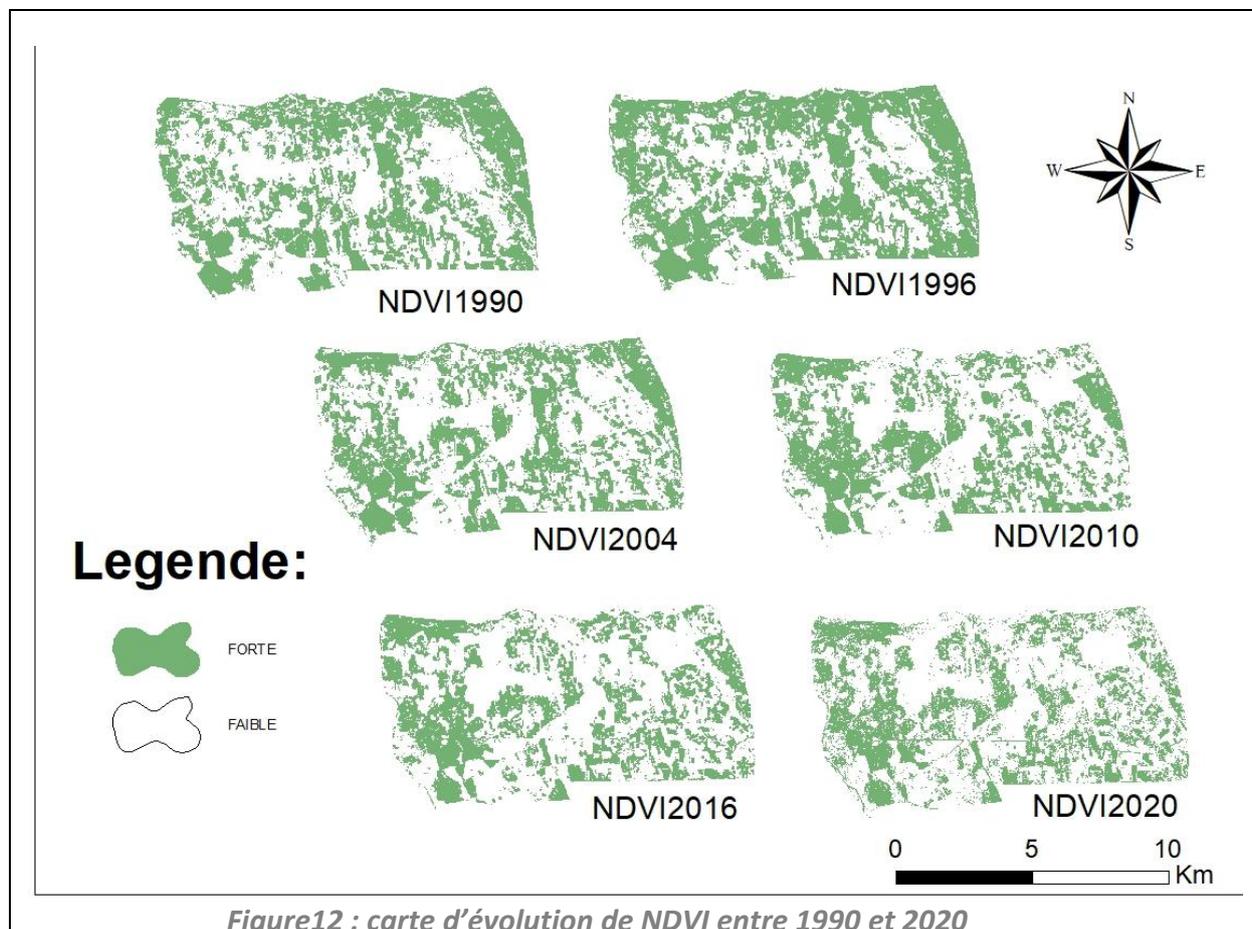
## II-l'évolution temporelle :

### 1-variation de NDVI :

Cet indice d'après les bandes utilisées va avoir une variation très sensible à la densité de végétation alors va indiquer l'évolution de la surface de végétation.

Dans notre étude on a choisi de travailler avec 6 années entre (1990\_2020), pour chaque année on calcul NDVI et on le casse en deux classes : entre (0\_1) vert (Figure 12) et entre (-1\_0) blanc.

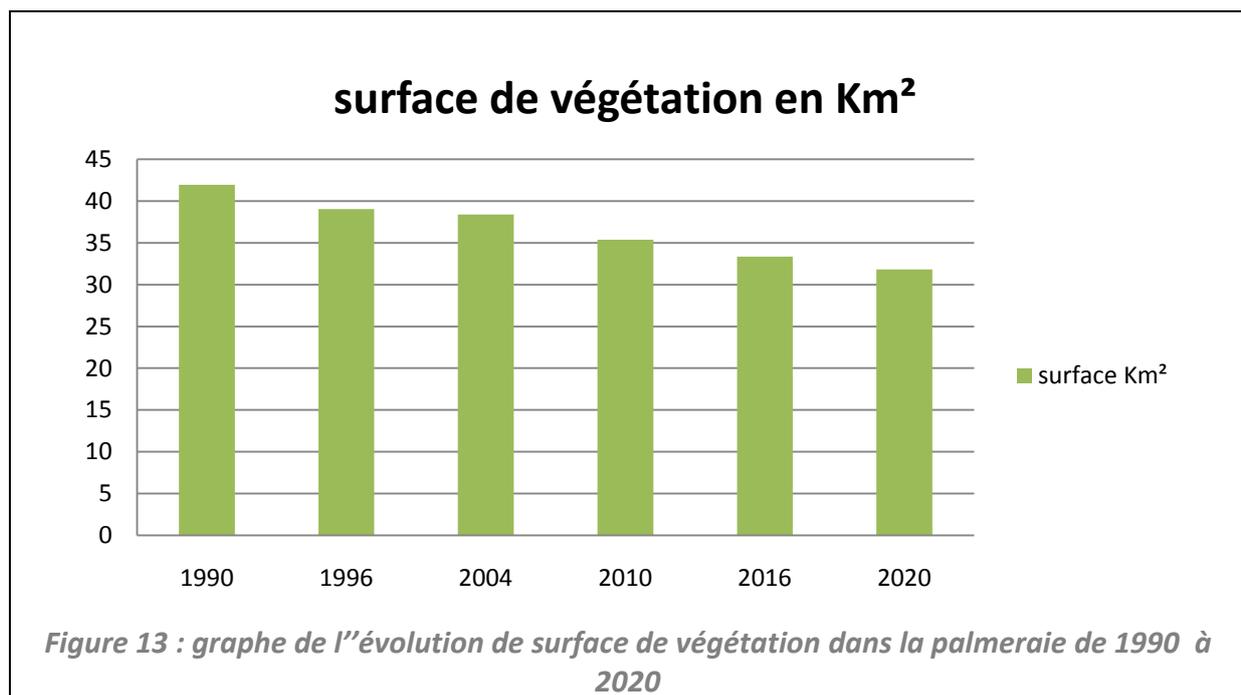
Après avoir les cartes (Figure 12) on voit clairement que la végétation (la couleur verte) a diminué de 1990 à 2020.



Notre deuxième étape c'est d'utiliser la table attributive de classe de végétation (couleur verte) pour avoir le nombre de pixel et calculer la surface en utilisant la relation :  $N^{\circ}pixel \times resolution^2$  et après on extrait les pourcentages (tableau 4).

**Tableau 4 : évolution de surface de végétation dans la palmeraie de 1990 à 2020**

année	surface Km <sup>2</sup>	pourcentage%	taux de variation
1990	41,9589	48,00%	
1996	39,0465	44,00%	-4%
2004	38,3778	43,00%	-1%
2010	35,3619	40,00%	-3%
2016	33,3468	38,00%	-2%
2020	31,8229	36,00%	-2%



La surface de végétation a diminué de  $41,95\text{km}^2$  en 1990 à  $31,82\text{km}^2$  en 2020 avec un taux de variation égal 12%(tableau 4).

D'après (figure 15) on observe que la diminution est plus importante entre (2010\_2020) que entre (1990\_2004).

