

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Centre Universitaire Ahmed Ben Yahya el Wancharissi

de Tissemsilt

Institut des Sciences et Technologies

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master II En Protection des Ecosystèmes

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Thème

Analyse De L'évolution Spatiale Et Temporelle

De NDVI Sur Les Zones Végétées

**Cas de Parc National de Theniet el Had (Cantons Kef Sachine
et Sidi Abdoun) Wilaya de Tissemsilt**

Soutenue le : 17/07/2019

Présenté par :

- Mr. BOUZIANE CHERIF Miloud

- Mr. REZZAB Abd Elkader

Member de jury:

Mr. TALEB Mohamed Amine

MCA C.U. Tissemsilt

President

Mr. HACHMAOUI Anouar

Doctorant U. Mascara

Examineur

Mr. FELLAH Sahnoun

MAA C.U. Tissemsilt

Encadreur

Année universitaire: 2018_2019

Remerciements

*Avant tout, nous remercions Allah tout puissant qu'il nous a guidé
tout au long de nous vie, qu'il nous a donné le courage, la volonté, et
surtout la patience
pour passer tous les moments difficiles, qu'il nous a permis d'achever
ce travail
et de pouvoir le mettre entre vos mains aujourd'hui.*

*Et notre grand salut sur le premier éducateur notre prophète
Mohamed.*

*Ce mémoire est aujourd'hui l'occasion de remercier toutes les
personnes qui ont
collaboré à ce travail.*

*Nous remercions Mr. FELLAH Sahnoun d'avoir fait l'honneur de
nous encadrer notre travail,*

*ainsi que pour ses conseils, ses orientations et surtout
pour sa gentillesse tout au long de notre travail, nous le remercions
infiniment.*

*Nous remercions chaleureusement Mr. TALEB Mohamed Amine. qui
a accepté de présider le jury.*

*Que Mr. HACHMAOUI Anouar soit chaleureusement remercié
d'avoir voulu
examiner ce travail.*

*Nos plus vifs remerciements vont surtout l'équipement de
Circonscription des
forets Theniet El Had : Mr. DJARDINI Houari le directeur, Mr.
CHERIER Hamid et pour leurs aides, pour votre dévouement et votre
sympathie.*

*Nos reconnaissances et gratitude envers tous les enseignants du
Faculté de science de la nature et de la vie.*

Dédicace

*Avant tout nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir
donnée la
force, la santé la patience et la volonté d'arriver à finir cet
humble travail.*

*Je dédie ce travail à
Celle qui m'a donné sans rien de retour
A ma Mère
qui depuis ma naissance ; n'a cessé de me bercer avec des bons
conseils et
sans doute, grâce à leur encouragement et prière dans les
moments les
plus difficiles de ma scolarité*

*Mon père, qui a sacrifié sa vie pour que j'ai réussis
A mon chère frère Mohamed qui n'a jamais été absent
dans les moments sublimes de ma scolarité, pour son soutien
moral que je suis très reconnaissant, et pour leur
encouragement.*

*A mes chères sœurs vos apports sont
inestimables.*

*Mon binôme REZZAB Abd Elkader et mon chère collègue
RABIA Youcef, pour son foi durant toutes
les périodes de réalisation de ce travail.*

*Aux mes chères enfants Yassine et Abd Elnoure et toute la
famille BOUZIANE CHERIF et la famille CHACER.*

*A mes meilleurs amis : Noure Elddine, Zarouk , Omar , Mostapha.
Tayeb*

*Youcef, Mohamed, Ali, Hakim, Ismail, Tadge eddine Et Badre
eddine .*

*A Tout mes collègues de ma promotion Protection des
écosystèmes
(2018/2019).*

BOUZIANE CHERIF Miloud.

Dédicace

*Avant tout nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir
donnée la force, la santé la patience et la volonté d'arriver à finir cet
humble travail.*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur
tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

A ma chère femme

A mes enfants Elias et Amin

*À mes chers frères pour leur encouragement continu, leur soutien
moral*

A tous mes amis par son nom

A tous mes amis surtout Miloud BOUZIAN CHERIF

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le
fruit de votre soutien infaillible,*

Merci d'être toujours là pour moi.

الملخص:

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحليل التطور المكاني و الزماني للغطاء النباتي لمختلف التصنيفات بمنطقة الدراسة في مقاطعة كاف ساشين و مقاطعة سيدي عبدون في الحظيرة الوطنية لثنية الحد بولاية تيسمسيلت , لمدة ثلاثين عام بين عامي 1988م و 2018م , وذلك باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية لأجل إنشاء خرائط مؤشر النشاط اليخضوري المعياري NDVI باستخدام صور القمر الصناعي Landsat , أهمية هذا الأخير هي إجراء دراسة تطور الغطاء النباتي أو تدهوره و تحديد الأسباب سواء كانت طبيعية أو بشرية .

الكلمات المفتاحية : الغطاء النباتي , مؤشر النشاط اليخضوري المعياري NDVI , الاستشعار عن بعد , ونظام المعلومات الجغرافية SIG , Landsat , مقاطعة كاف ساشين , مقاطعة سيدي عبدون , خرائط

Résumé:

L'objectif principale de ce travail est de faire une analyse de l'évolution spatiotemporelle de la couverture végétale pour ces différents classes dans le Parc National de Theniet el Had, le site choisie pour notre étude est le Cantons de Kef Sachine et celui de Sidi Abdoune situés à la Wilaya de Tissemsilt, pour une période de trente ans entre 1988 à 2018, par l'utilisation de la technique de télédétection et du système d'information géographique afin de créer des cartes du NDVI en utilisant les images issus du satellite Landsat, l'importance de ces dernières est de faire une étude de la couverture du point de vue évolution ou dégradation pour tiré les causes soit naturelles ou anthropique.

Mots clés : la couverture végétale, NDVI, Télédétection, SIG, Landsat, Cantons de Kef Sachine, Cantons de Sidi Abdoune.

Abstract:

The main objective of this work is to make an analysis of the spatiotemporal evolution of the vegetation cover for these different classes in the Theniet el Had National Park, the chosen site for our study is the Cantons of Kef Sachine and that of Sidi Abdoune located at the Wilaya of Tissemsilt, for a period of thirty years between 1988 and 2018, using the remote sensing technique and the geographic information system to create maps of the NDVI using Landsat satellite images , the importance of the latter is to make a study of the cover from the point of view evolution or degradation for pulled the causes either natural or anthropic.

Key Word: the vegetation cover, NDVI, the remote sensing, SIG, Landsat, Cantons of Kef Sachine, Cantons of Sidi Abdoune.

Liste d'abréviation

%: pourcent

°C : Degrés Celsius ;

µm : Micromètre ;

3D : Trois Dimensions ;

ASI : Alcatel Space Industries.

B : Canal bleu

M :metre

CNµM : Centre National de la Prévision Météorologique.

Coef : Coefficient ;

CW : Chemin wilaya ;

DGF : Direction Générale des Forêts ;

DVI : Différence Végétation Index

E : électrique

EM : Electromagnétique.

ENVI : Environment for visualising image

ERS : European Remote-Sensing.

ERTS: Earth resources Technology Satellite ;

ESSA : Environmental Science Services Administration.

ETM +: Enhanced Thematic Mapper Plus

EUMETSAT : Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques.

Fig: Figure

GPS: Global Positioning System

h: heure

ha: hectare

HRIT: High Rate Information Transmission.

HRV : Haute Résolution Visible.

HRVIR : Haute Résolution Visible Infrarouge

IB: Indice de brillance ;

IR : Infrarouge

IRM: Infrarouge moyene

IRT: Infrarouge thermique

Km: Kilometer

Landsat: Land Satellite

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

M : magnétique

m : mètre

METEOSAT : Satellite Météorologique géostationnaire européen.

mm: Millimètre

MSG: Meteosat Second Generation.

MSS : Multi Spectral Scanner

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NDVI : Indice de Végétation par Différence Normalisée ;

nm: Nanomètre ;

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

OEM : Ondes Electromagnétiques

OLI: Operational Land Imager

OMM : Office Mondial de Météorologie.

ONM : Office National de Météorologie.

P : Précipitation
PAN : canal Panchromatique
PAR : Photosynthetically Active Radiation
PIR : Canal Proche infra-rouge
PNTEH: Parc National De Theniet El Had
QGIS: Quantum Geographic Information System
R: Canal Rouge
RADAR: Radio Detection and Ranging.
RSO : RADAR à Synthèse d'Ouverture.
RVI : L'indice de végétation par quotient
SIG : Système d'Information Géographique
SPOT : Système Probatoire d'Observation de la Terre.
SWIR: Short Wave Infra Red
T : Température
t : temps
T: Centre Canadien de Télédétection
TIRS; Thermal Infrared Sensor
TM: Thematic Mapper
USA: Unitad Stats America
***UTM**: Universal Transverse Mercator.*
USGS: United States Geological Survey
UV: Ultra violet
V : Canal Vert
VIS : Visible
VM: Vertical Mapper
WGS 84: World Geodetic System (révision de 1984)

Liste des figures :

Figure 1: Le Champ électromagnétique.....	5
Figure 2: Représentation du spectre électromagnétique	5
Figure 3: Illustration des signatures spectrales de quelque objet.....	6
Figure 4: Satellites géostationnaires et satellites à défilements.....	7
Figure 5: Télédétection passive et active.....	9
Figure 6: Les sept étapes du processus de télédétection	9
Figure 7: Représentation d'image numérique.....	11
Figure 8: Représentation Image satellitaire.....	12
Figure 9: codage des pixels en niveaux de gris par des entiers entre 0 et 9.....	13
Figure 10: Une image du satellite Landsat et son histogramme.....	13
Figure 11: Résolution spatiale.....	14
Figure 12: Résolution spectrale.....	15
Figure 13: Résolution radiométrique.....	15
Figure 14 : Le Principe de la composition colorée.....	16
Figure 15 : Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle ..	16
Figure 16 : Corrections radiométriques.....	17
Figure 17: L'histoire des satellites LANDSAT	19
Figure 18: satellite LANDSAT 8.....	20
Figure 19 : comparaison du rapport et de la différence entre bandes pour deux points illuminés différemment.....	25
Figure 20: variation de NDVI en fonction de la santé de la végétation.....	27
Figure 21: Carte de localisation du parc national de Thneit El Had	30
Figure 22: Carte des cantons du parc national de Théniet El-Had.....	31
Figure 23: carte de situation géographique de kaf Sachine et Sidi Abdoune.....	32
Figure 24: carte topographique de PNTEH.....	33
Figure 25: carte des sols du Parc National De Theniet El Had.....	35
Figure 26: du réseau hydrographique du Parc National de Theniet El Had.....	36
Figure 27: Variation des fiabilités annuelles dans la station Miliana (1988-2018)	38
Figure 28: Moyennes mensuelles de la pluviométrie de la station Miliana (1988-2018).....	39
Figure 29: Le régime saisonnier de la station Miliana entre (1988-2018).....	40
Figure 30: Variation des températures mensuelles maximales, minimale et la moyenne Station Miliana entre (1988-2018).....	41
Figure 31: Diagramme ombrothermique du parc national de theniet el had (1988 - 2018).....	43
Figure 32: Climagramme d'Emberger « la zone d'étude ».....	44
Figure 33: Carte de végétation du parc national de Theniet El Had.....	46
Figure 34: récepteur GPS.....	49
Figure 35: Différents prise de veu SIDI ABDOUNE 2019	52
Figure 36: Différents prise de vue à KAFE SACHINE 2	53
Figure 37: Organigramme de la méthodologie adoptée.....	55
Figure 38: cartes d'NDVI 2008.....	57
Figure 39: les différents points suivis.....	59
Figure 40: histogramme d'NDVI maximale de différentes classes	59
Figure 41: Evolution NDVI des différents points au 2008.....	60
Figure 42: cartes d'NDVI 1988.....	62
Figure 43: cartes d'NDVI 1993.....	63
Figure 44: cartes d'NDVI 1998.....	63
Figure 45: cartes d'NDVI 2003.....	64

Figure 46 : cartes d'NDVI 2013.....	64
Figure 47: cartes d'NDVI 2013.....	65
Figure 48: cartes d'NDVI 2018.....	65
Figure 49: Evolution des valeurs d'NDVI (1988/2018).....	66
Figure 50: Evolution de la valeur Max d'NDVI des points étudie (1988-2018).....	69
Figure 51: Evolution de la valeur min d'NDVI des points étudie (1988-2018).....	71
Figure 52: Variation interannuelle de l'indice NDVI des points étudiés.....	71
Figure 53: précipitation annuelle (1988-2018).....	72

Lists des tableaux:

Tableau 1: les domaines d'application de la télédétection (UNIGE(2004), peduzzi (2009)).	3
Tableau 2: Caractéristiques de certains satellites. (BelSPO, 2018)	8
Tableau 3: Caractéristiques des satellites LANDSAT	20
Tableau 4: Caractéristiques des satellites SPOT.	22
Tableau 5: Caractéristiques des satellites IKONOS.	23
Tableau 6: données sur quelques étangs (PNTEH, 2019).	37
Tableau 7: Les caractéristiques des images satellitaires utilisées.	51
Tableau 8: Points choisis pour l'étude.	52
Tableau 9 : L' NDVI des différents points (classes) au 2008.	60

Introduction Générale

Introduction Générale

Ces dernières années, la communauté internationale est préoccupée par les changements environnementaux qui constituent des menaces de dégradation des sols et des forêts due par l'effet des changements climatiques et d'autre part aux impacts des actions de l'homme (Sanda Gonda, 2010).

La télédétection est une technique qui offre la possibilité de l'acquisition de l'information en contenu dans l'espace, ces données collectées seront utilisés dans l'analyse spatio-temporelle des paramètres indiquant l'état des sols dans le but de prendre des décisions.

Le suivi spatio-temporel du couvert végétal, en Algérie dans les régions arides et semi-arides en utilisant les images satellitaires est d'une grande importance pour la connaissance de l'état de ce couvert, ainsi que sa variation dans l'espace et le temps.

L'objectif de ce travail est l'utilisation des images satellite, pour une période de trente ans entre 1988 à 2018 issus du satellite LANDSAT, dans le but d'en extraire un paramètre clé dans le suivi spatio-temporel et la cartographie de l'état du couvert végétal du point de vue photosynthèse, qui est le NDVI (l'indice de végétation normalisé), ainsi cette étude met en évidence, à travers une analyse spatiale, l'importance de l'utilisation de l'outil de télédétection et de cartographie dans le but de faire un suivi des changements des sols afin de trouver les causes et les solutions à prendre.

Le présent document est structuré en quatre chapitres:

- Le premier présente des généralités sur la télédétection, les SIG (Système d'Informations Géographiques) et les indices de végétation ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude ;
- Le troisième présente la description de la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail ;
- Le quatrième présente l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

CHAPITRE I

La Télédétection

I. La Télédétection

Introduction

Dans ce travail, nous allons utiliser le terme télédétection de la surface de la terre pour tout ce qui utilise des signaux optiques appelée active ou passive. Les systèmes de télédétection, en particulier ceux qui sont déployés sur des satellites, fournissent une vue cohérente et répétitive de la terre qui est inestimable pour surveiller les changements à court et à long terme et l'impact anthropique ou naturel de la surface terrestre.