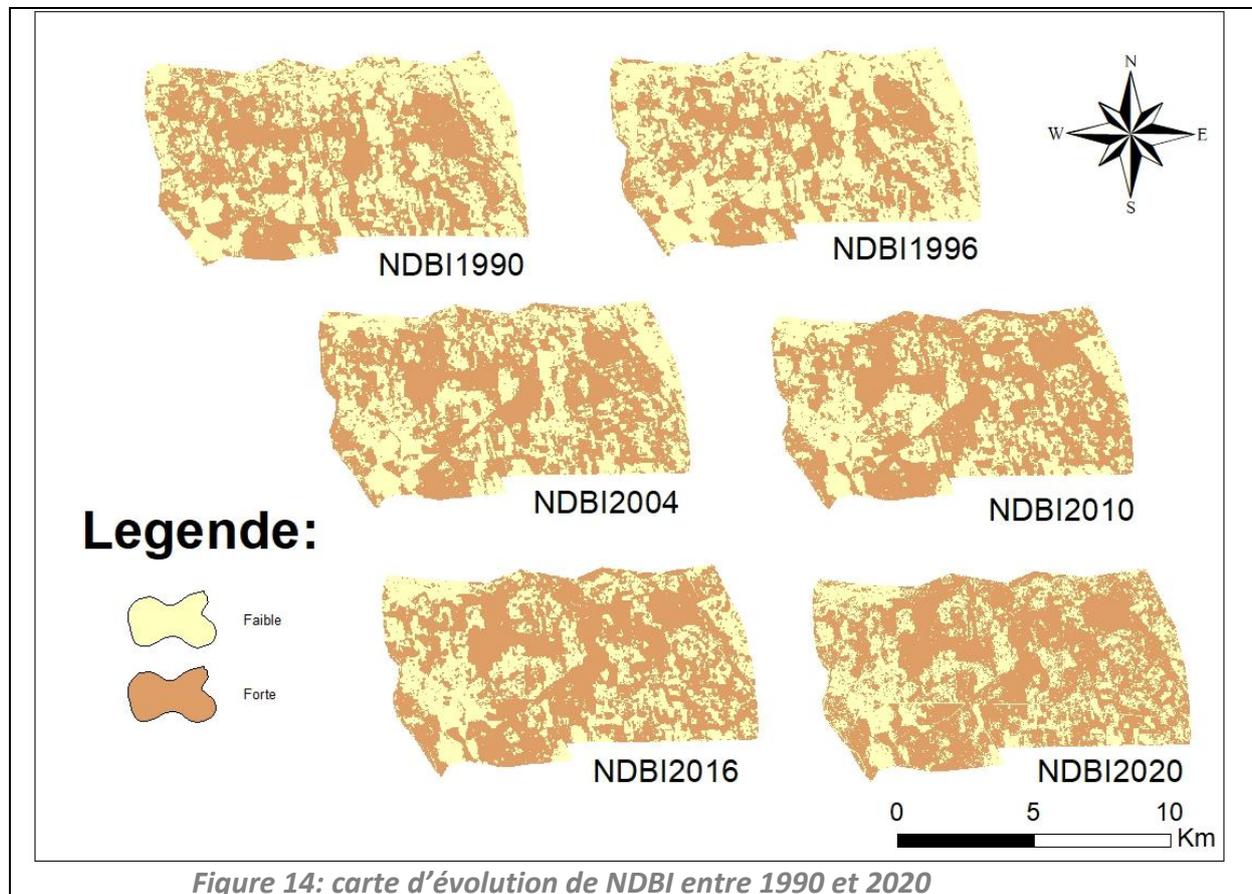
La surface de végétation a connu une diminution pendant ces 30 années, ça peut être le résultat de pas mal des raisons :

**Une période de sécheresse : une basse précipitation pendant l'hiver.**

**L'urbanisation : la colonisation de surfaces vertes par les constructions**

## 2-Variation de NDBI :

NDBI est un indice qui détecte l'urbanisme alors il va nous donner l'évolution de bâti. Avec les mêmes étapes on va travailler sur NDBI et cette fois, la couleur marron (Figure 14) va être identifiée de l'urbanisme.

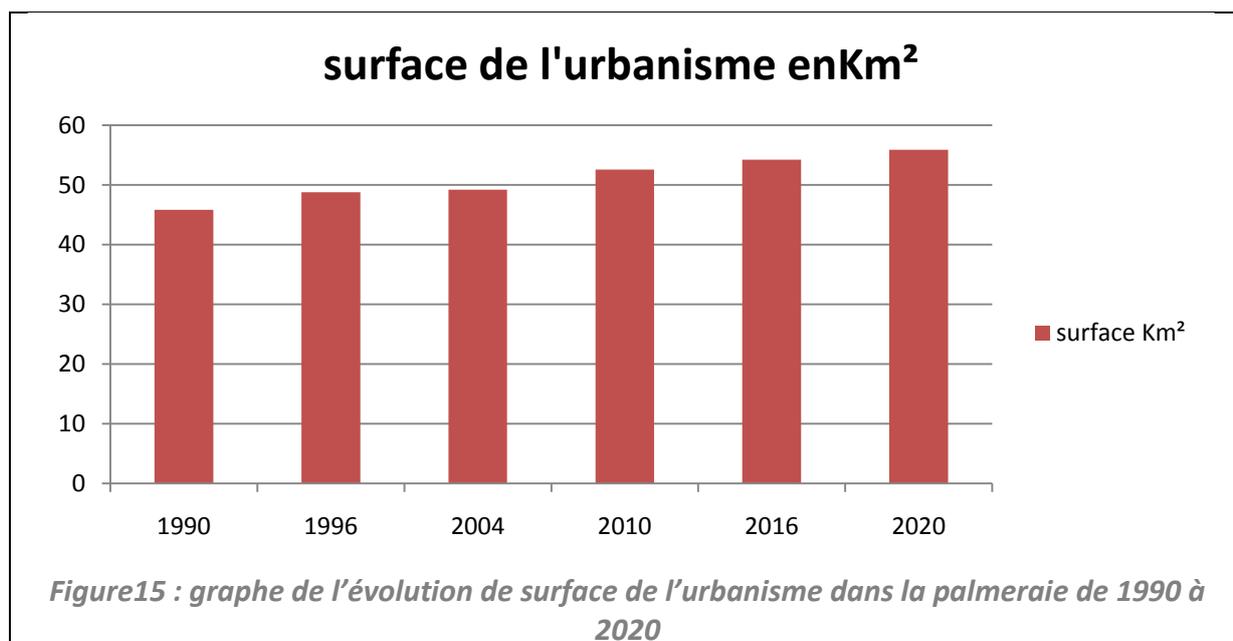


On voit qu'il y a une augmentation de surface occupée par l'urbanisme même que - Après les calculs réalisés de l'indice, et l'analyse des résultats et des cartes obtenues (figure 14). On remarque bien l'existence d'une petite confusion au niveau des bâtiments et les infrastructures détectées avec les alluvions des rivières (oueds).

Cette confusion apparaît tout simplement normale et logique, car les matières de construction des bâtiments et des infrastructures, en plus de tout ce qui est lié à l'urbain sont formées par des alluvions et les autres matières qui sont détectées géologiquement d'où la même signature spectrale (Rafik ;ougriss,2016), et pour cette raison on a choisie cette légende .

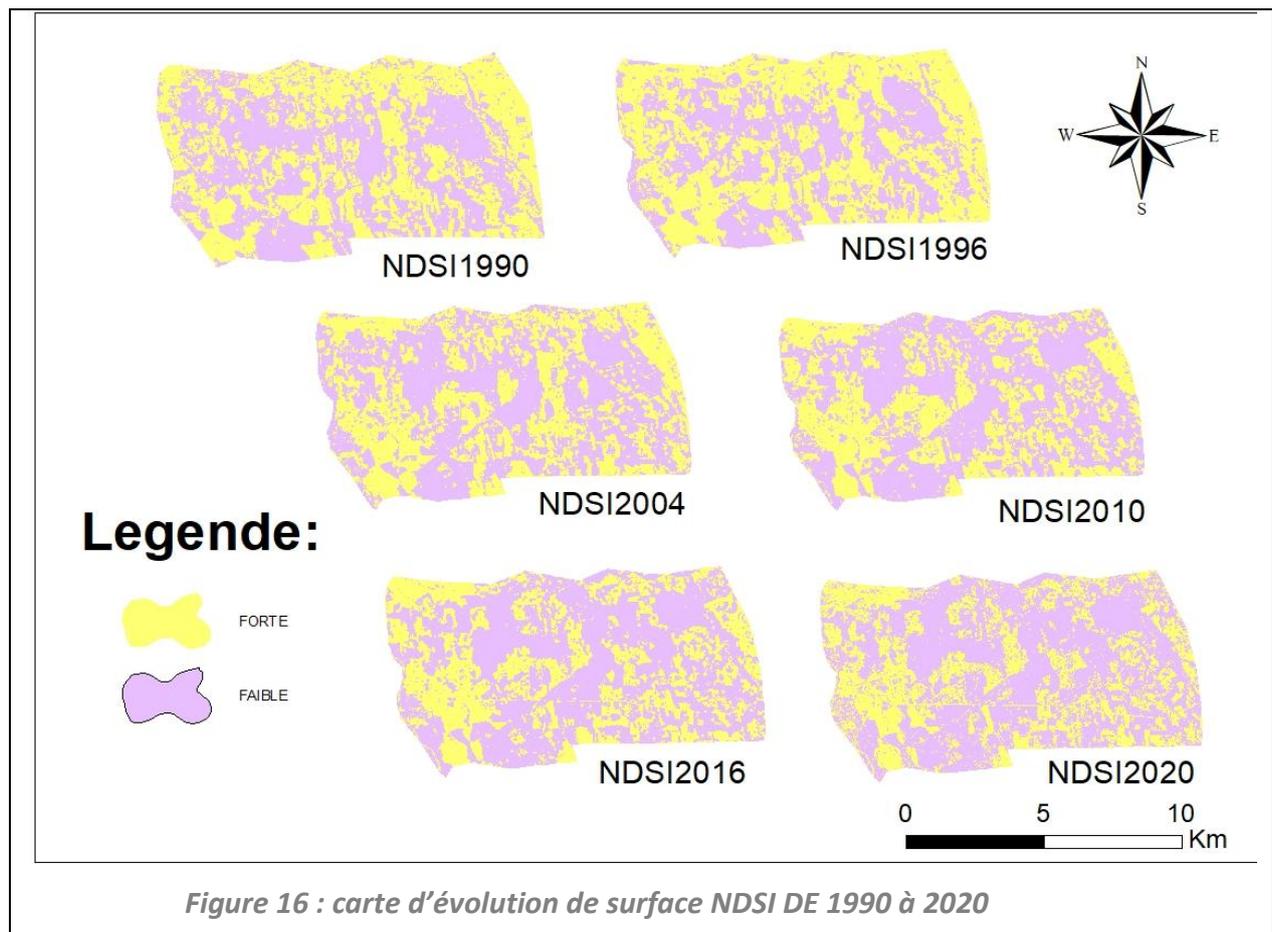
Tableau 5 : évolution de surface d'urbanisme dans la palmeraie de 1990 à 2020

année	surface Km <sup>2</sup>	pourcentage%	taux de variation
1990	45,855	52,00%	
1996	48,7944	55%	+3%
2004	49,221	56%	+1%
2010	52,5618	60%	+4%
2016	54,2484	62%	+2%
2020	55,897	64%	+2%



La surface de l'urbanisme a augmenté de 45,85 km<sup>2</sup> en 1990 à 52,56 km<sup>2</sup> en 2010 vers 55,89 km<sup>2</sup> en 2020 avec un taux d'augmentation de 12% (tableau 5) passant de 52% en 1990 à 64% en 2020. Cette augmentation était attendue à cause de l'expansion touristique et démographique.

## 3-variation de NDSI :



La surface de sol, couleur jaune (figure 16) a connu une diminution pendant cette 30 années  
 Ce dynamisme de la variation de la superficie du sol peut être expliqué par certains paramètres qui interviennent sur la nature et la qualité pédologique on cite :

- **Le climat (une diversité des sols existe tout au dépend de climat).**
- **La nature de couvert végétal.**
- **La nature de couvert végétal.**
- **L'état de végétation (morte ou vivante qui a un rôle dans la structure et la texture du sol).**
- **La nature de roche mère.**
- **Le temps d'altération.**
- **L'urbanisme et les infrastructures en général**

Tableau 6: l'évolution de surface de sol dans la palmeraie entre 1990 et 2020

année	surface Km <sup>2</sup>	pourcentage%	taux de variation
1990	43,965	50%	
1996	38,8566	44%	-6%
2004	39,0843	44,42%	+0,42%
2010	36,2196	41%	-3%
2016	34,8354	40%	-1%
2020	32,7129	37%	-3%

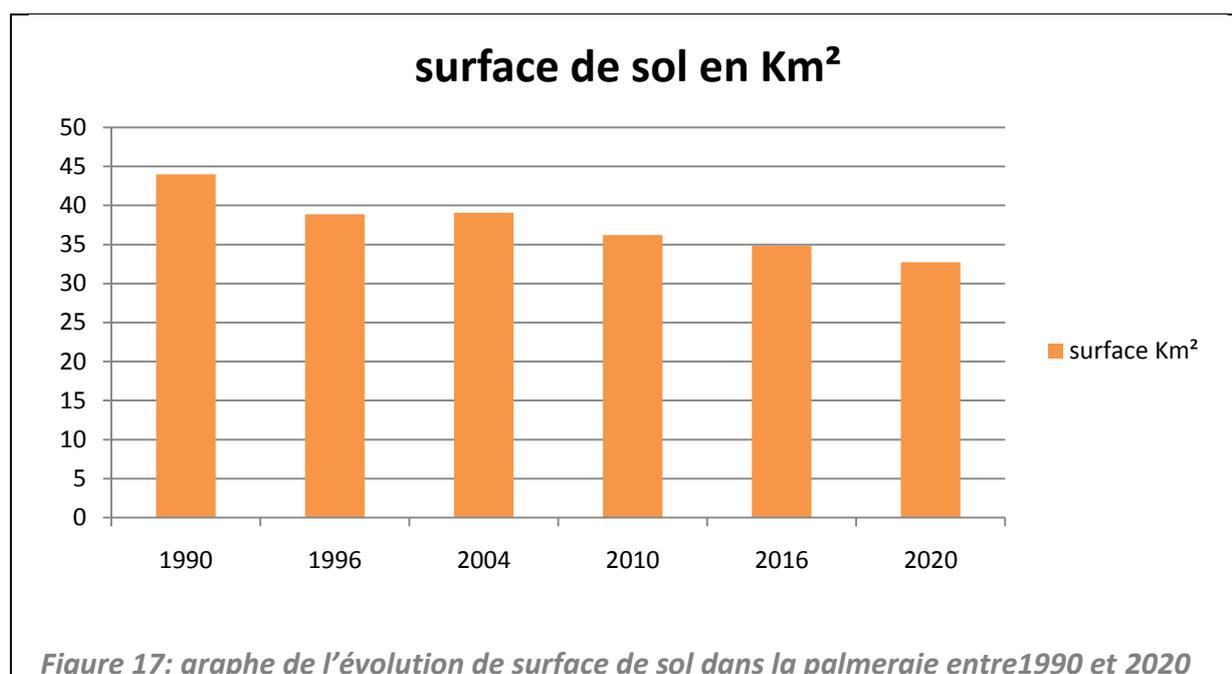


Figure 17: graphe de l'évolution de surface de sol dans la palmeraie entre 1990 et 2020

Selon les résultats présentés dans le diagramme ci-dessus (figure 17), on constate une diminution au niveau de la surface occupée par le sol nu pendant l'intervalle de temps étudié [1990-2020], le taux de changement est estimé de 12,5% de diminution de la superficie totale de la palmeraie.

Le sol a occupé environ de 43,96 Km<sup>2</sup> en 1990, cette surface a connu une diminution de 7,75 Km<sup>2</sup> en 2010, cette perte de surface a continué jusqu'à 2020 avec une régression estimée de 3,54 Km<sup>2</sup> entre [2010-2020]. (Tableau 6, figure 17).