I.1. Définition la télédétection

La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information (CCT, 2018).

La télédétection est définie aussi comme la mesure des propriétés des objets sur la surface de la Terre en utilisant des données acquises à partir d'avions et de satellites. C'est donc une tentative de mesurer quelque chose à une distance plutôt que sur site puisque nous ne sommes pas en contact direct avec l'objet d'intérêt par exploitation des ondes propagées ou réfléchies par les objets ciblés de type optique. (Robert, 2007).

I.2. Histoire de la télédétection:

L'histoire des techniques de la télédétection peut être découpée en cinq grandes époques :

1. De 1856, date à laquelle, pour la première fois, un appareil photographique a été installé de façon fixe à bord d'un ballon, à la première guerre mondiale, se déroule l'époque des pionniers, pendant laquelle sont explorées les possibilités de la photographie aérienne verticale pour la cartographie ; les lois fondamentales de la stéréoscopie et de la photogrammétrie sont découvertes à la fin du XIXe siècle.

2. De la première guerre mondiale à la fin des années 50, la photographie aérienne devient un outil opérationnel pour la cartographie, la recherche pétrolière, la surveillance de la végétation. On assiste à un progrès continu de l'aviation, des appareils photographiques et des émulsions (couleur, infrarouge noir et blanc, infrarouge fausse couleur). Les méthodes de la photo-interprétation sont précisées et codifiées.

3. La période qui commence en 1957 et s'achève en 1972 marque les débuts de l'exploration de l'Espace et prépare l'avènement de la télédétection actuelle. Le lancement des premiers satellites, puis de vaisseaux spatiaux habités à bord desquels sont embarqués des caméras, révèle l'intérêt de la télédétection depuis l'espace. Parallèlement, les radiomètres-imageurs sont mis au point et perfectionnés, de même que les premiers radars embarqués à bord d'avions. La première application opérationnelle de la télédétection spatiale apparaît dans les années 60 avec les satellites météorologiques de la série ESSA.

4. Le lancement en 1972 du satellite ERTS (rebaptisé ensuite Landsat 1), premier satellite de télédétection des ressources terrestres, ouvre l'époque de la télédétection moderne. Le développement constant des capteurs et des méthodes de traitement des données numériques ouvre de plus en plus le champ des applications de la télédétection et en fait un instrument indispensable de gestion de la planète, et, de plus en plus, un outil économique.

5. Depuis les années 70, on assiste à un développement continu de la télédétection, marqué notamment par :

- l'augmentation de la résolution spatiale des capteurs.
- la diversification des capteurs qui utilisent des domaines de plus en plus variés et spécialisés du spectre électromagnétique.

Dans les années 90, on assiste ainsi à la multiplication des satellites équipés de capteurs actifs, radars en particulier. Dans le domaine du rayonnement visible et infrarouge, les capteurs à très haute résolution spectrale sont aujourd'hui d'utilisation courante dans leur version aéroportée et font leur apparition à bord de satellites.

- la diffusion des données sur une base commerciale, envisagée dès le lancement du programme SPOT en 1986, se traduit aujourd'hui par le lancement de satellites de télédétection par des sociétés privées. Les données de télédétection deviennent l'objet d'un marché concurrentiel. La diffusion accélérée et l'augmentation de la puissance des ordinateurs contribuent de façon continue à promouvoir de nouvelles méthodes d'utilisation des données toujours plus abondantes que fournit la télédétection spatiale (**GUEYE I, 2013**).

I.3. OBJECTIF DE LA TELEDETECTION

Elle a pour rôle de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (Soudani, 2005).

I.4. Domaines d'application de la télédétection

En pratique la télédétection peut être utilisée pour faire des inventaires tels que la cartographie de l'occupation du sol, repérage du feu, etc...., ou bien en Modélisation/Simulation la déforestation, changement de climats, etc...., et aussi dans l'aménagement de la circulation routière et les services d'intervention et de secours. Parmi les domaines d'applications de la télédétection on peut citer ce qui suit dans le tableau suivant.

Tableau 1: les domaines d'application de la télédétection (UNIGE(2004), peduzzi (2009).

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

I.5. Le rayonnement électromagnétique

Une source d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique est nécessaire pour illuminer la cible, à moins que la cible ne produise elle-même cette énergie. Selon la théorie des ondes, tout rayonnement électromagnétique possède des propriétés fondamentales et se comporte de façon prévisible.

Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M). Le champ électrique varie en grandeur et est orienté de façon perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière (c), (AMIAR, 2013), voir (Fig1).

Les principales caractéristiques du rayonnement électromagnétique sont la longueur d'onde et la fréquence. La longueur d'onde est équivalente à la longueur d'un cycle d'une onde, ce qui correspond à la distance entre deux crêtes successives d'une onde. La longueur d'onde est représentée habituellement par la lettre grecque lambda (λ), elle est mesurée en mètres ou en l'un de ces sous-multiples tels que les nanomètres (1nm =10⁻⁹ m), micromètres (1 μ m= 10⁻⁶ m) ou centimètres (1cm=10⁻² m). La fréquence (ν) représente le nombre d'oscillations par unité de temps. La fréquence est mesurée en Hertz (Hz), nombre d'oscillations par seconde, ou en multiple d'Hertz. La formule suivante illustre la relation entre la longueur d'onde et la fréquence:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

Où :

λ : Longueur d'onde de l'onde électromagnétique (en μ m);

c : Vitesse de la lumière(en m/s), c = 299 792 458 m/s

ν : La fréquence de l'onde (en Hz).

La longueur d'onde et la fréquence sont donc inversement proportionnelles, tel que plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et vis-vers (e-cours, 2019).

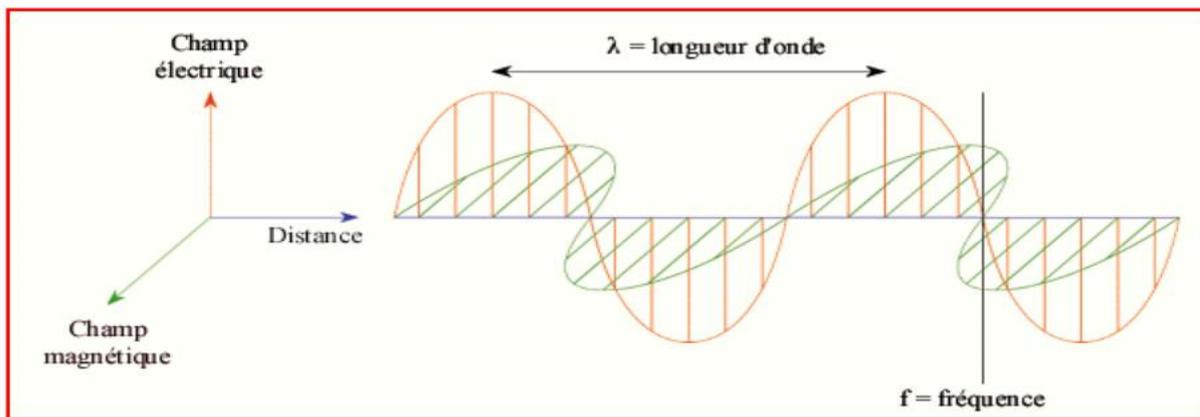


Figure 1: Le Champ électromagnétique (NAKES M. T, 2000).

I.6. Le spectre électromagnétique

C'est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes, Il s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio).

L'ensemble des fenêtres de toutes les longueurs d'ondes est appelé «spectre électromagnétique» (Fig. 02)

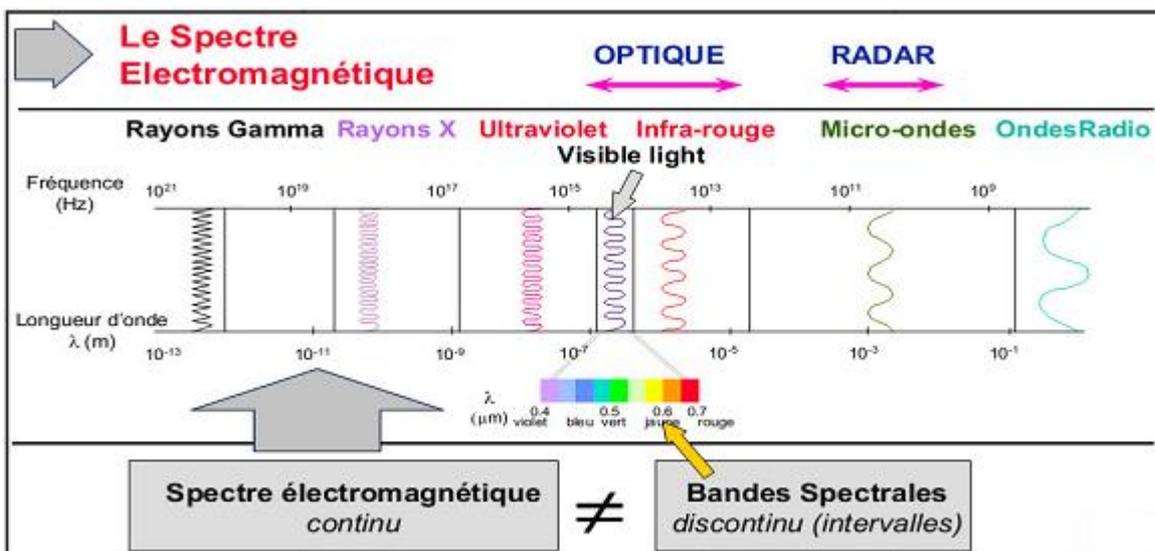


Figure 2: Représentation du spectre électromagnétique (Tonon, 2005)

Les capteurs utilisés en télédétection sont des radiomètres imageurs. En effet, ils mesurent des rayonnements électromagnétiques renvoyés par une portion d'espace terrestre, et organisent ces mesures sous forme d'images. Les capteurs embarqués sur les satellites peuvent enregistrer les ultraviolets (rares), le visible, le proche-infrarouge, l'infrarouge moyen, l'infrarouge thermique, l'infrarouge lointain et les hyperfréquences (Polidori, 2002).

I.7. Interactions rayonnement et surfaces terrestres

Au niveau de la cible, le rayonnement électromagnétique est réfléchi, absorbé et transmis dans des proportions variables. Lorsqu'on s'intéresse à une longueur d'onde spécifique, le rapport du rayonnement réfléchi au rayonnement incident est appelé réflectance ($\rho\lambda$). De la même manière, on définit l'absorption ($\alpha\lambda$) et la transmittance ($\tau\lambda$).

Les capteurs utilisés en télédétection mesurent le rayonnement réfléchi et donc on s'intéresse à la réflectance des objets.

La réflexion d'une onde incidente sur la surface terrestre dépend des caractéristiques de l'onde (longueur d'onde, polarisation, angle d'incidence, etc.) et des caractéristiques de la surface (matériau, pente, rugosité, humidité, etc.) (**Polidori, 2002**).

La variation de la réflectance en fonction de la longueur d'onde est appelée signature spectrale. Chaque type d'objets possède alors une signature spectrale plus ou moins caractéristique. On utilise alors les différences de signatures spectrales pour différencier les objets situés au sol (**Lhomme, 2013**).

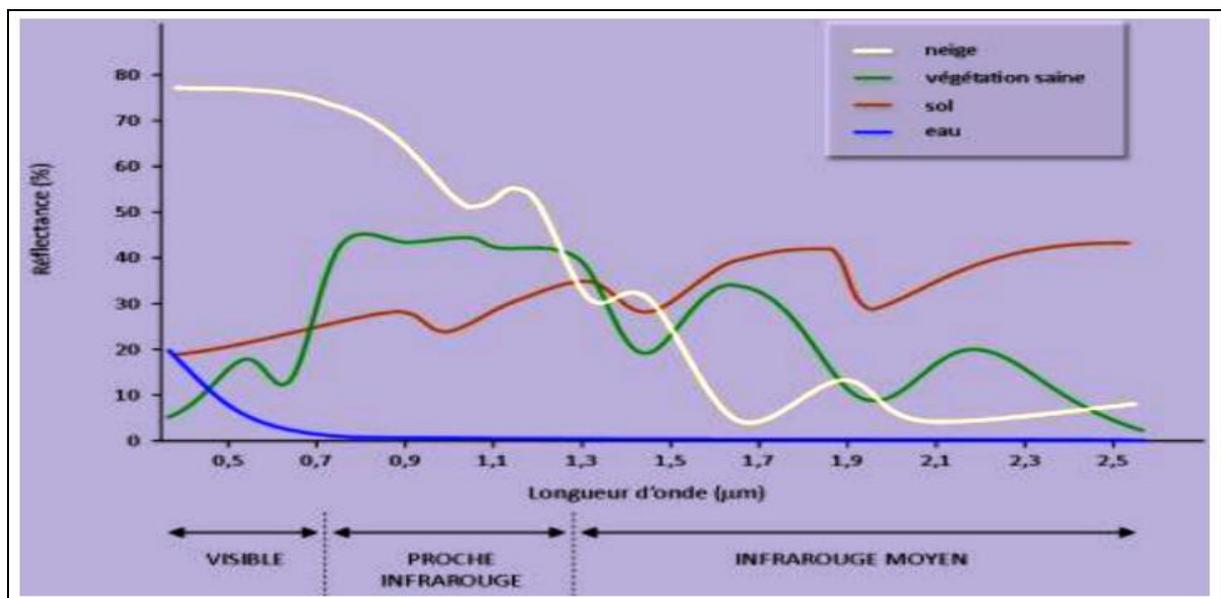


Figure 3: Illustration des signatures spectrales de quelques objet (**Lhomme, 2013**).