### III-corrélation entre les indices :

#### 1- L'analyse de corrélation entre NDVI et NDSI :

Le développement de surfaces recouvertes par la végétation implique une régression des surfaces occupées par le sol. Cela explique que la surface végétale en 1990 a été d'environ 351,47km<sup>2</sup> contre 1062,82Km<sup>2</sup> pour le sol dans la même année, tandis qu'en 2020 la surface recouverte par la végétation est à l'entourage de 412,85Km<sup>2</sup> contre 653,80Km<sup>2</sup> pour le sol dans la même année (TABLEAU 7). D'après l'étude de ces deux éléments chaque 'un pour soi on peut juste dire que les deux a diminué pendant ces 30 années mais avec l'étude de corrélation on peut voir la similitude et la relation entre la diminution de sol et celle de végétation.

**Tableau 7 : la variation de surface de sol et de végétation dans la palmeraie**

année	surface de végétation Km <sup>2</sup>	Surface de sol Km <sup>2</sup>
1990	41,9589	43,965
1996	39,0465	38,8566
2004	38,3778	39,0843
2010	35,3619	36,2196
2016	33,3468	34,8354
2020	31,8229	32,7129

-L'indice du sol NDSI est en corrélation étroite avec NDVI (Fig.18), les sols réfléchissent mieux dans l'infrarouge moyen (MIR) et contrairement à la végétation il absorbe une grande partie de proche infrarouge (PIR). Ces deux entités sont toujours liées les unes aux autres, ce qui explique la variation synchronisée entre eux.

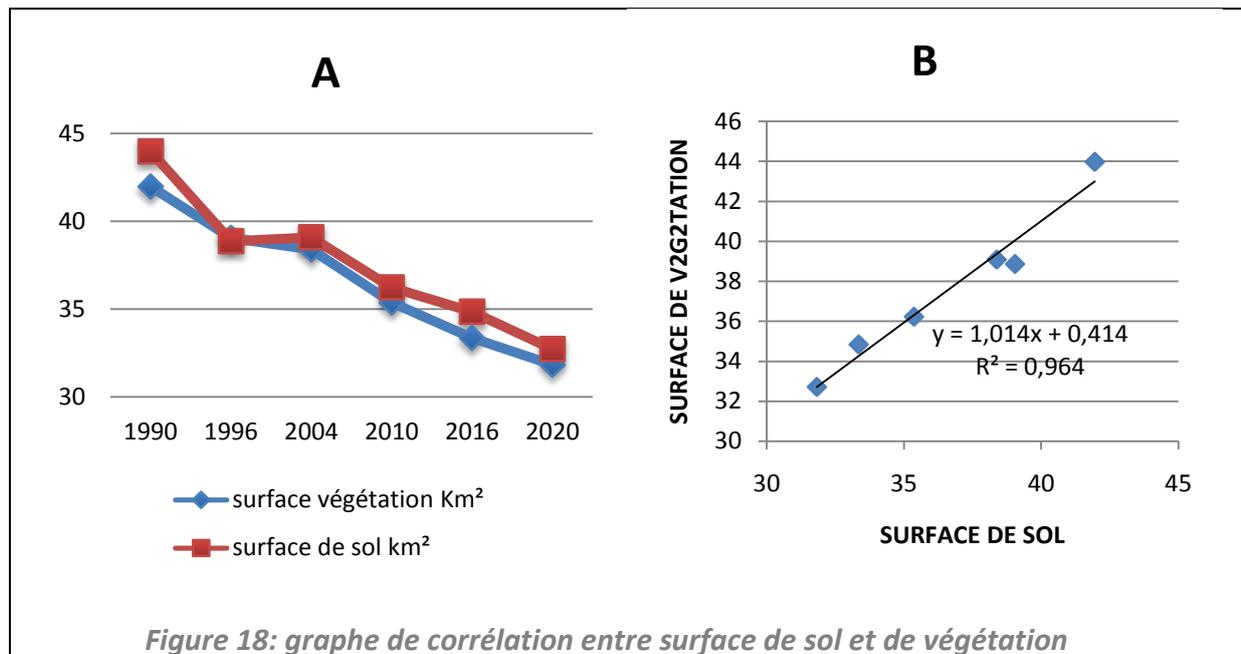


Figure 18: graphe de corrélation entre surface de sol et de végétation

D'après (le tableau4) le taux de diminution de la surface de végétation entre (1990\_2020) est 12% et celle de sol est 12,58% (tableau6) ce petit différence représente ce qu'on voit dans le graphe ci-dessus (A-figure 18), alors l'évolution du sol et celle de végétation ont une corrélation étroite (B-figure 18).

## 2- L'analyse de corrélation entre NDBI et NDVI :

L'expansion de construction est l'un des principaux causes de la régression de surface vert alors ils ont une corrélation opposé, et ça s'explique clairement d'après les valeurs de surface de construction qui ont augmentes d'un taux de  $10,04km^2$  de 1990 à 2020 alors celle de végétation ont diminués de  $10,13km^2$ (tableau8)

Tableau 8 : la variation de surface de construction et de végétation dans la palmeraie

Année	Surface construction Km <sup>2</sup>	Surface végétation Km <sup>2</sup>
1990	45,855	41,9589
1996	48,7944	39,0465
2004	49,221	38,3778
2010	52,5618	35,3619
2016	54,2484	33,3468
2020	55,897	31,8229

Le taux d'augmentation de l'urbanisme est 12% (TABLEAU 5) et celle de diminution de végétation est aussi 12%(TABLEAU 4) et ça ce voit d'après leurs graphe ci-dessous que ce comporte comme des lignes symétrique (A-figure 19) entre (1990\_2020), tans que ils sont proche d'avoir une relation droite (B-figure 19) alors ils sont corrélés négativement.

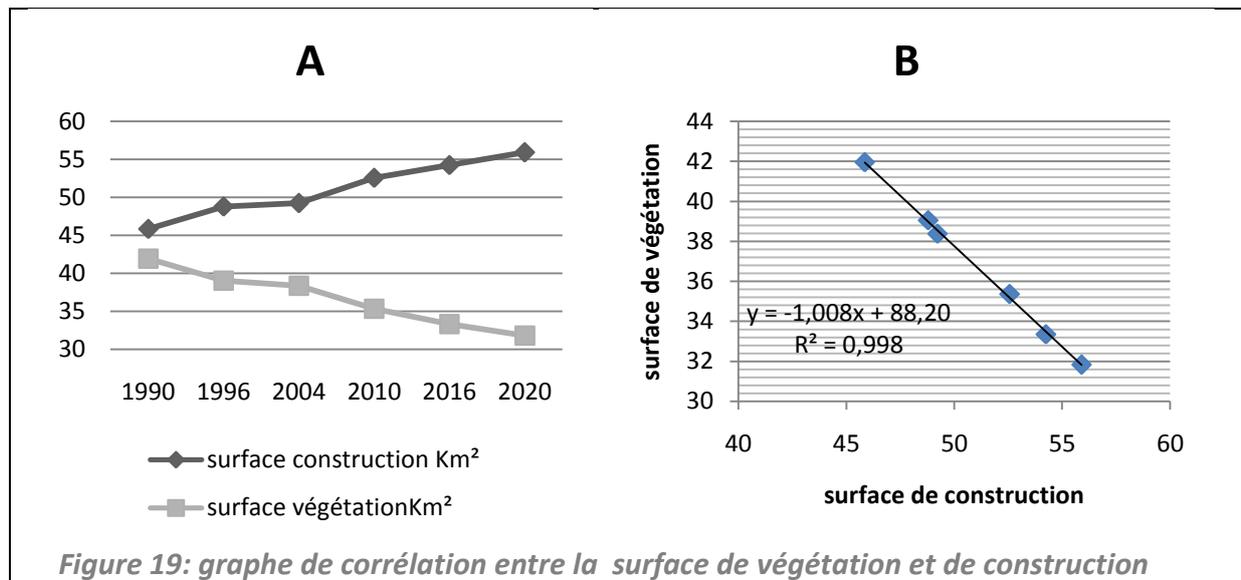


Figure 19: graphe de corrélation entre la surface de végétation et de construction

#### IV-classification non supervisé :

Après l'analyse des indices séparément on va les traiter ensemble pour avoir une carte d'occupation de sol qui va nous donner une idée illustrative sur l'évolution de la Palmeraie.