I.8. Les vecteurs et les capteurs

I.8.1 Les vecteurs

Sont des objets artificiels placés en orbite autour de la terre pour les besoins de la télédétection, des communications et de la télémétrie. Grâce à leur orbite, les plates-formes

spatiales permettent une couverture répétitive et continue de la surface de la terre. Le cout est souvent un facteur déterminant dans le choix des différentes plates-formes. **(Kouider.T, 2002)**

En fonction de la distance au sol on distingue différents types de vecteurs :

- Ceux qui opèrent à quelques mètres du sol : grues, ou véhicules qui supportent des radiomètres ou appareils photographiques.
- Ceux qui opèrent entre la dizaine de mètres et la dizaine de kilomètres : avions, hélicoptères, ballons et dernièrement drones.
- Ceux qui opèrent entre la dizaine et la centaine de km : ballons stratosphériques

Ceux qui opèrent entre 200 km et 40 000 km : satellites. Quant aux satellites, on distingue généralement deux types de satellites

(GIRARD C.M, 1999)

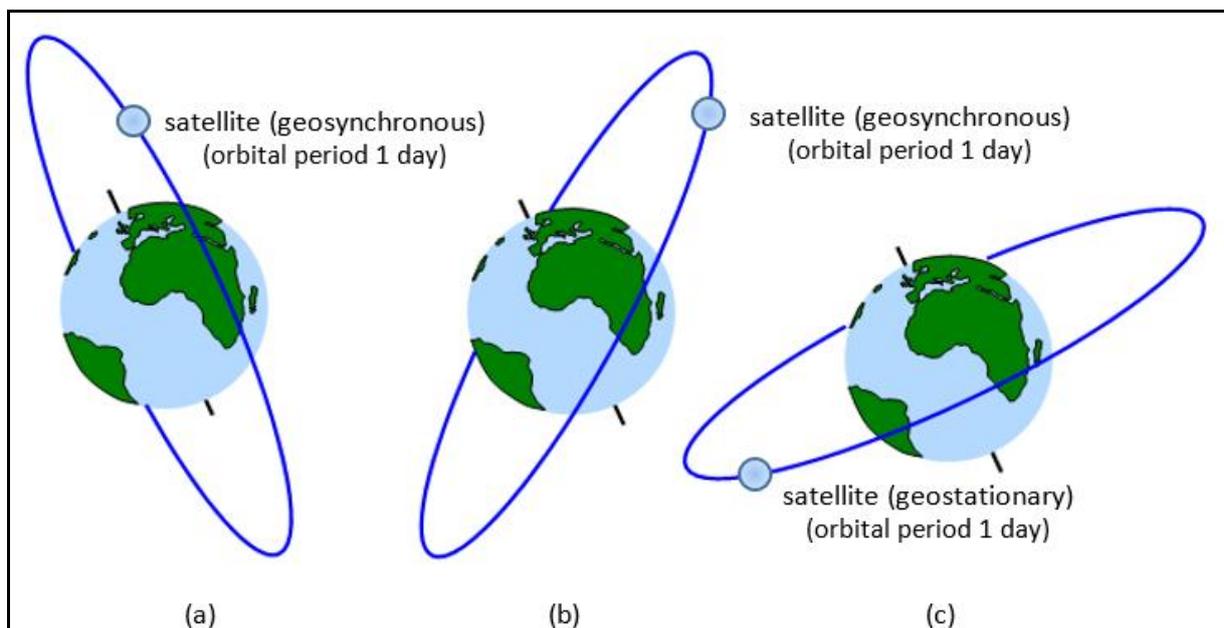


Figure 4:Satellites géostationnaires et satellites à défilements. **(School physics .2019)**

I.8.1.1. Les satellites géostationnaires

Les satellites géostationnaires sont des systèmes optiques positionnés sur une orbite équatoriale (36000 km). Ils observent en permanence le même hémisphère terrestre et fournissent des images couvrant un tiers de la planète, à une résolution spatiale kilométrique à pluri-kilométrique, avec une haute fréquence d'acquisition. Ils sont principalement utilisés en météorologie (METEOSAT). **(LUREC, 2015)**

I.8.1.2. Les satellites à défilements

Les satellites à défilement sont des systèmes optiques ou radar situés sur des orbites polaires ou subpolaires (inclinaison proche des pôles) assez basses (700 à 800 km). Ils permettent l'obtention d'images journalières à des résolutions spatiales plus fines, décamétriques à sub-métriques, et couvrent des surfaces au sol de quelques centaines à quelques dizaines de kilomètres.

Les satellites optiques d'observation de la Terre ont généralement choisis des orbites polaires et héliosynchrones³ ; ils passent au-dessus de chaque point du globe à la même heure locale chaque jour tout au long de l'année, permettant d'obtenir de manière régulière des données de façon consistante, autorisant un suivi sur une zone géographique. C'est le cas des satellites de la filière SPOT, Pléiades ou LANDSAT par exemple (LUREC, 2015).

Tableau 2: Caractéristiques de certains satellites. (BelSPO, 2018)

Nom satellite	Meteosat	NOAA	ERS-1	LANDSAT
Type	géostationnaire	à défilement	à défilement	à défilement
Altitude	36000 km	850 km	785 km	705 km
Durée d'une révolution orbitale	23 h 56 min	1 h 42 min	1 h 40 min	1 h 39 min
Résolution au sol	2.5 km à 10 km	1 km à 2 km	25 mètres	30 mètres
Usages principaux	Météorologie Climatologie	-Météorologie -Climatologie -Océanographie -Etude des ressources terrestres (cultures, forêts, etc...) -Observation des structures géologiques -Suivi de l'urbanisation -Etude des risques naturels	-Radiométrie -Altimétrie -Suivi de l'ozone atmosphérique -Cartographie -Suivi de catastrophes naturelles	-Cartographie -Etude des ressources terrestres -Observation des structures géologiques -Suivi de l'urbanisation -Etude des risques naturels (feux de forêts, séismes...etc.)

I.8.2. Les capteurs

I.8.2.1. Le capteur passif

Peut seulement percevoir l'énergie réfléchié lorsque le Soleil illumine la Terre. Il n'y a donc pas d'énergie solaire réfléchié le soir (CCT, 2018).

I.8.2.2. Le capteur actif

Produit sa propre énergie pour illuminer la cible : il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison (CCT, 2018).

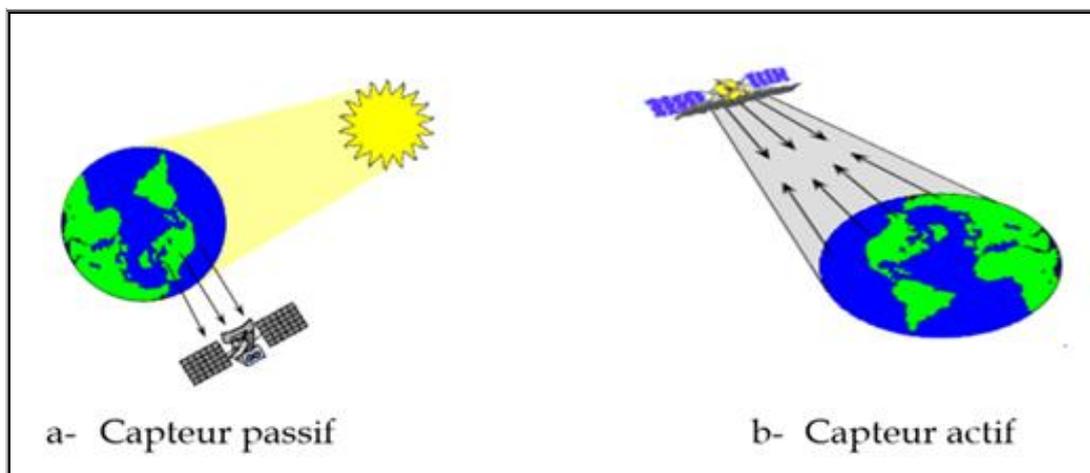


Figure 5: Télédétection passive et active (CCT, 2018).

I.9. Les éléments de base de la télédétection :

Le processus de télédétection comprend généralement sept étapes-clé (figure 6) que nous rappelons ci-dessous : Selon **Bul 2008**

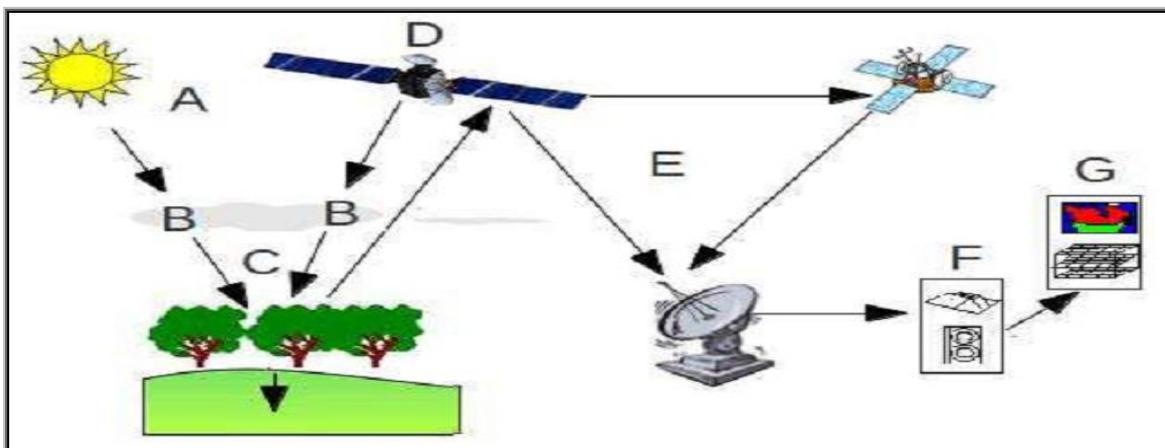


Figure 6: Les sept étapes du processus de télédétection (Bul, 2008).

- **Source d'énergie ou d'illumination (A)** - À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible. Le Plus souvent, voire dans la presque totalité des cas, cette source d'énergie est le Soleil. Mais le satellite lui-même peut être source d'énergie : c'est le cas pour le Domaine de la télédétection radar.
- **Rayonnement et atmosphère (B)** - Durant son parcours « aller » entre la source D'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet « retour » entre la cible et le capteur.
- **Interaction avec la cible (C)** - Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec La surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique. Cette caractéristique s'appelle le comportement spectral. En télédétection, on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre « empreinte digitale » dans le spectre électromagnétique (la signature spectrale), en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou
- émis par lui-même. Ainsi, une parcelle de canne à sucre aura des signatures différentes en fonction de son stade végétatif et de son niveau de maturation.
- **Enregistrement de l'énergie par le capteur (D)** - Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible mais embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion par exemple, pour être enfin enregistrée sous format numérique.
- **Transmission, réception et traitement (E)** - Cette information enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception généralement située au sol où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- **Interprétation et analyse (F)** - Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- **Application (G)** - La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, c'est-à-dire la portion d'espace étudiée (une ville, une zone inondée, une forêt, etc.) afin de nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. Il convient de signaler que la nature et la qualité du rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres dépendent de plusieurs facteurs à savoir la nature et l'état de ces dernières, l'état de l'atmosphère, l'environnement des surfaces,

les conditions d'illumination, les caractéristiques du capteur qui l'enregistre, etc. Les capteurs utilisés pour capter et enregistrer les rayonnements réfléchis sont embarqués à bord de vecteurs, le plus souvent les avions et les satellites, dont les caractéristiques les rendent souvent spécifiques à un domaine d'application donné. Ces capteurs sont généralement caractérisés à partir de quatre résolutions : spatiale, spectrale, radiométrique et temporelle. Pour plus de détails sur ce sujet, le lecteur pourra se référer à **(Robin, 1995)**.

I.10. Image numérique:

L'image numérique est l'image dont la surface est divisée en éléments de taille fixe appelés cellules ou pixels, ayant chacun comme caractéristique un niveau de gris ou de couleurs **(M Sandeli 2014)**.

La numérisation d'une image est la conversion de celle-ci de son état analogique en une image numérique représentée par une matrice bidimensionnelle de valeurs numériques $f(x, y)$, comme la montre la figure où :

X, y : coordonnées cartésiennes d'un point de l'image.

$F(x, y)$: niveau d'intensité.

La valeur en chaque point exprime la mesure d'intensité lumineuse perçue par le capteur.

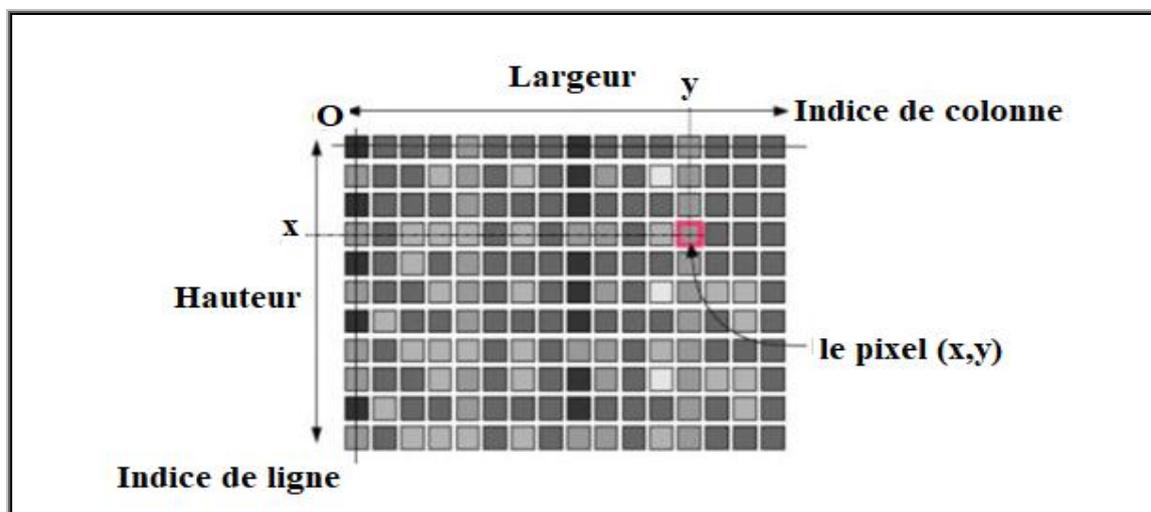


Figure 7: Représentation d'image numérique.

I.11. Image satellitaire

Une image est représentation graphique, quelle que soit la longueur d'onde ou le dispositif de télédétection qui a été utilisé pour capter et enregistrer l'énergie électromagnétique. L'image satellitaire est une représentation où les données sont comparables, car ce qui est mesuré est toujours la quantité de lumière renvoyée par les surfaces terrestres. Mathématiquement c'est une fonction $F(x, y)$ à deux variables entières 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 radio métrique est codée pour la plupart des systèmes sur huit bits, donc on a 28niveaux de gris (**Ghar, 2008**).

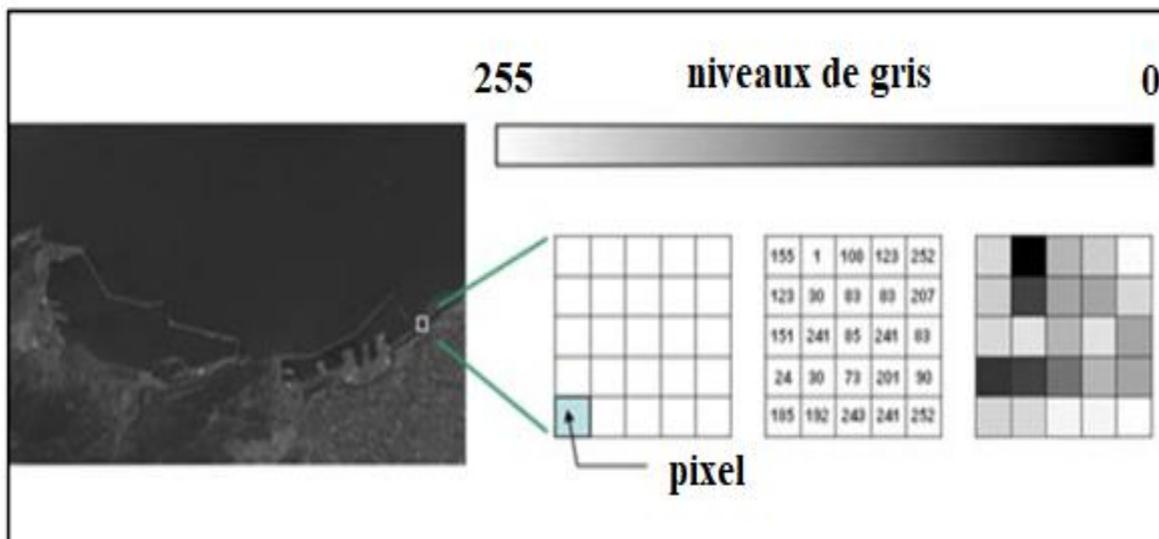


Figure 8: Représentation Image satellitaire (**Ghar,2008**).

I.12. Codage des valeurs

Dans une image numérique en noir et blanc, chaque pixel a par exemple une valeur conventionnelle de 1 à 10. Les données peuvent être représentées comme une grille de valeurs, mais si on décide d'affecter une intensité de gris aux valeurs numériques (1 = noir, 10 = blanc), la grille de chiffres se transforme en image.

Les ordinateurs sont prévus pour traiter de manière privilégiée des données numériques codées sur 8 bits. Celles-ci peuvent prendre les valeurs 0 à 255, c'est pourquoi les images numériques sont souvent codées sur 256 niveaux de luminosité, allant du noir (0) au blanc (255). Un gris moyen correspondra donc à une valeur de 127. En fait, l'œil humain n'est pas capable de discerner plus de quelques dizaines de valeurs de gris différents, et l'observateur ne percevra donc aucune discontinuité dans une image codée sur 256 niveaux de gris (**eo.belspo, 2019**).

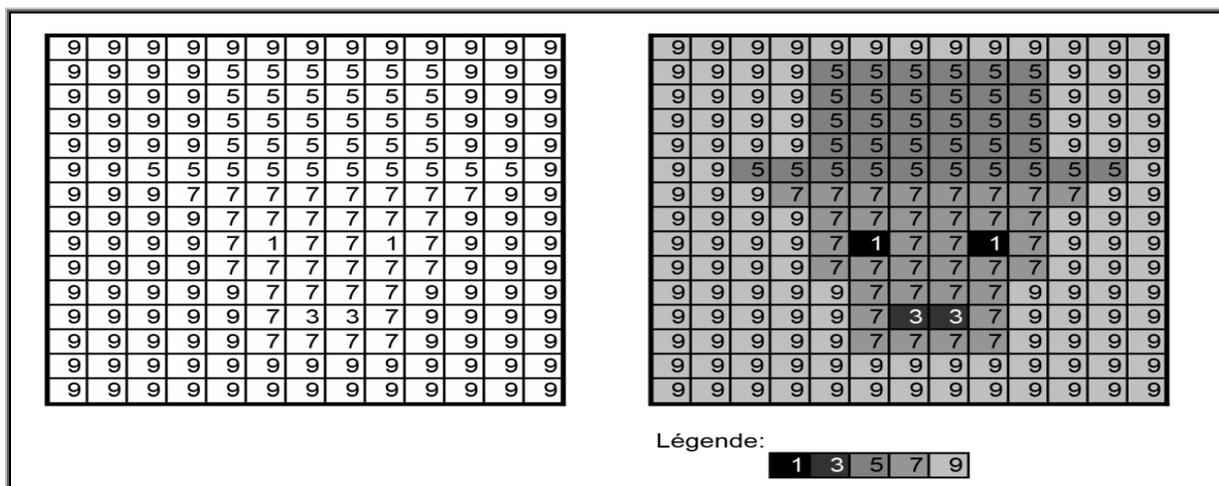


Figure 9: codage des pixels en niveaux de gris par des entiers entre 0 et 9

I.13. Histogramme :

Un histogramme est une représentation graphique des valeurs numériques d'intensité qui composent une image. Ces valeurs codées sur 8 bits et variant de 0 à 255 apparaissent le long de l'axe des x du graphique. Quant à l'axe des y, il présente la fréquence d'occurrence de chacune des valeurs de l'axe des x. (CCT, 2018)

L'histogramme est un diagramme qui représente le nombre de pixels de l'image par compte numérique. L'analyse de l'histogramme peut nous fournir le nombre probable de classes en sortie du processus de classification, ce nombre est corrélé généralement avec le nombre de pics importants dans l'histogramme.

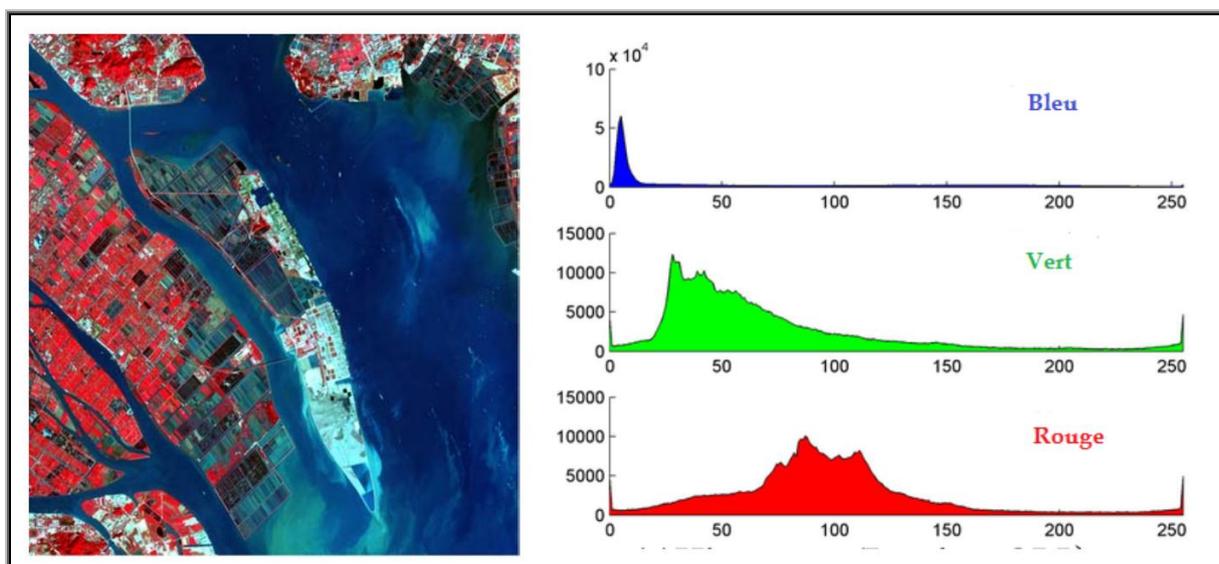


Figure 10: Une image du satellite Landsat et son histogramme. (CCT, 2018)

I.14. Résolution

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

I.14.1 Résolution spatiale

Correspond à la dimension et aux qualités d'observation du point élémentaire (pixel). La taille du pixel définit donc l'aptitude du capteur à distinguer deux objets proches sur la surface. Elle dépend de la fréquence d'échantillonnage du signal. (AMOUR, 2008)

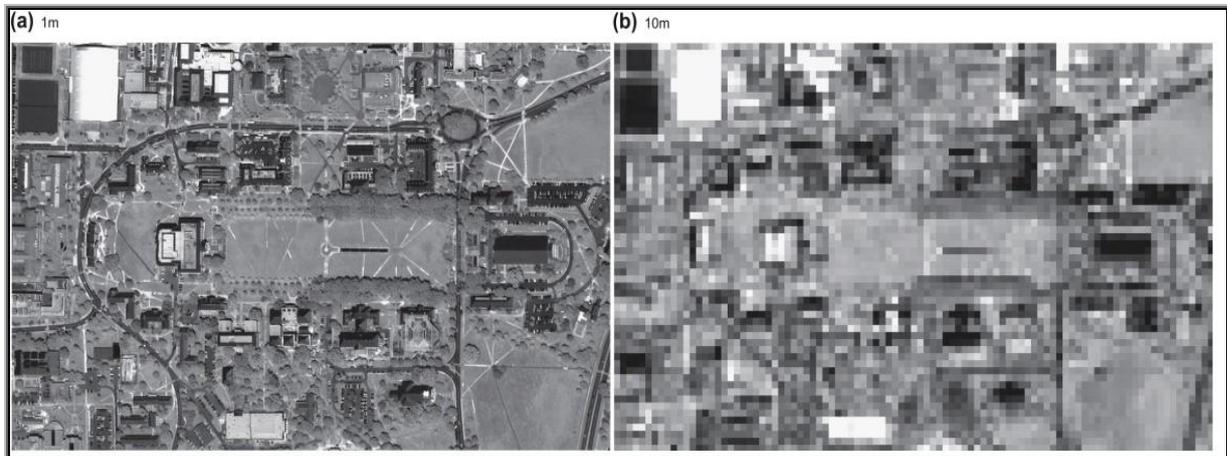


Figure 11: Résolution spatiale. (Science direct, 2019)

I.14.2. Résolution temporelle

La résolution temporelle d'un satellite traduit le temps que prend un satellite pour effectuer un cycle orbital complet (intervalle entre 2 passages au nadir d'un point de la surface terrestre).

Cette période est généralement de quelques jours. Il faut donc quelques jours à un tel satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement le même point dans l'espace. La résolution temporelle absolue du système de télédétection est donc égale à cette période. Exemples : 16 jours pour LANDSAT TM, 3 jours pour SPOT. (GOLAY, 2007)

I.14.3. Résolution spectrale

Correspond à la capacité du capteur à distinguer des signaux de longueurs d'onde différentes. Elle dépend du dispositif de filtrage optique qui sépare les rayonnements incidents en bandes spectrales plus ou moins larges (CHABIRA, 2007)

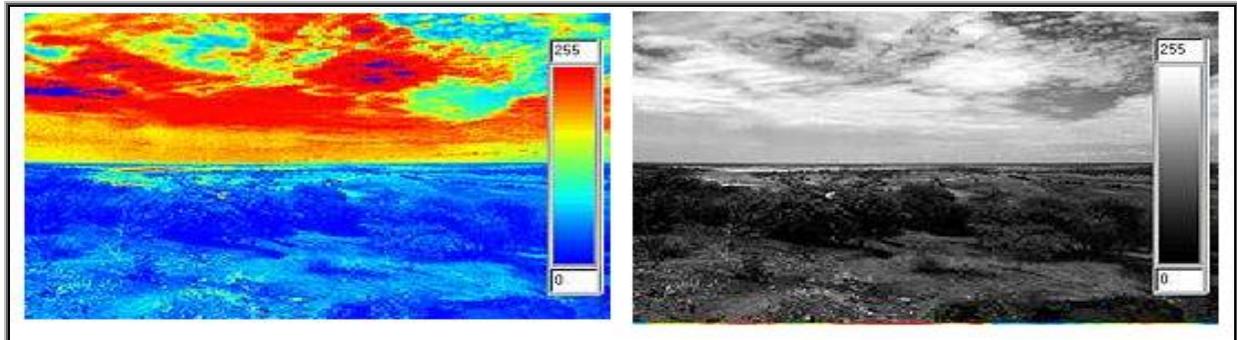


Figure 12: Résolution spectrale. (Science direct, 2019).

I.14.3. Résolution radiométrique

Exprime l'aptitude du capteur, dans une bande spectrale considérée, à distinguer des signaux électromagnétiques d'énergies différentes. Sa limite est la plus petite variation d'énergie décelable. (MAUREL, 2002)

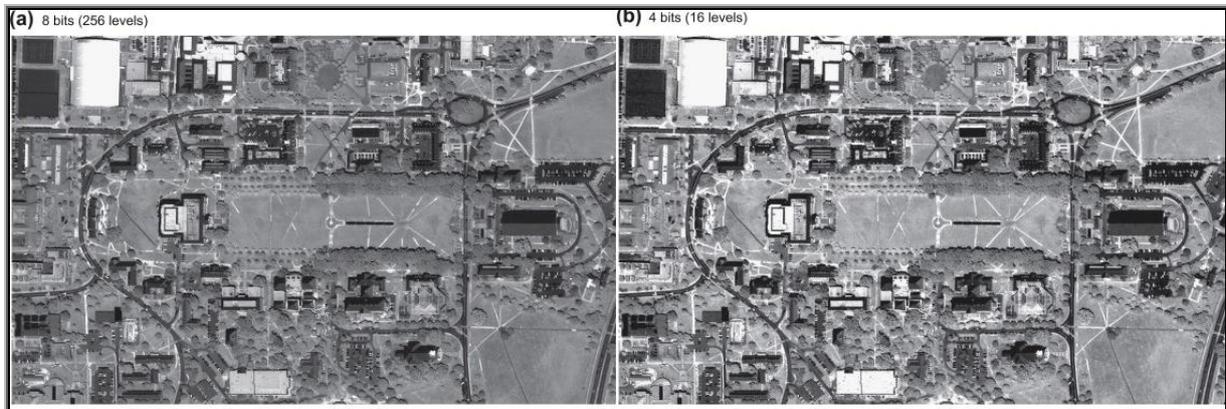


Figure 13: Résolution radiométrique. (Science direct, 2019)

I.15. Traitements d'image

I.15.1. La composition colorée

Aux trois couleurs fondamentales sont donc associés trois canaux d'une image satellitaire. L'illustration ci-dessous montre le codage des trois canaux d'une image LANDSAT : le canal TM1 est codé en rouge, le canal TM3 est codé en vert et le canal TM4 est codé en bleu. Le résultat est appelé composition colorée dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances dans ces trois couleurs de base. (Tho, 2006)

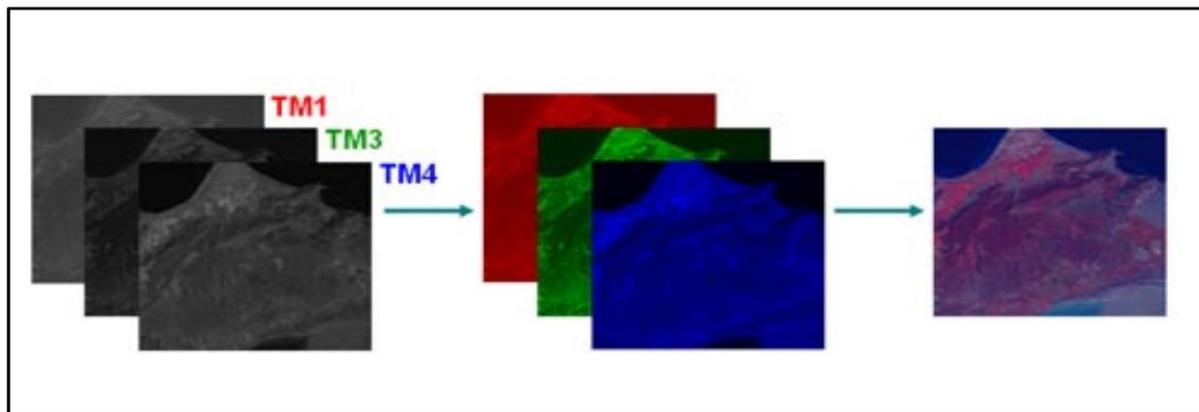


Figure 14 : Le Principe de la composition colorée. (Tho, 2006)

I.15.2. Corrections géométriques

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

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

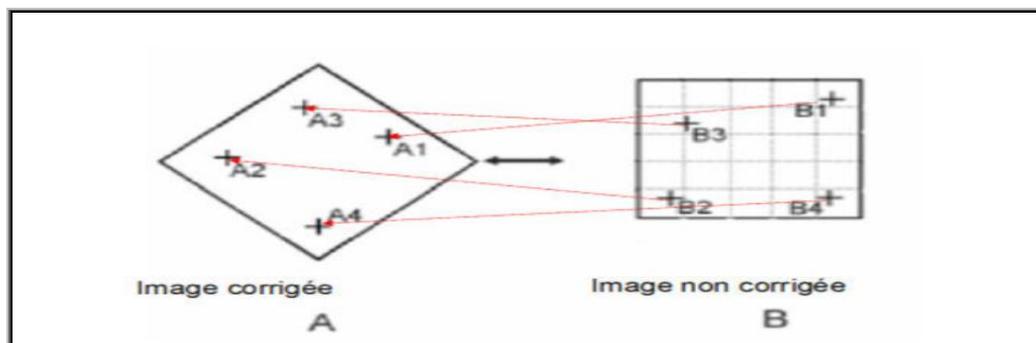


Figure 15 : Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle.