On va utiliser la classification non supervisée qui est le résultat de combinaison des indices spectraux (NDVI, NDBI et NDSI) avec leur composite colorée qui représente les couleurs réelles des images satellites, cette tâche est réalisée par logiciel (Arcgis 10,3).

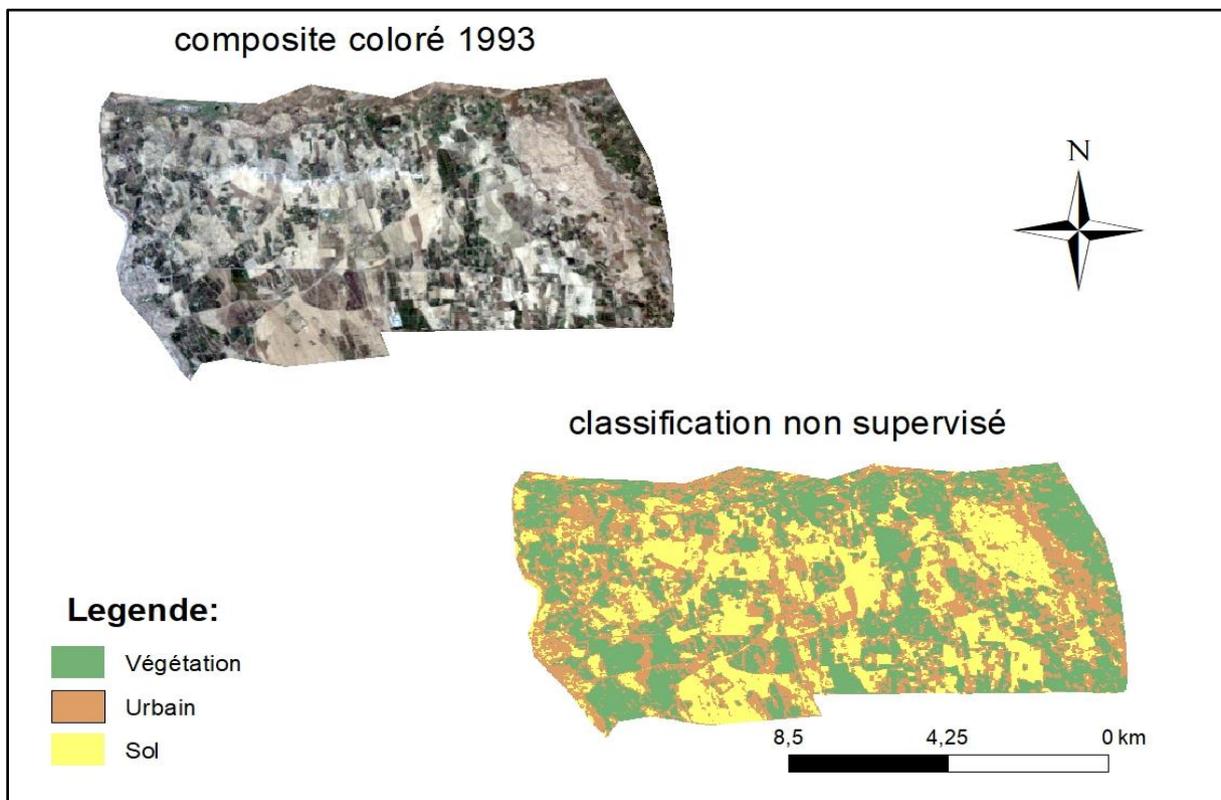


Figure 20 : carte de l'occupation du sol 1993 de la palmeraie par classification non supervisée

On observe une similitude entre la composite colorée et la classification avec une petite confusion au niveau de l'urbain pour les mêmes raisons qui ont déjà été citées.

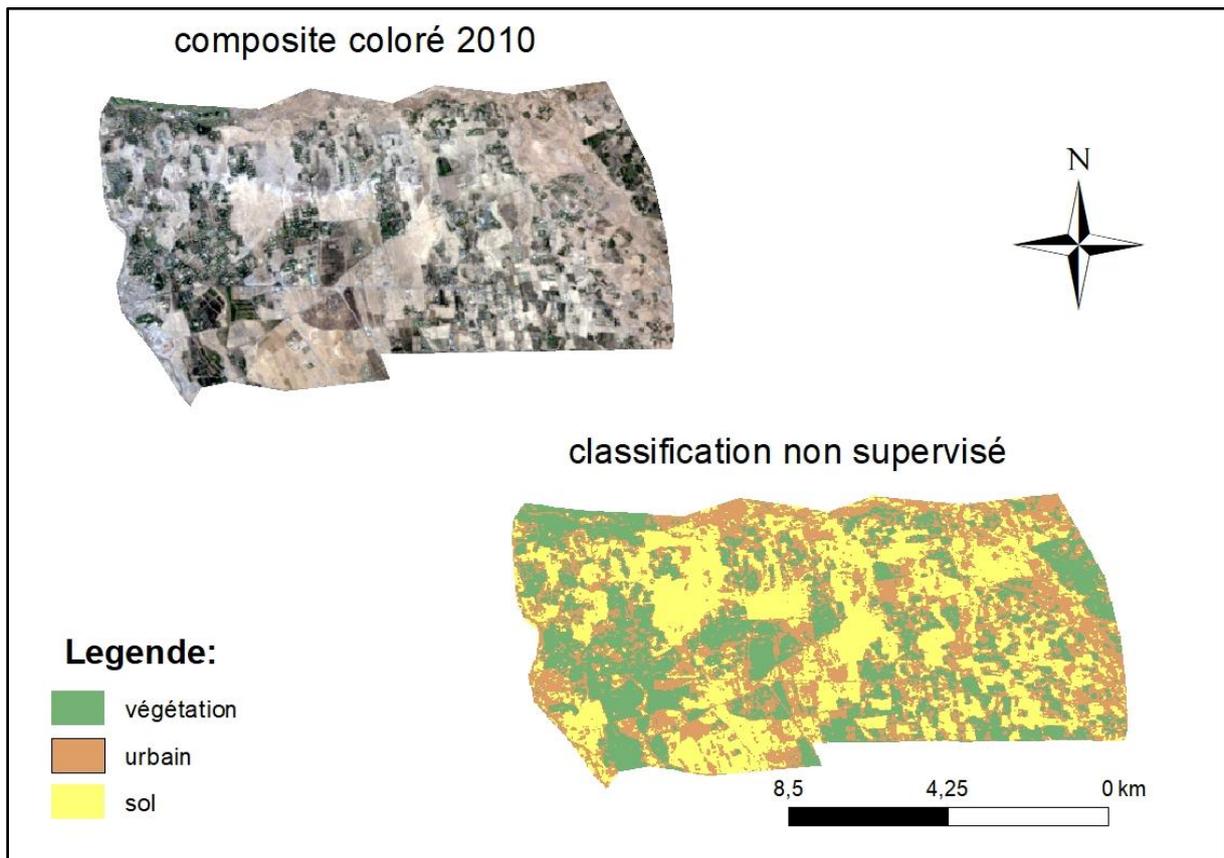


Figure 21 : carte de l'occupation de sol 2010 de la palmeraie par classification non supervisée