I.15.3. Corrections radiométriques :

Un système d'observation de la Terre idéal serait équipé d'un spectro-radiomètre parfait, mesurant de manière précise et uniforme la quantité d'énergie réfléchie par les objets situés à la surface de la Terre.

Malheureusement, la lumière solaire qui éclaire les objets est perturbée par sa traversée de l'atmosphère et n'éclaire pas tous les objets sous un même angle.

De plus, la lumière réfléchiée par les objets doit également traverser l'atmosphère avant d'être analysée par le capteur du satellite et cette traversée perturbe également le signal.

Ces perturbations sont dues à la présence de gaz et de poussières qui peuvent absorber et/ou réfléchir certaines longueurs d'ondes, modifiant ainsi les propriétés spectrales du rayonnement.

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

Il existe plusieurs solutions pour tenter de corriger ces défauts. Certaines sont basées sur des modèles mathématiques complexes décrivant les interactions principales. Ces modèles sont efficaces, mais leur application suppose que l'on connaisse les valeurs de certains paramètres tels (la composition de l'atmosphère) lors et au lieu de la prise de vue, ce qui est rarement possible.

D'autres méthodes de correction radiométriques se basent sur l'observation de cibles de référence dont on connaît la radiométrie. Des surfaces d'eau libre, des calottes glaciaires et des étendues de sables désertiques sont souvent utilisées, mais ici aussi, on comprendra que la mise en œuvre pratique de ces corrections est souvent malaisée. En fait, une très grande majorité des recherches en télédétection s'effectue sur des données dont la radiométrie n'a pas été corrigée. (eo.belspo, 2019)

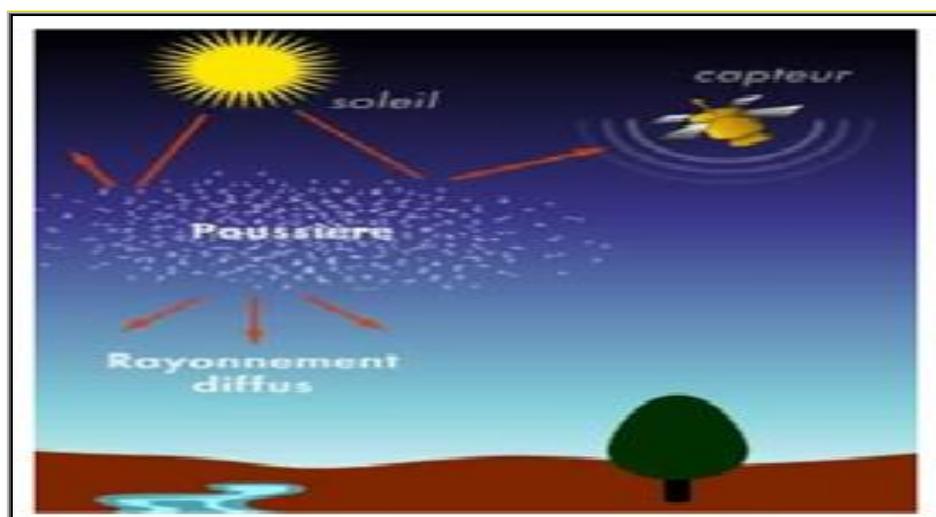


Figure 16 : Corrections radiométriques. (eo.belspo, 2019)

I.16. Les Indices :

Plus de 90% de l'information spectrale sur un couvert végétal est contenue dans les bandes rouge du visible (R) et proche infrarouge (PIR), d'où leur utilisation pour le calcul des indices de végétation. **(BARET & GUYOT, 1991)**

La nature numérique des données de télédétection se prête particulièrement bien à des opérations entre canaux.

Le principe de ces opérations est d'effectuer, pour chaque pixel, des opérations mathématiques plus ou moins complexes faisant intervenir les valeurs numériques observées pour ce pixel dans les différentes bandes spectrales.

Par exemple l'utilisation du logiciel de traitement d'image satellites, on pourrait calculer la somme des valeurs spectrales d'une image à trois composantes: le calcul s'effectue pour chaque pixel, et le résultat est stocké dans une image numérique ayant le même nombre de pixels que les images de base.

Dans certains cas, le résultat des opérations peut être négatif, ou dépasser 255, qui sont la valeur maximale que peut gérer un système de traitement d'images.

On aura alors recours à des coefficients multiplicateurs et/ou à l'ajout d'une constante. Par exemple, si les 2 composantes A et B varient chacune entre 0 et 255, alors $C = (A-B) \times 0,5 + 127$ sera certainement compris entre 0 et 255.

Un très grand nombre d'indices plus ou moins sophistiqués ont été développés spécifiquement pour l'analyse des données de télédétection. Un des plus connus est l'indice de végétation (Normalised Difference Vegetation Index). Dans sa forme la plus utilisée est celle de. **(eo.belspo, 2019)**

I.17. les systèmes de télédétection :

La collecte de données de télédétection est réalisée soit par des avions soit par des satellites. Actuellement, la télédétection évoque surtout l'acquisition de données par les satellites. Il y a une multitude de satellites en orbite qui observent les états de la surface terrestre ont va citer quelques uns.

I.17.1. Satellite moyenne résolution :

I.17.1.1. LANDSAT :

Depuis 1972, la série de satellites d'observation+ de la Terre Landsat, réalisée conjointement par la NASA et les États-Unis, fournit un enregistrement ininterrompu de données spatiales sur la surface de la Terre afin de faire progresser la recherche scientifique visant à la compréhension de notre planète et à l'impact de ses habitants sur l'environnement. Les premiers satellites Landsat ont fourni une profusion de nouvelles données qui ont permis d'améliorer la cartographie des zones éloignées et des caractéristiques géologiques, ainsi que l'analyse numérique de la végétation. L'utilité de la résolution spatiale et spectrale de Landsat a fait progresser son utilisation pour des applications utiles à la société, telles que la prévision des cultures mondiales, la surveillance des forêts, l'utilisation de l'eau, les bilans carbone et la base de Google Maps. Les données à long terme de Landsat constituent une ressource inégalée pour observer le changement de la couverture terrestre et de l'utilisation des sols sur plusieurs décennies. La politique libre et ouverte de données de Landsat en 2008 était un changement de paradigme pour le monde. Aujourd'hui, en raison de l'amélioration des capacités analytiques et informatiques, les archives Landsat sont sur le point de passer à une surveillance et à une compréhension de la Terre plus en temps réel. ([pubs.er.usgs](https://pubs.er.usgs.gov/), 2019)

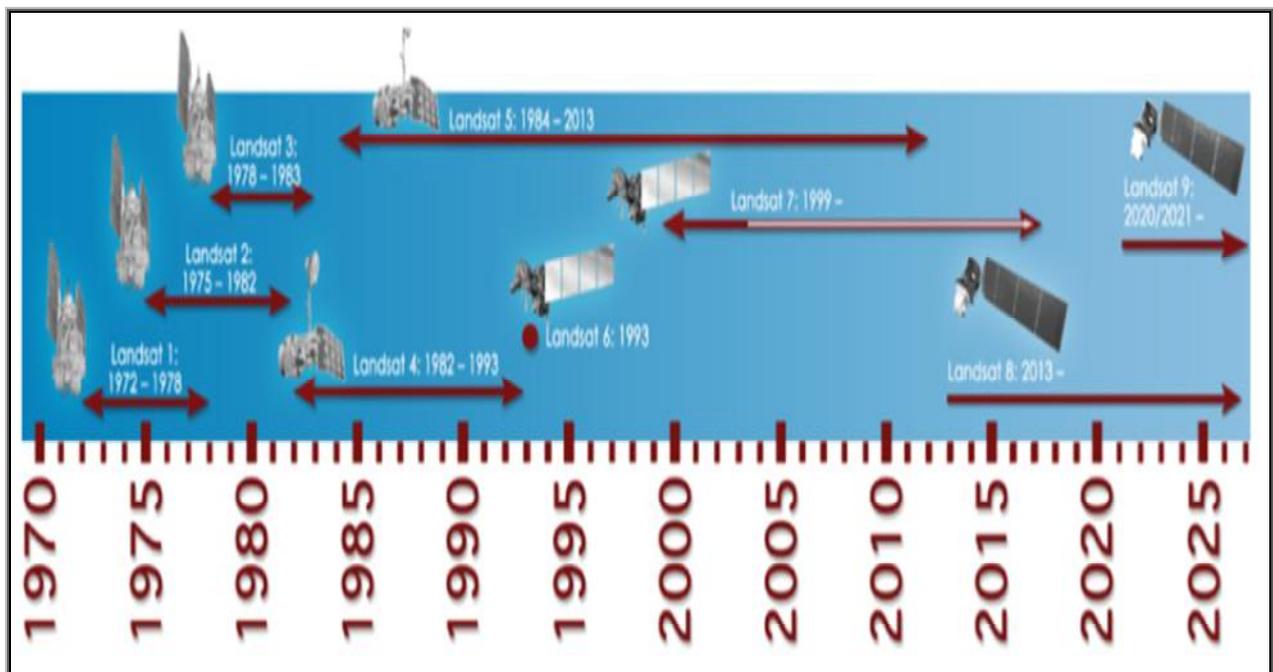


Figure 17: L'histoire des satellites LANDSAT ([landsat.gsfc.nasa](https://landsat.gsfc.nasa.gov/), 2019).

Tableau 3: Caractéristiques des satellites LANDSAT

	LANDSAT	LANDSAT 4 et 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8
PAYS	USA	USA	USA	USA
DATE DE LANCEMENT	1972	1984	avril 1999	2013
ALTITUDE	705 km	705 km	705 km	705 km
CAPTEURS	MSS	TM	ETM +	Oli /TIRS
TYPE	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage
BANDES SPECTRALES	V [0,5-0,6 μm] R [0,6-0,7μm] IR [0,7-0,8μm] IR [0,8-1,1μm]	B [0,45-0,52μm] V [0,52-0,60μm] R [0,63-0,69μm] IR [0,76-0,90μm] IRM [1,55-1,75μm] IRT [10,4-12,5 μm] IRM [2,08-2,35 μm]	B [0,45-0,52 μm] V [0,53-0,61 μm] R [0,63-0,69 μm] IR [0,78-0,90 μm] IRM [1,55-1,75 μm] IRT [10,4-12,5 μm] IRM[2,09-2,35 μm] Pan [0,52-0,90 μm]	A [0.43 - 0.45 μm] B [0.450 - 0.51 μm] V [0.53 - 0.59 μm] R [0.64 - 0.67 μm] PIR [0.85 - 0.88 μm] SWIR1 [1.57 - 1.65 μm] SWIR2 [2.11 - 2.29 μm] Pan [0.50 - 0.68 μm] cirrus [1.36 - 1.38 μm] TIRS1 [10.6 - 11.19 μm] TIRS2 [11.5 - 12.51 μm]
RÉSOLUTION SPATIALE	60 x 80 m	30 m Bande 6 : 120 m	30 m Bande 6 : 60 m Pan : 15 m	30 m Bande 10/11 : 100 m Pan : 15 m
DIMENSION D'UNE SCÈNE	185 x 185 km	185 x 172 km	185 x 172 km	170 km x 185 km
FRÉQUENCE DE PASSAGE	18 jours	16 jours	16 jours	16 jours
VOCATION	VÉGÉTATION, OCCUPATION DU SOL	VÉGÉTATION, OCCUPATION DU SOL	VÉGÉTATION, OCCUPATION DU SOL	VÉGÉTATION, OCCUPATION DU SOL
PARTICULARITÉ	EN ARCHIVE DEPUIS 1972	GRANDE VARIÉTÉ SPECTRALE	GRANDE VARIÉTÉ SPECTRALE	GRANDE VARIÉTÉ SPECTRALE

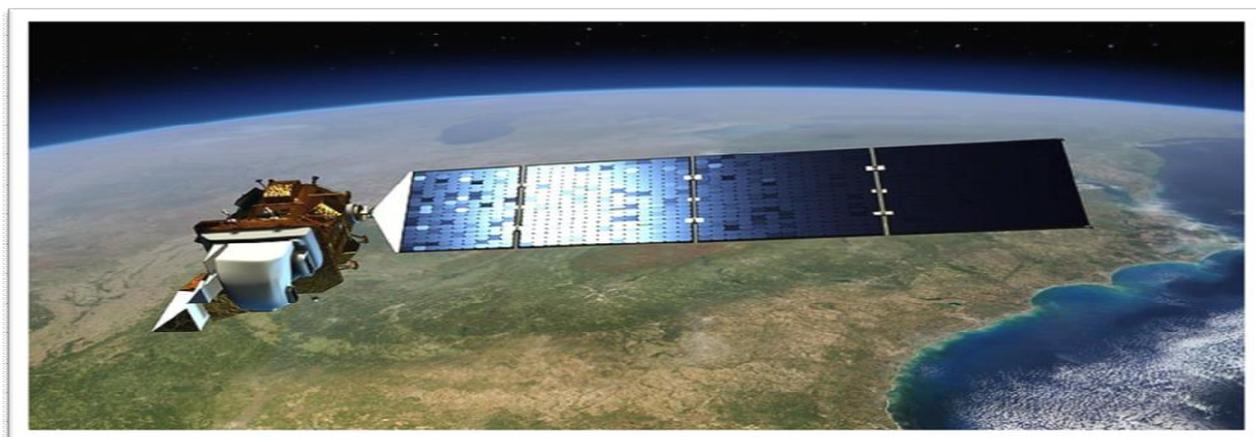


Figure 18: satellite LANDSAT 8. (eos, 2019)

I.17.1.2. Le satellite SPOT

Le programme de Satellites Pour L'Observation de la Terre (SPOT) eut son premier satellite en orbite en 1986. Ce programme développé par la France, la Belgique et la Suède comporte cinq satellites. Les trois premiers satellites lancés en 1986, 1990 et 1993 respectivement sont identiques. Ils sont composés de deux capteurs du spectre visible à haute-résolution (HRV). Ces capteurs permettent l'obtention d'images sur quatre bandes dont une panchromatique. En 1998, SPOT4 fut mis en orbite. Ce dernier est doté de deux capteurs du spectre visible et infrarouge à haute résolution (HRVIR) ainsi que d'un capteur végétation.

(Marie-Dominique Lancelot, trad. Robert J.1994)

Les capteurs conservent les mêmes résolutions spatiales de 10 m pour le panchromatique et 20 m pour les autres bandes que le HRV, mais ajoutent une bande infrarouge. Le capteur VEGETATION capte des images sur les quatre bandes suivantes : bleu, rouge, proche infrarouge et infrarouge central. Il permet l'observation à long terme de la couverture végétale à une résolution de 1 km. SPOT 5 c'est le plus récent satellite de ce programme lancé en 2002. Comporte trois capteurs différents : des capteurs géométriques à haute résolution (HRG). La paire de capteurs stéréo à haute résolution (HRS) est utilisée pour l'acquisition simultanée de couples stéréoscopiques d'une même zone. Ceci fait en sorte qu'un seul satellite est nécessaire pour obtenir des images permettant la création de modèles d'élévation de terrain numérique.

Enfin, ce satellite est aussi doté d'un capteur VEGETATION identique à celui de SPOT 4. **(La France, 2015)** Faible résolution exemple NOAA et modis.

Tableau 4: Caractéristiques des satellites SPOT.

	<i>SPOT 1, 2 et 3</i>	<i>SPOT 4</i>	<i>SPOT 5</i>
PAYS	France	FRANCE	France
DATE DE LANCEMENT	février 1986	mars 1998	Fin 2001
ALTITUDE	822 km	822 km	830 km
CAPTEURS	HRV (Haute résolution visible)	HRVIR (Haute résolution visible et infrarouge)	HRG (Haute résolution géométrique)
TYPE	Radiomètre à barrettes (« Push Broom »)	Radiomètre à barrettes (« Push Broom »)	Radiomètre à barrettes (« Push Broom »)
BANDES SPECTRALES	1 (B) [0,50-0,59 μm] 2 (V) [0,61-0,68 μm] 3 (IR) [0,79-0,89 μm] Pan [0,51-0,73 μm]	1 (B) [0,50-0,59 μm] 2 (V) [0,61-0,68 μm] 3 (IR) [0,79-0,89 μm] 4 (IRM) [1,58-1,75 μm] Pan [0,61-0,68 μm]	B1 (B) [0,50-0,59 μm] B2 (V) [0,61-0,68 μm] B3 (IR) [0,79-0,89 μm] B4(IRM)[1,58-1,75 μm] Pan [0,51-0,73 μm]
RÉSOLUTION SPATIALE (dimension des pixels)	20 m Pan 10 m	20 m Pan : 10 m	B4 : 20 m B1 B2 B3 : 10 m Pan : 5 m et 2 à 3 m
DIMENSION D'UNE SCÈNE	60 x 60 km (80 km en visée latérale extrême)	60 x 60 km (80 km en visée latérale extrême)	60 x 60 km (80 km en visée latérale extrême)
STÉRÉOSCOPIE	Oui $\pm 30^\circ$ d'inclinaison	Oui $\pm 27^\circ$ d'inclinaison	Oui 2 modes : $\pm 27^\circ$ d'inclinaison en visée oblique et visée avant-
FRÉQUENCE DE PASSAGE	3 à 26 jours	3 à 26 jours	3 à 26 jours
VOCATION	OCCUPATION DU SOL, OCCUPATION URBAINE ET PHYSIOGRAPHIE	OCCUPATION DU SOL, OCCUPATION URBAINE ET PHYSIOGRAPHIE	OCCUPATION DU SOL, OCCUPATION URBAINE ET PHYSIOGRAPHIE
PARTICULARITÉ	GRANDE PRÉCISION SPATIALE	GRANDE PRÉCISION SPATIALE	TRÈS GRANDE PRÉCISION SPATIALE

I.17.2. Satellites haute résolution :

I.17.2.1. IKONOS

IKONOS est commandé par la compagnie GeoEye établie en Virginie aux Etats-Unis. Il fut mis en service en 1999. Le satellite GeoEye-1 fut mis en orbite en septembre 2008. Le satellite IKONOS a une résolution spatiale de 1 m en panchromatique et 4 m en multispectral. Les bandes multispectrales captées sont le bleu, le vert, le rouge et le proche infrarouge. GeoEye offre différents d'imagerie comme les images orthorectifiées et les images stéréoscopiques. (Herbert J. K, 2002)

Tableau 5: Caractéristiques des satellites IKONOS.

	<i>IKONOS-2</i>	<i>QUICKBIRD-1</i>	<i>ORBVIEW-3</i>	<i>ORBVIEW-4</i>
PAYS	USA - Space Imaging	USA - EarthWatch	USA - Orbimage	USA - Orbimage
DATE DE LANCEMENT	septembre 1999	«Avril 2000»	2000	2000
ALTITUDE	681 km	600 km	470 km	470 km
CAPTEURS				
TYPE	Radiomètre à barrettes (« Push Broom »)			
BANDES SPECTRALES	(B) [0,45-0,52 µm] (V) [0,52-0,60 µm] (R) [0,63-0,69 µm] (IR) [0,76-0,90 µm] Pan [0,45-0,90 µm]	(B) [0,45-0,52 µm] (V) [0,52-0,60 µm] (R) [0,63-0,69 µm] (IR) [0,76-0,89 µm] Pan [0,45-0,90 µm]	(B) [0,45-0,52 µm] (V) [0,52-0,60 µm] (R) [0,62-0,69 µm] (IR) [0,76-0,90 µm] Pan [0,45-0,90 µm]	(B) [0,45-0,52 µm] (V) [0,52-0,60 µm] (R) [0,62-0,69 µm] (IR) [0,76-0,90 µm] Pan [0,45-0,90 µm] Hyperspectral [0,45-25,0 µm] 200 bandes
RÉSOLUTION SPATIALE (dimension des pixels)	4 m Pan : 1 m	4 m Pan : 1 m	4 m Pan : 1 m	4 m Pan : 1 m Hyperspectral : 8 m
DIMENSION D'UNE SCÈNE	13 x 13 km	22 x 22 km	8 x 8 km	8 x 8 km Hyperspectral : 5 x 5 km
STÉRÉOSCOPIE	Oui ± 26° d'inclinaison	Oui	Non	Non
FRÉQUENCE DE PASSAGE	3 jours à 1 m 1,5 jour à 1,5 m	1 à 5 jours	3 jours	3 jours
VOCATION	OCCUPATION DU SOL, AGRICULTURE ET CARTOGRAPHIE			
PARTICULARITÉ	TRÈS GRANDE PRÉCISION SPATIALE			

I.18. Les différents indices de végétation

Introduction :

En télédétection, les indices font parties des méthodes de traitement que l'on appelle les transformations multispectrales. Ils consistent à convertir les luminances transformées en réflectance mesurées au niveau du capteur satellitaire en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement.

Basés sur le caractère multispectral des données satellitaires, ils permettent de décrire l'état d'un phénomène. Un indice de végétation par exemple, peut rendre compte du stade de croissance végétale à un moment donné.

Tous les indices, que ce soient les indices de végétation, les indices des sols, les indices relatifs à la colonne d'eau, etc., reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Les indices de végétation sont très utilisés d'une part, pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux, comme la biomasse, l'indice de surface foliaire, la fraction de rayonnement photosynthétique actif, etc. **(e-cours.univ-paris, 2019)**

I.18. 1. Les principaux indices de végétation

De très nombreux indices de végétation ont été construits et utilisés depuis maintenant une quarantaine d'années. Ils prennent la forme soit d'expressions très basiques (simple différence ou simple ratio), soit de formules beaucoup plus complexes. On a l'habitude de les classer en familles d'indices selon qu'ils prennent ou non en compte les facteurs externes aux couverts végétaux, tels que l'influence de l'atmosphère, la contribution spectrale des sols, la teneur en eau des végétaux (indices de sécheresse **(e-cours.univ-paris, 2019)**).

I.18. 2. Les indices simples

Les indices de végétation les plus simples sont basés sur des opérations arithmétiques entre deux bandes spectrales, généralement le rouge et le proche infrarouge, mais également les bandes du proche et du moyen infrarouge

On cite quatre indices simples qui sont :

I.18.2.1. L'indice de brillance (IB)

Traduit les changements de teintes des sols nus et des roches. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les deux canaux.

$$IB = \sqrt{(PIR)^2 + R^2} \quad (1)$$

Cet indice permet théoriquement et mettre en évidence l'humidité du sol, la rugosité des surfaces ainsi que leur couleurs. (DESHAYES M. et MAUREL P., 1990)

I.18.2.2. Différence Végétation Index (DVI)

Les premiers indices prennent uniquement en compte la simple différence de réflectance entre le PIR et le R :

$$DVI = PIR - R \quad (2)$$

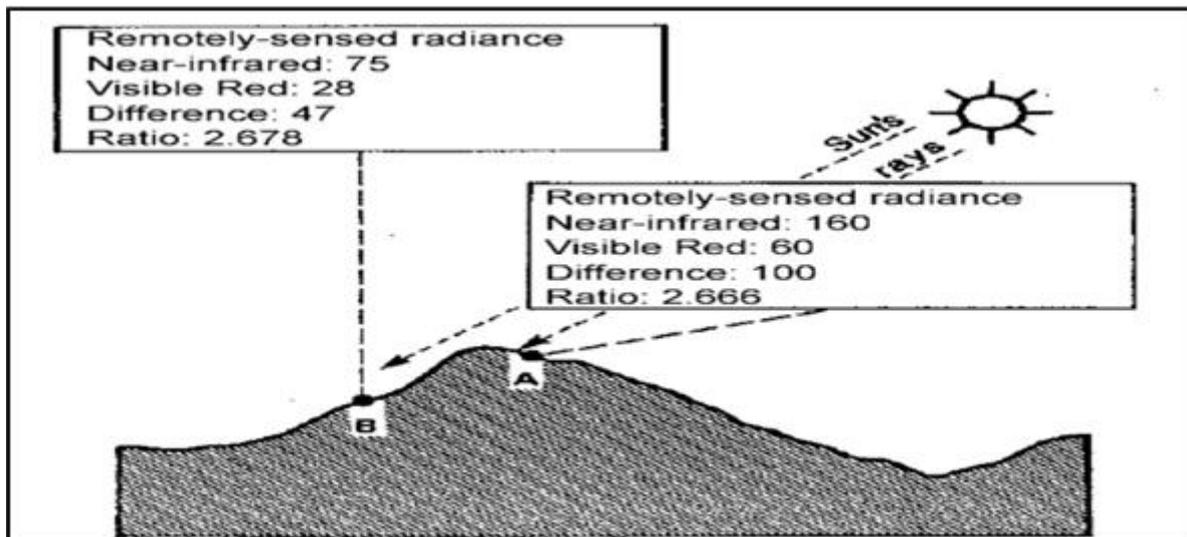


Figure 19 : comparaison du rapport et de la différence entre bandes pour deux points illuminés différemment.

La (fig.19) représente deux points de couverture végétale identique mais ne recevant pas la même quantité d'éclairement direct par unité de surface en raison de l'orientation des versants par rapport au rayonnement direct solaire. L'éclairement en B est égal à 50% de l'éclairement en A. La différence entre les comptes numériques de PIR et R n'est pas identique entre les deux points. Le DVI ne nous donne donc pas une bonne indication de l'état de la végétation car il est extrêmement influencé par l'éclairement différentiel et donc par les variations topographiques (Mather, 1987). Il en résulte que le DVI est très rarement utilisé, en comparaison aux autres indices plus performants. (Mather, 1987).

I.18.2.3. L'indice de végétation par quotient (RVI en anglais)

S'exprime également de façon très simple. Il est égal au rapport entre les bandes du PIR et du rouge.

$$RVI = \frac{PIR}{R} \quad (3)$$

L'inconvénient de ces indices est qu'ils sont très sensibles aux variations atmosphériques, ainsi qu'à la contribution spectrale des sols. En outre, lorsque la végétation est très dense, la réflectance dans la bande rouge devient très faible, ce qui entraîne une saturation des valeurs de l'indice RVI. (BENKAHLA N, 2011)

I.18.2.4. L'indice de végétation par différence normalisé (NDVI)

Depuis 1973, l'indice de végétation à différence normalisée (NDVI) est utilisé pour étudier la végétation. Son existence est due à la télédétection, ensemble de techniques employées pour acquérir des informations à distance qui fournissent les mesures de réflectance ou rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par les corps terrestres dans différentes longueurs d'onde (de 0.4 μm à 14 μm) effectuées par les satellites à défilement. Sa valeur varie de -1 à 1 et n'a pas d'unité. Selon TUCKER *et al.* (1981) cités par HIERNAUX et JUSTICE (1986), la valeur de 0,05 est le seuil indiquant une présence minimale de végétation correspondant à 100 kg de matière sèche par hectare avec une couverture de 1 %. Son utilisation est avantageuse, son calcul est simple et sa normalisation réduit les effets d'arrière plan tout en discriminant le spectre de la végétation (HIERNAUX & JUSTICE, 1986). En effet, selon ces auteurs, l'intensité du rayonnement de la matière verte augmente beaucoup dans le rouge (R) à cause de la chlorophylle qui l'absorbe, tandis qu'elle augmente légèrement dans le proche infra rouge (PIR), à cause de la diffusion des radiations par les parois hydratées des cellules foliaires.

Il est donc un bon indicateur de la vigueur de la végétation. L'indice de végétation normalisé a été calculé selon la formule proposée par ROUSE *et al.* (1974) :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad (4)$$

Ensuite, il a fallu corrélérer les valeurs du NDVI aux types de végétation présents sur le site d'étude

I.19. La relation entre indice de végétation et l'activité chlorophyllienne

Les plantes ont besoin de l'énergie solaire pour assurer le phénomène de la photosynthèse liée à la chlorophylle. La bande du rouge n'est absorbée que par la chlorophylle, alors que la bande du bleu est absorbée par les autres composants de la feuille, comme les caroténoïdes (de sorte que le bleu est moins corrélé à la chlorophylle). Donc, plus le rouge est absorbé, plus la chlorophylle est active dans les feuilles. Les cellules végétales turgescents, servent de miroir aux infrarouges. (GEOSYS G, 2017)

Quand la pression osmotique est élevée, la plupart des infrarouges sont réfléchis par la plante. Donc, plus la plante réfléchit d'infrarouges, plus la biomasse est en bonne santé. (GEOSYS G, 2017)

L'indice NDVI est à la fois sensible à la biomasse et à l'activité chlorophyllienne. Il varie sur une plage de données de -1 à +1. Plus le couvert végétal est développé et en bonne santé, plus l'NDVI est élevé, le NIR étant alors fort et le RED faible. Si la végétation est par contre morte ou que les données ont été enregistrées sur un sol nu, le NIR sera plus faible et le RED plus fort ce qui diminuera l'écart NIR-RED et le NDVI correspondant. (GEOSYS G, 2017)

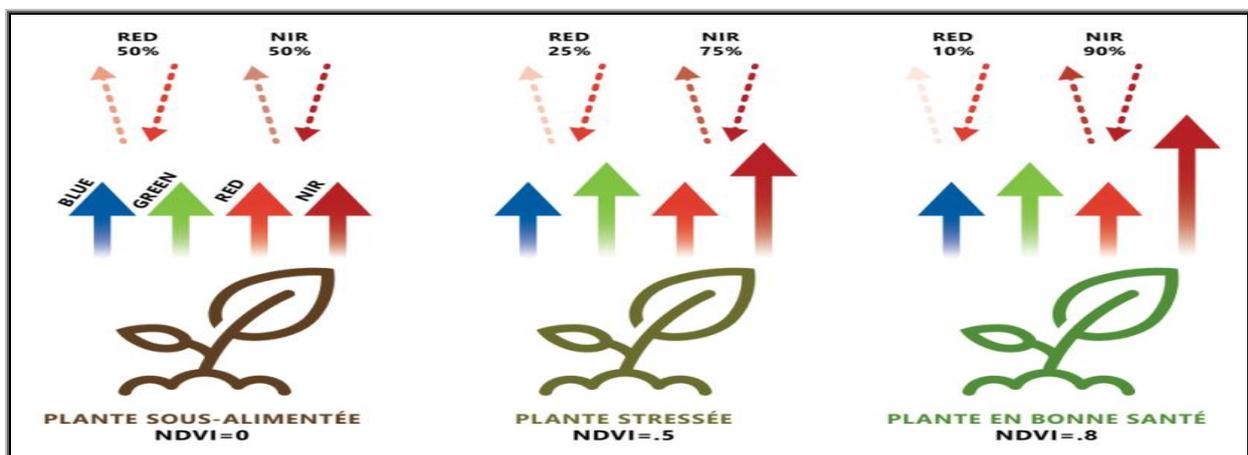


Figure 20: variation de NDVI en fonction de la santé de la végétation. (GEOSYS G, 2017)

CHAPITRE II

Présentation de la zone d'étude

Introduction

Ce présent chapitre s'intéresse aux caractéristiques géographiques, physiques et écologiques de notre zone d'étude qui est les cantons de Kaf Sachine et Sidi Abdoune situés au nord des cédres de Theniet El Had dans la wilaya de Tissemsilt.