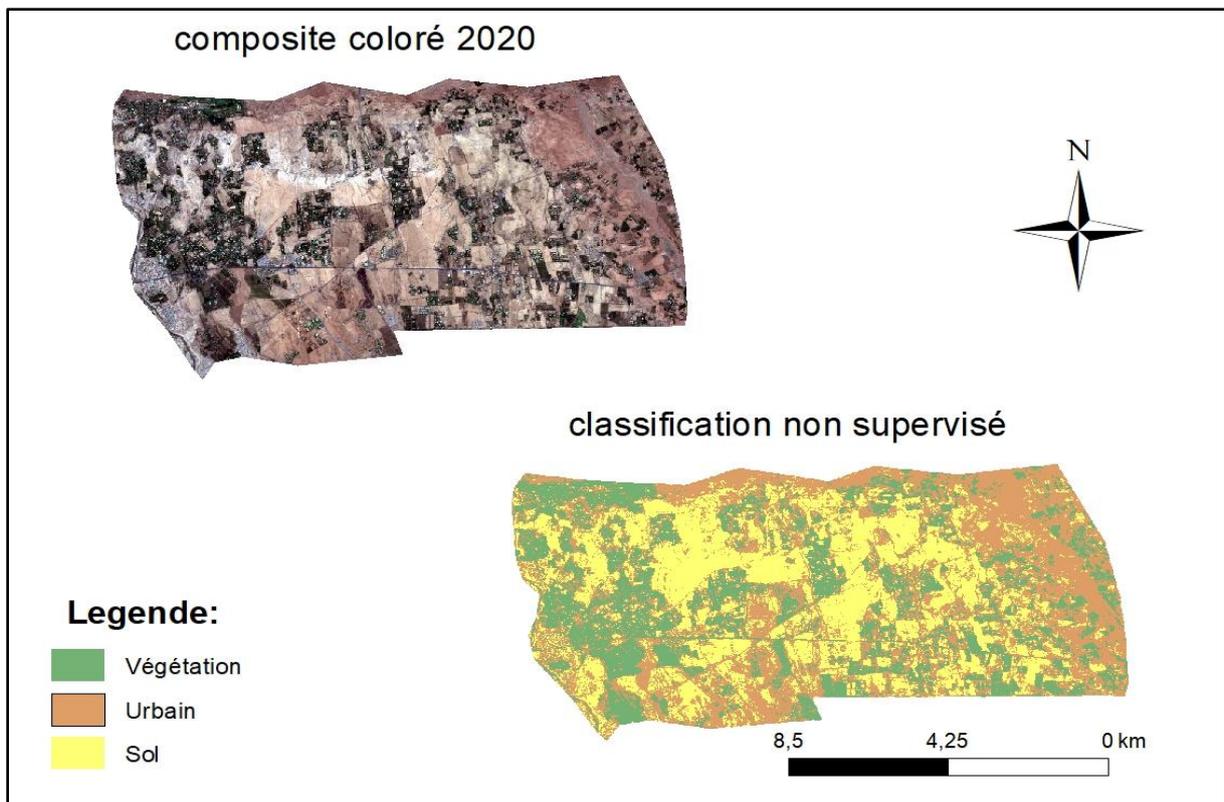


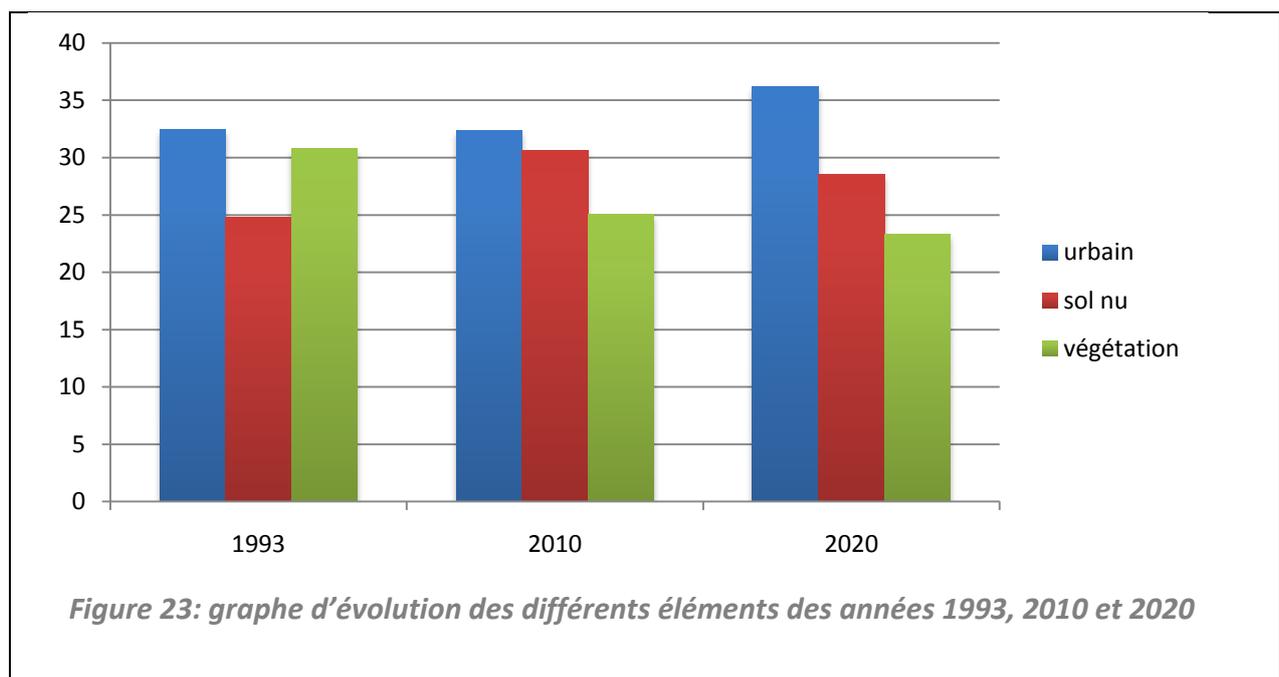
Figure 22 : carte de l'occupation de sol 2020 de la palmeraie par classification non supervisée

Ces cartes montrent une relation étroite entre les différentes entités qui la compose, l'augmentation de la surface occupée par l'urbanisme entraîne une diminution de la surface occupée par la végétation.

La carte d'occupation du sol sert à nous donner une idée sur la répartition de couvert végétal, du sol nu, d'urbanisme dans la Palmeraie de Marrakech entre 1993 et 2020.

**Tableau 9 : variation de surface en ( $km^2$ ) des éléments en 1993, 2010 et 2020**

année	végétation	urbain	sol nu
1993	30,74	32,33	24,77
2010	25,04	32,47	30,59
2020	23,31	36,18	28,49



On va clairement qu'il y a une valence entre les résultats obtenu par les indices et celle de classification non supervisé, tous ces résultats confirme l'augmentation de l'urbanisme et la diminution de végétation, avec une contradiction au niveau des résultats du sol cela peut être dû à une confusion entre urbain et sol car la classification non supervisé n'est pas capable de traiter ce problème.

## V- Autres traitements :

### 1- Traitement ACP (Analyse en Composante Principale) :

Suite à la confusion entre les différentes entités étudiées, ACP (analyse en composante principale) nous permet de faire résoudre ce problème en utilisant les bandes principales d'une image satellitaire qui regroupe l'essentiel des informations.

Une ACP se déroule selon les méthodes statistiques traditionnelles, la particularité pour la télédétection réside dans le très grand nombre de données à traiter (les pixels). L'approche générale consiste à définir, dans l'espace multi spectral, de nouveaux canaux résumant l'information contenue dans l'image. Ce procédé vise à donc maximiser (statistiquement) la quantité d'information (ou variance) des données originales dans un nombre restreint de composantes. Tandis que chaque satellite va nous donner des résultats différents relativement à ses bandes, alors on essaye d'obtenir la meilleure similitude entre les couleurs (figure 24).