II.1. Historique

Lors de l'installation du fort militaire colonial à Theniet El Had en Avril 1843, la forêt des cédres fut l'objet d'une exploitation abusive sous l'autorité du génie militaire et sans la participation du service forestier. Cette exploitation a fait l'objet d'abattage de grandes et belles tiges dont beaucoup furent laissées sur place sans qu'elles ne soient exploitées, faute de difficultés de transport. En 1851, le service forestier procéda à l'abattage de cédres destinés à des expériences pour la reconnaissance de son utilisation. À partir de 1862 et jusqu'à 1870, l'administration forestière entama, par le biais d'une main d'œuvre militaire, des opérations de nettoyage de la forêt de bois mort sur pied sur des surfaces considérables. Durant la période 1865-1893, l'administration a procuré par concession de gré à gré 3.140m de bois d'œuvre et 9.000 stères. En 1870 et 1885 des exploitations importantes furent réalisées par le service forestier portant sur des bois vendus par adjudication. Faute de capitaux, l'opération étant échouée (**Lefebvre, 1894 in Zedek, 1993**).

En 1887, le délégué financier Jordan, attiré par la splendeur naturelle du site, construisit un Chalet au Rond-point et l'utilisa pour passer l'été avec sa famille pendant trente-six années consécutives (**Bonneval, 1894 in Zedek, 1993 ; Yahiaoui, 2010**).

La valeur artistique et scientifique de la cédraie conduisit le Gouvernement Général de l'Algérie à l'ériger en parc national. Ce fut alors le 03 Août 1923 que naquit le premier parc national de l'Algérie d'une superficie de 1563 ha (De Bonneval, 1930 ; Anonyme, 1930 in Zedek, 1993). Pendant la guerre de libération, certains cantons qui étaient inaccessibles ont été déclarés zones interdites et soumis à des bombardements au napalm (**Sari, 1977 ; Boudiba, 2002**).

En date du 23 Juillet 1983 par décret n°83-459, le Gouvernement algérien érigea de nouveau la cédraie en Parc National d'une superficie de 1563 ha. Actuellement, la superficie du parc s'élève à 3425 ha (**PNTEH, 2019**).

II.2. Cadre physique

II.2.1. Situation géographique

Notre zone d'étude Le parc national de Theniet El Had sise dans la partie septentrionale de l'Ouarsenis comprise entre les monts de Beni Chograne à l'Ouest, les monts de Tetteri à l'Est, la vallée du Chelif au Nord et les plaines du Sersou au Sud. La forêt étendue sur les versants de Djebel el Meddad dont le cèdre occupe près de 1/3 de la superficie totale du parc (**PNTEH, 2019**).

Le parc national est distant de 52 km du chef lieu de la wilaya de Tissemsilt et à environs 1,8 km du chef lieu de Daïra de Theniet El Had, il est localisé entièrement dans la Wilaya de Tissemsilt, distant de 180 km au sud-ouest d'Alger, il s'étend sur les communes de Theniet El Had et celle de Sidi Boutouchent. Suivant les coordonnées géographiques :

Latitude : 35° 54' 4'' et 35° 49' 41'' de latitude Nord ;

Longitude : 02° 02' 4" et 01° 52' 45'' de longitude Est ;

Altitude : varie entre 858 à 1787 m.

Le parc abrite une richesse d'espèces animales et végétales, de paysages et des sites naturels singuliers, avec la présence de beaucoup de clairières pittoresque (la prairie Merga située parmi ces beaux peuplements et la clairière du rond-point à une altitude de 1461 m), de plus cette forêt présente des formes rocheuses façonnant des sites spectaculaires (**Bessah 2005 ; DGF, 2005 ; PNTEH 2006 in Naggar 2010**).

Le point culminant du parc est le point géodésique : « Ras El Braret » qui atteint une altitude de 1787 m, le point bas se trouve au versant nord à 853 m, l'altitude moyenne est de 1320 m. De point de vue agglomération et à l'exception de la ville de Théniet El Had qui se situe dans son voisinage immédiat, le parc est relativement éloigné des fortes concentrations urbaines.

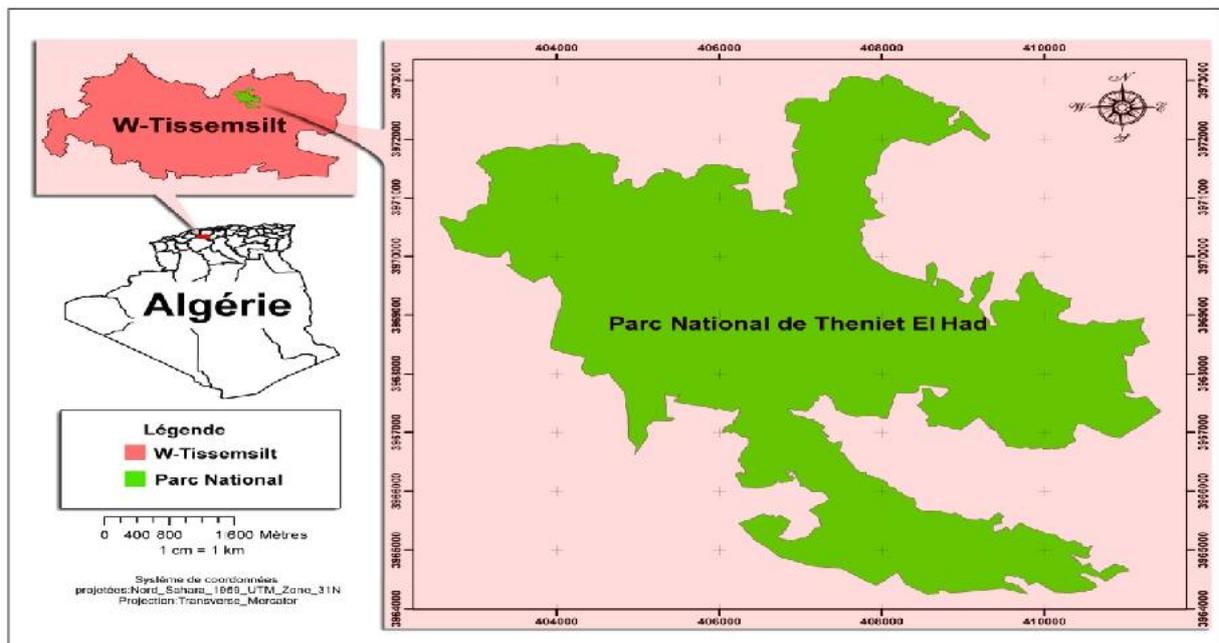


Figure 21: Carte de localisation du parc national de Thneit El Had (PNTEH 2019).

Sur le plan juridique, notre aire d'étude fait partie de la forêt domaniale d'El Meddad dont une superficie de 3424 ha est classée en parc national.

De point de vue découpage administratif, le territoire du Parc fait partie de :

Wilaya de : Tissemsilt

Daïra de : Theniet El Had

Commune de: Theniet El Had

II.2.2. Situation administrative:

Le parc national appartient aux régimes des terres domaniales des terres communales de theniet el had et de sidi boutouchent et des terres privés (Ounadi et al, 1990)

la zone de notre étude fait partie de :

Conservation: Tissemsilt

Circumscription: Theniet El Had

District: Theniet El Had

II.2.3. Cantons du PNTEH:

La carte représente les cantons du parc de Théniet el Had est divisé en dix (10) cantons, dont la grande partie de Superficie se trouve au niveau du versant sud sur une étendue de 2052 ha.

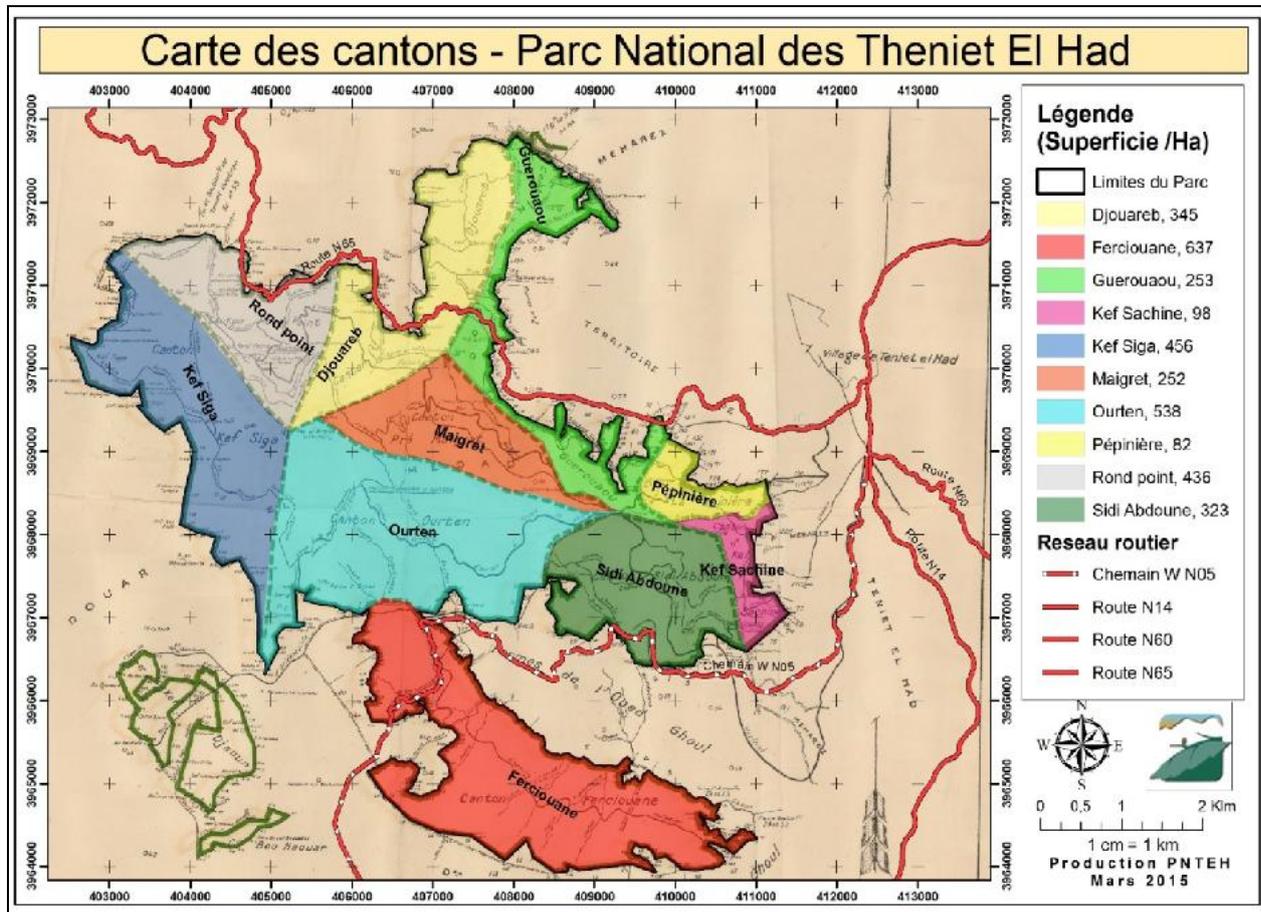


Figure 22: Carte des cantons du parc national de Théniet El-Had (PNTEH, 2019).

II.2.4. Délimitation et superficie de la zone d'étude

Les deux cantons sélectionnés dans notre étude sont les cantons de sidi Abdoune qui a une surface de 323 ha et kef shachine de surface 98 ha. (Figure 22)

La superficie globale du zone d'étude est de 421 ha situé au partie Est de massif il est limité au Sud par des terres agricoles et Oued El Ghoul, au Nord par le canton pépinière et Guerouaou à l'Ouest par le canton Ouerten et à l'Est par des terres agricoles.