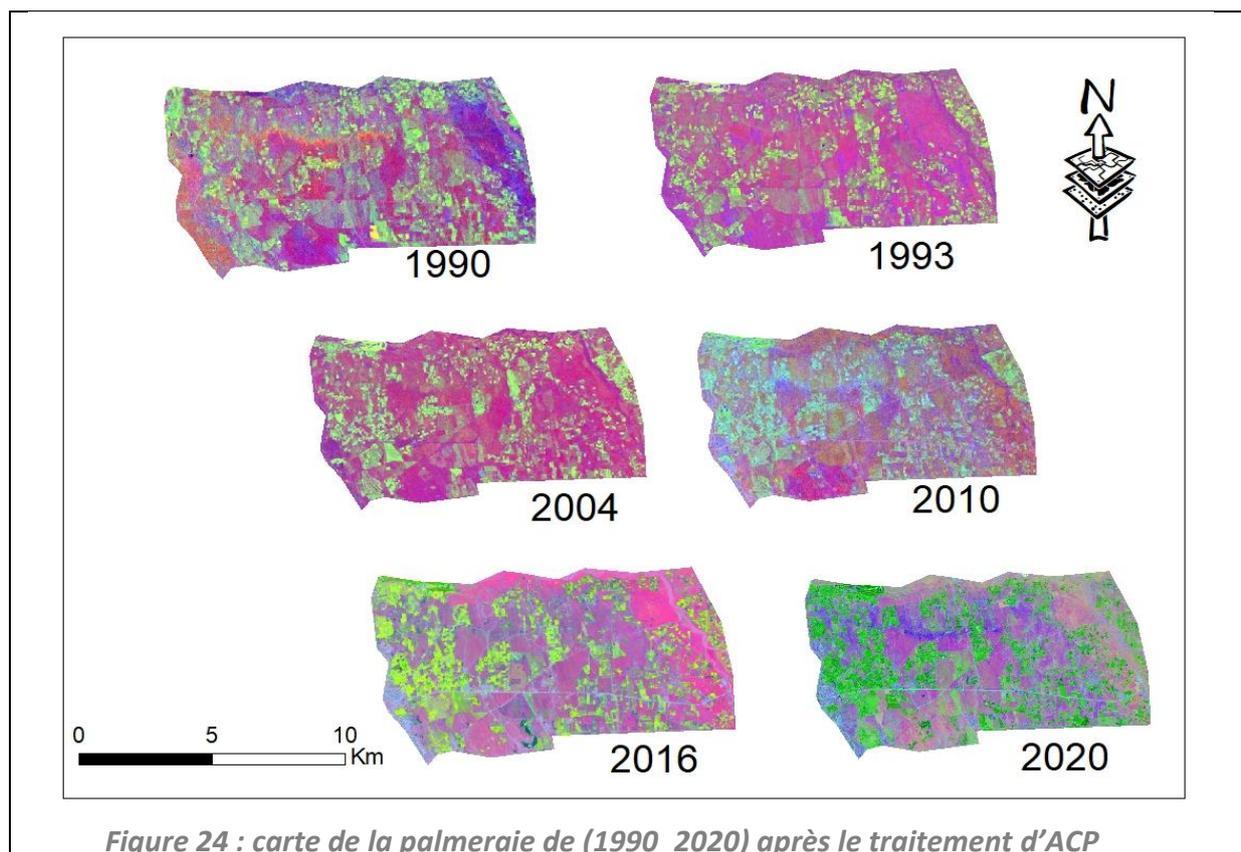


Figure 24 : carte de la palmeraie de (1990\_2020) après le traitement d'ACP

### 2. La technique de « Change détection » pour l'estimation du changement de la végétation de Palmeraie du Marrakech entre 1990 et 2020 :

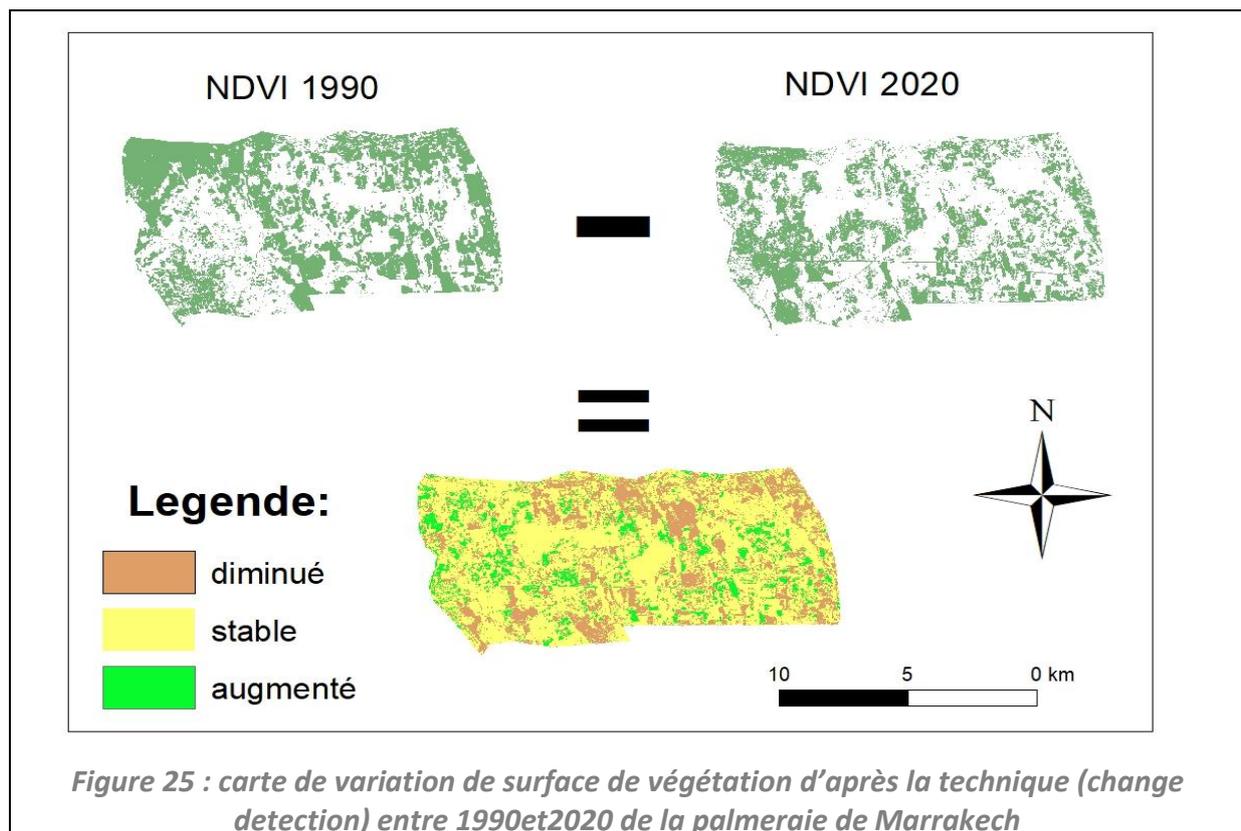
Cette technique nous permet de faire visualisé le changement spatio-temporel dans la Palmeraie a partir des indices de végétation déjà calculé NDVI1990 et NDVI2020 et qui sont

soumis à une opération de la soustraction dans la fonction « raster calculator » au niveau de logiciel ArcGis :

$$\text{NDVI 2001} - \text{NDVI 2020} = \text{change detection 1990-2020}$$

Les couleurs dans ces cartes (figure 30) par change détection ont les significations suivantes :

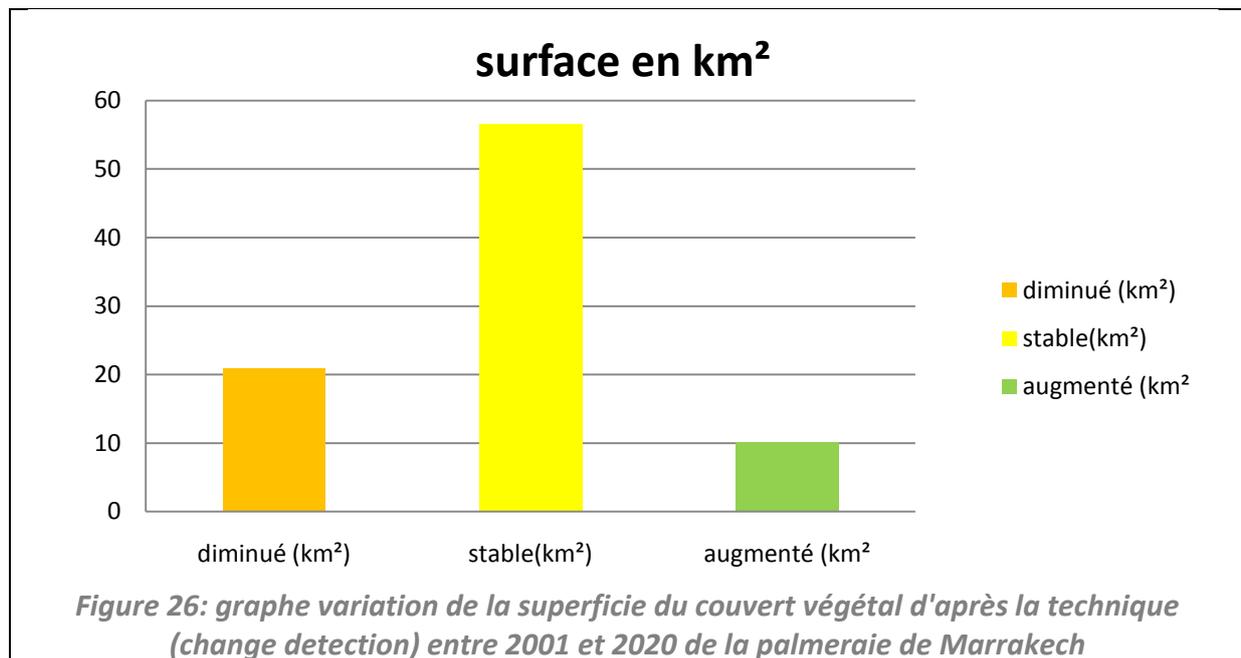
- La couleur verte indique les zones d'extension de la végétation.
- la couleur marron indique les zones où le couvert végétal a régressé (disparu).
- la couleur jaune représente les zones inchangées



Cette technique a pour les buts de : donnée une idée plus détailler sur la variation de notre zone, mettre en évidence l'existence des sites inchangeables et mettre en valeur l'augmentation de végétation qui n'était pas observable dans les précédent résultats et ça nous motive à mentionner le projet de Maroc Vert qui a fait des effort important pour le renouvellement et la protection des zones vertes, et une zone d'importants écologique comme la Palmeraie de Marrakech va être surement parmi les sites ciblée de ce projet.

**Tableau 10 : variation de surface de végétation d'après la technique (change detection) entre 1990 et 2020 de la palmerai de marrakech**

Surface	diminué (km <sup>2</sup> )	stable(km <sup>2</sup> )	augmenté (km <sup>2</sup> )
Valeurs	20,8665	56,6622	10,1457



D'après le graphe (figure 26) et tableau au dessus (tableau 9), on voit que la végétation diminue de 20,86 (km<sup>2</sup>) et augmente de 10,14 (km<sup>2</sup>) alors on peut dire qu'elle a diminué de 10,72 (km<sup>2</sup>) entre 1990 et 2020 et cela nous confirme les résultats de (tableau 4), avec une surface stable de 56,6(km<sup>2</sup>).

## Conclusion :

D'après notre travail on peut dire que nous sommes très chanceux de faire l'étude sur la palmeraie de Marrakech qui représente une zone d'agréable richesse historique, touristique, écologique ..... cette dernière la mettre une fraîche area de développement et variation, et une période de 30 année est suffisant pour montre des changements et précisément sur l'occupation de sol.

On utilise la télédétection qu'est un outil privilégié, Elle permet l'acquisition de données régulièrement distribuées dans l'espace et le temps pour caractériser les surfaces continentales en termes d'occupation du sol. Ces données peuvent être utilisées dans un schéma de modélisation spatialisée pour appréhender le fonctionnement et la dynamique des agro écosystèmes. D'un point de vue économique, l'utilisation de la télédétection offre la possibilité de réduire les coûts d'obtention de l'information à l'échelle d'une région ou d'un pays.

On choisi 6 ans dans notre période d'étude 1990\_2020 et fixé le mois novembre pour télécharger les images satellites. On utilise logiciel Arcgis pour notre traitement, et les calculs des indices spectraux (NDVI, NDSI, NDBI) et la classification non supervisé qui on l'obtient d'après la combinaison de ces indices et leurs composite coloré.

L'NDVI montre que La superficie recouverte par la végétation dans la Palmeraie de Marrakech a connu une variabilité très importante, durant ces 30 ans passés. La végétation a régressé d'une superficie d'environ 10,14 Km<sup>2</sup>. En 1990, cette surface végétale a été de 41.96 Km<sup>2</sup> (48%), puis elle a connu une légère réduction et la surface devient 31.82 Km<sup>2</sup> (36%) en 2020, avec un taux de changement de 12%.

Dans la période [1990-2020] l'urbanisme a progressé d'une superficie d'environ 10,04Km<sup>2</sup> (12% de la superficie totale), la croissance démographique est l'une des causes qui aboutit à cette dilatation de l'urbanisme, mais aussi la croissance touristique de la Palmeraie de Marrakech grâce aux investissements.

Le thème du sol nu a occupé environ de 43.96 Km<sup>2</sup> en 1990, cette surface a connu une diminution continu jusqu'à 2020 avec une régression estimée de 11.25 Km<sup>2</sup> entre [1990-2020].

Le traitement des images satellitaires est basé sur l'application de plusieurs méthodes différentes. En citant par exemple la classification qui sert à classer et à créer une carte représentant plusieurs classes afin de produire des cartes d'occupation du sol.

D'après notre résultat de corrélation des indices spectraux et la classification non supervisée on peut conclure que l'augmentation de l'urbanisme influence la diminution de la végétation.

**Prospectif :** Chacune de ces techniques citées dans notre rapport a des avantages et des inconvénients mais la classification supervisée reste la meilleure surtout quand elle est précédée par ACP pour mieux détecter et regrouper un ensemble de pixels qui exprime la même entité dans la réalité mais faute de temps nous ne l'avons pas fait.

## Référence bibliographique :

**Astrid, J.,(2011)** : La palmeraie de Marrakech a soif, Article. Econostrum.

**Abourida A., (2007)** : APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DU HAOUZ (MAROC) PAR TELEDETECTION, ISOTOPIE, SIG et MODELISATION. Thèse De Doctorat, université Cadi Ayyad, 160 pp.

**Amina Beldjazia.,(2010)** : Télédétection et SIG, Cours (78p),Univérsité Ferhat Abbas de sétif.

**Boujrouf Said .,(1996)** :Nouvelles formes d'occupation de l'espace touristique de la ville de Marrakech : l'exploitation de la Palmeraie, Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad. In Méditerranée, Tom 84,3.Tourisme et loisirs, p.27-32.

**Claude, C.,(2004)** : La palmeraie de Marrakech, Article.

**Drush et al,(2012)** : A note on the temporary misregistration of Landsat-8 Operational (OLI) and Sentinel-2 Multi Spectral Instrument(MSI) Imagery, Article.

**Idbraim, S. (2009).**Méthodes d'extraction de l'information spatiale et de classification en imagerie de Télédétection : Applications à la cartographie thématique de la région d'Agadir (Maroc). Thèse Doctorat .

**Girard C.M., (1999)** : TRAITEMENT DES DONNEES DE TELEDETECTION. Edition DUNOD Paris, ISBN 2 10 004185 1, pp. 527.

**LILLESANDT M., and KIEFERR W. (1994).** Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd ed.xvi + 750 pp. New York, ISBN 0 471 30575 8 (pb).

**M .SINAN. , (2003)** : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraines .application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc ; 2FIG Régional conférence Marrakech, Morocco.

**N.LKEBIR et S.SABIR ., (2011)** : L'impact de la modernisation agricole sur le sol et la nappe dans la zone N1-4 (Région du Haouz),12p .

**Rafik.A et Oughriss.M.,(2016)** : Suivi de la couverture terrestre par télédétection exemple de la ville de Marrakech entre 1995 et 2020, Maroc projet de fin d'étude Université Cadi Ayyad.

**Rerbouj A-M., (2020)** :introduction à la télédétection, cours pp(1-16).

**Saddou,H.,(2019)** :Le système oasien de la palmeraie de Marrakech ; richesses et valorisation d'un patrimoine culturel. Thèse de doctorat Univérsité Cadi Ayyad,151-170p

**S, AGRINTER ., (2010 )** : Etude et contrôle de l'impact de l'irrigation sur les ressources naturelles dans les périmètres de grande hydraulique du périmètre du Haouz .mission 1et2.

**Sites de recherche :**

<https://tel.archives-ouvertes.fr/>

<http://theses.fr/>

<https://libgen.is/>

<https://www.freefullpdf.com>

<https://www.sciencedirect.com/>

<https://www.academia.edu/>

<https://publons.com>

<https://scholar.google.com/>