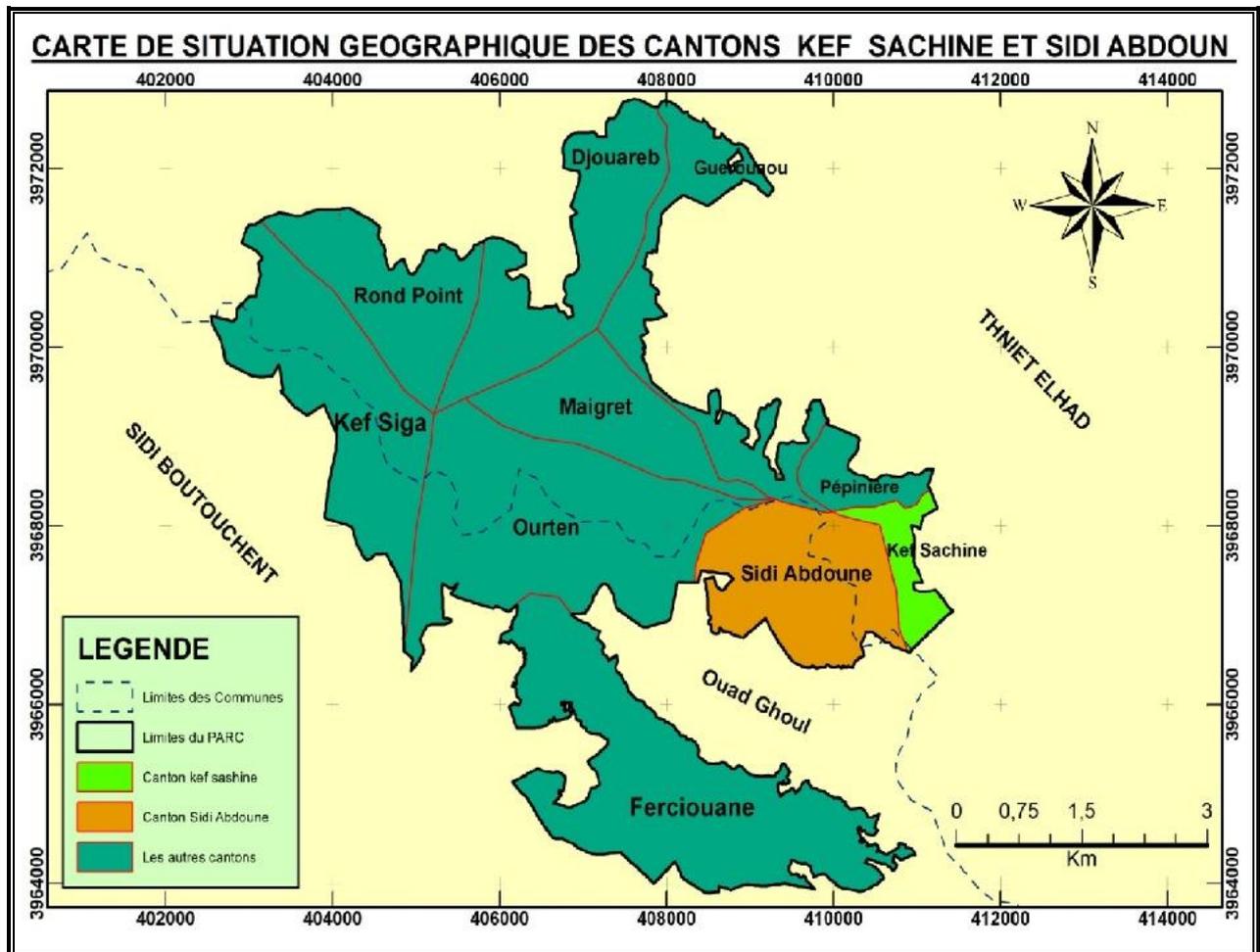


Figure 23:carte de situation géographique de kaf Sachine et Sidi Abdoune. (PNTEH, 2019)

II.2.5. Topographie :

II.2.5.1. Relief :

Le parc représente globalement deux expositions principales : Nord et Sud

- le versant Nord entrecoupé de quelques cuvettes encaissées et la crête principale ou culmine le point le plus haut «Ras el Braret » relevant canton rond-point.
- le versant Sud est d'une assez forte inclinaison, mais contrairement au versant Nord, la longitude du terrain est assez vaste environ le double du premier (PNTEH, 2019).

II.2.5.2. Pentés :

Suivant les deux versants du parc, les fortes pentes sont du côté Nord estimées en moyenne à 40° d'inclinaison (exception faite pour le canton Pépinière où la pente dépasse guère 15°). Le versant Sud par contre présente des pentes plus ou moins fortes (25° au maximum). (PNTEH, 2019).

II.2.5.3. Altitude :

Le territoire du parc est compris entre des altitudes réparties entre les deux principales expositions :

Au versant Nord : il culmine à 1.787 m (Ras El Braret) et descend jusqu'à 853 m au niveau du oued Mouilha dans le canton Djouareb

Au versant Sud : on rencontre une altitude supérieure qui est le pic à 1.787 m et la limite inférieure est à 968 m représentant le bout aval du oued EL Ghoul appartenant au canton Fersiouane à la limite de la RN14 du coté Sud (PNTEH, 2019).

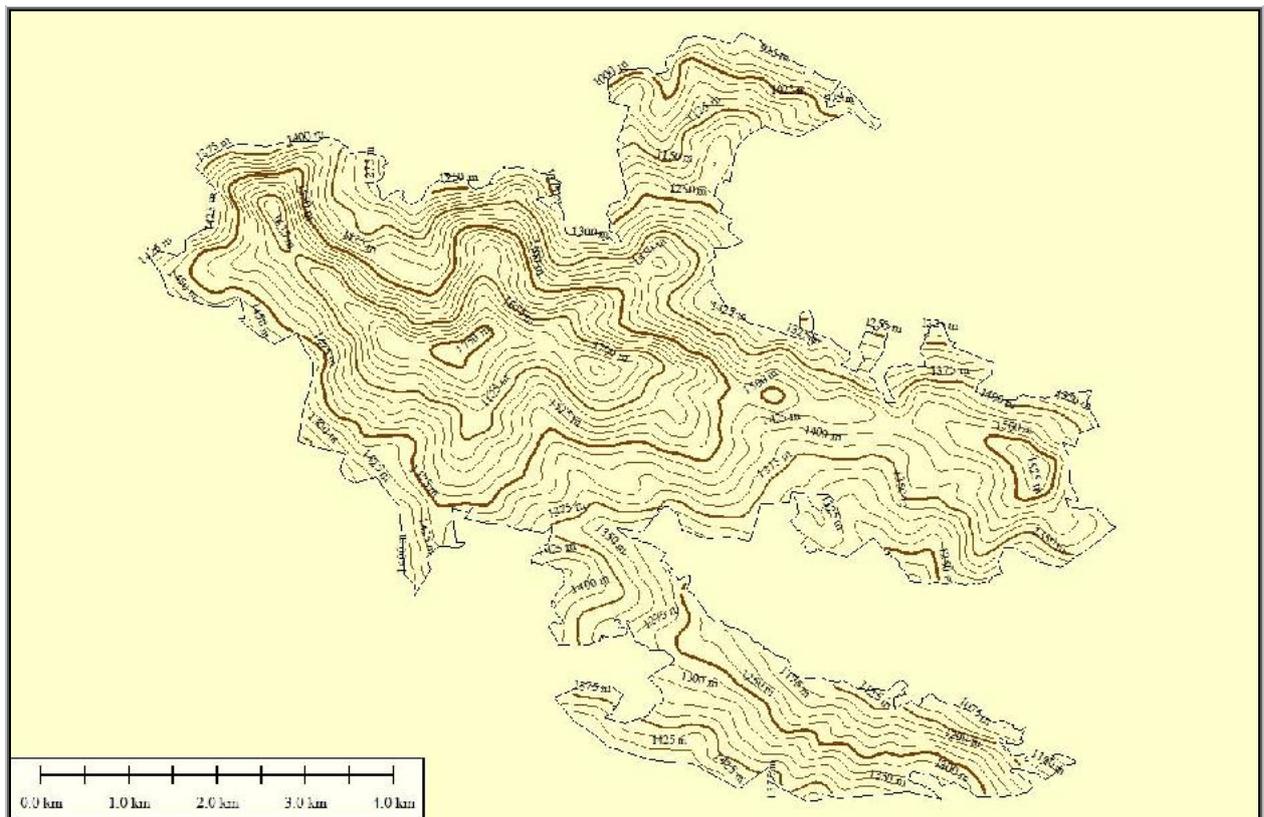


Figure 24: carte topographique de PNTEH. (PNTEH. 2019)

II.2.6. Géologie

Le parc repose sur des grès superposés à des marnes argilo-calcaires (ZEDEK, 1993).

La partie centrale de la zone est formée de sédiments provenant de l'oligocène présenté en faciès numidien, constitué de grès à couches épaisses, reposant sur flysch argileux ou argileux marneux. Sous l'oligocène, dans les fenêtres d'érosion, on aperçoit les sédiments du crétacé supérieur couvert par de gros apports colluviaux. Ils sont présentés par des sédiments supérieurs cénoomanien : c'est une altération des argiles feuilletées, marnes et calcaires. Dans la partie ouest, se localisent les sédiments du moyen éocène développés surtout en marnofaciès. Les accumulations quaternaires sont très fréquentes dans les limites du parc. Elles entourent le massif de grès numidiens et sont représentées par des formations grossières d'apports colluvial et

alluvial, résultant d'un foudroyage intensif de processus d'éboulements et de glissements (MELAZEM, 1990).

II.2.7. Géomorphologie

IL s'agit d'un fragment du paléo-relief d'une prédestination structurelle de dénudation. Son âge est probablement du haut Miocène. Le relief est trop influencé par des particularités litho structurales sous les talus et sur les versants développés en grès numidien.

L'aspect morphologique du méso et micro-relief est constitué de loupes de glissements. Les processus de glissements sont anciens (pléistocènes), nouveaux (holocènes) et récents, de degré différent de développement (PNTEH, 2019).

Selon Dip et Zaiz (2011), 64,68% de la surface totale du PNTEH possède des expositions Nord et Nord-Est. Les cèdres sont répartis inégalement sur deux versants, les 4/5 occupent le versant nord, le 1/5 se trouve sur le sud et l'ouest (Chai et Kerrou, 2015).

II.2.8. Pédologie

En 1930, le gouvernement d'Algérie a caractérisé le parc par des sols assez maigres, peu profonds et déchirés souvent par roche à nu et entre-coupé d'escarpement rocheux atteignant une centaine de mètre de hauteur. Cependant l'étude bulgare (1984) faite sur l'Ouarsenis distingue les types de sols suivants :

- **les sols peu évolués:** groupe d'apport colluvial. Ils sont formés par des matériaux argilo-sablonneux mélangés à des morceaux de roches particulièrement de grès. Ils sont formés à la suite des dépôts d'éléments provenant des sols à fortes pentes.
- **les sols brunifiés:** groupe lessivé. Ces sols se caractérisent par un profil pédologique complet de type ABC, d'un horizon de texture B qui contient de l'argile lessivée. L'horizon A est de type mull ou moder, ils sont riches en potassium, en azote et en matière organique dans l'horizon superficiel (Hadj, 1998).
- **les sols minéraux bruts :** groupe d'érosion, ces sols se succèdent presque sans interruptions avec des affleurements de la roche mère et sont peu profonds (Zedek, 1993).

- **Les sols calcimagnésiques:** Les sols calcimagnésiques, sous-classe des sols carbonés est de groupe bruns calcaires érodés, leur répartition est très limitée on petites tâches occupées surtout par de terres labourées ou par des cultures on train de murir. (Bulgarie, S. 1984).

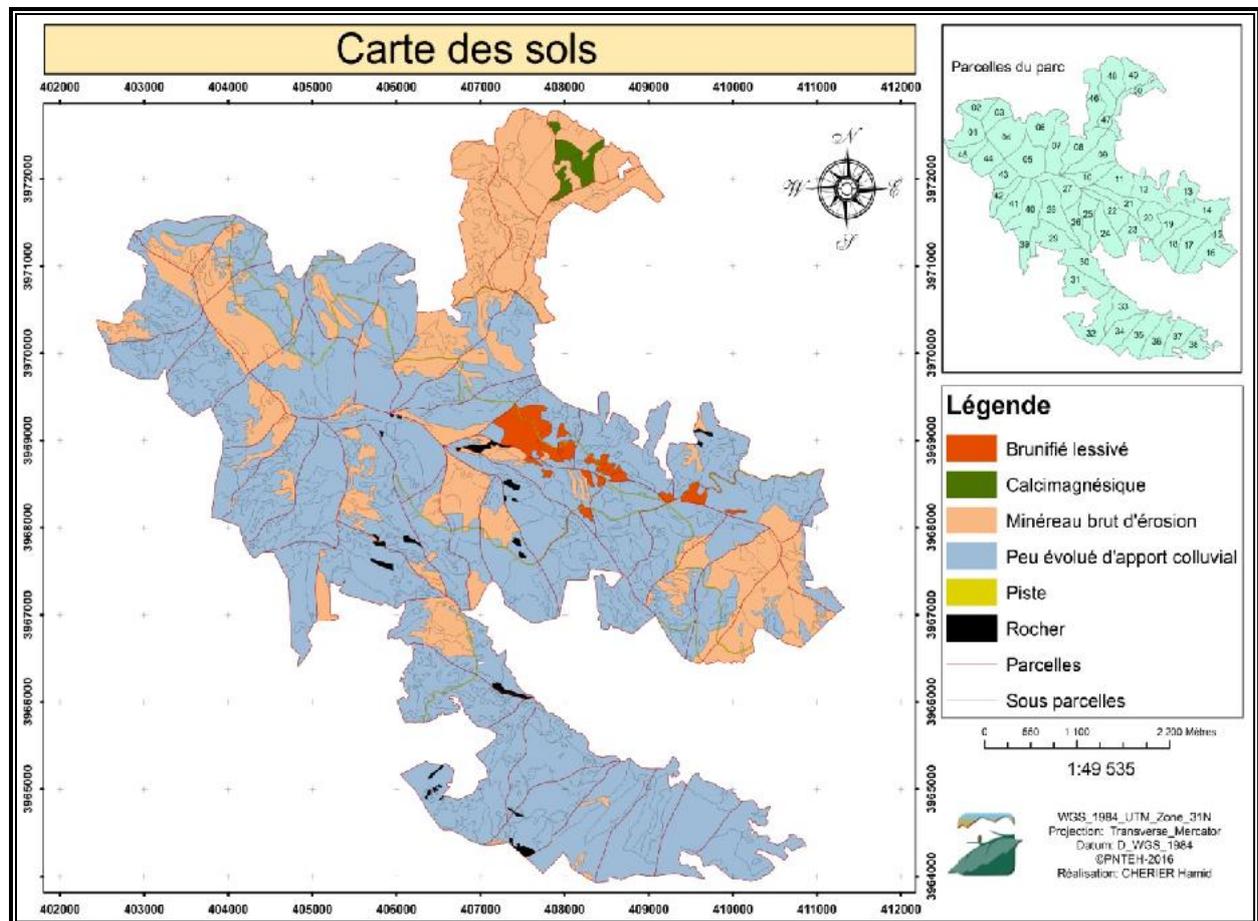


Figure 25:carte des sols du Parc National De Theniet El Had. (PNTEH 2019)

II.2.9. L'érosion :

Comme dans tous les reliefs élevés des régions méditerranéennes, les nombreux facteurs tant physiques qu'humains font de l'Ouarsenis une région de forte érosion. Dans le Parc, il a été relevé :

- Sur le versant Nord, au bassin versant d'Oued Zeddine occupé de peuplements de cèdre, malgré la présence de pentes difficiles, le processus érosif n'est pas important. Seulement dans la partie périphérique Est et Ouest où les peuplements sont bien clairs, il y'a de l'érosion en nappe très active.
- Le versant Sud est occupé par des peuplements rabougris et dont les surfaces libres sont couvertes de végétation arbustive et herbacée, dans les parties les plus à l'Ouest et où la végétation est anéantie par le pacage, l'érosion en nappe est plus active.

- Les surfaces de la crête principale sont couvertes de végétation feuillue, arbustive et herbacée, l'érosion n'y a pas une importante pratique.
- Dans toute la région du Parc, il n'y a pas d'érosion en stries. Les formes érodées anciennes sont couvertes de végétation où se sont transformées en ravins à relief calme et arrondi.

Les constatations ci-dessus, permettent de conclure que le processus érosif dans le parc n'est pas très actif. Ainsi, sur les surfaces réduites du terrain à manifestation active d'érosion en nappe, doit être implantée une végétation suffisante en vue d'une protection plus adéquate du sol (PNTEH, 2019).

II.2.10. Hydrologie :

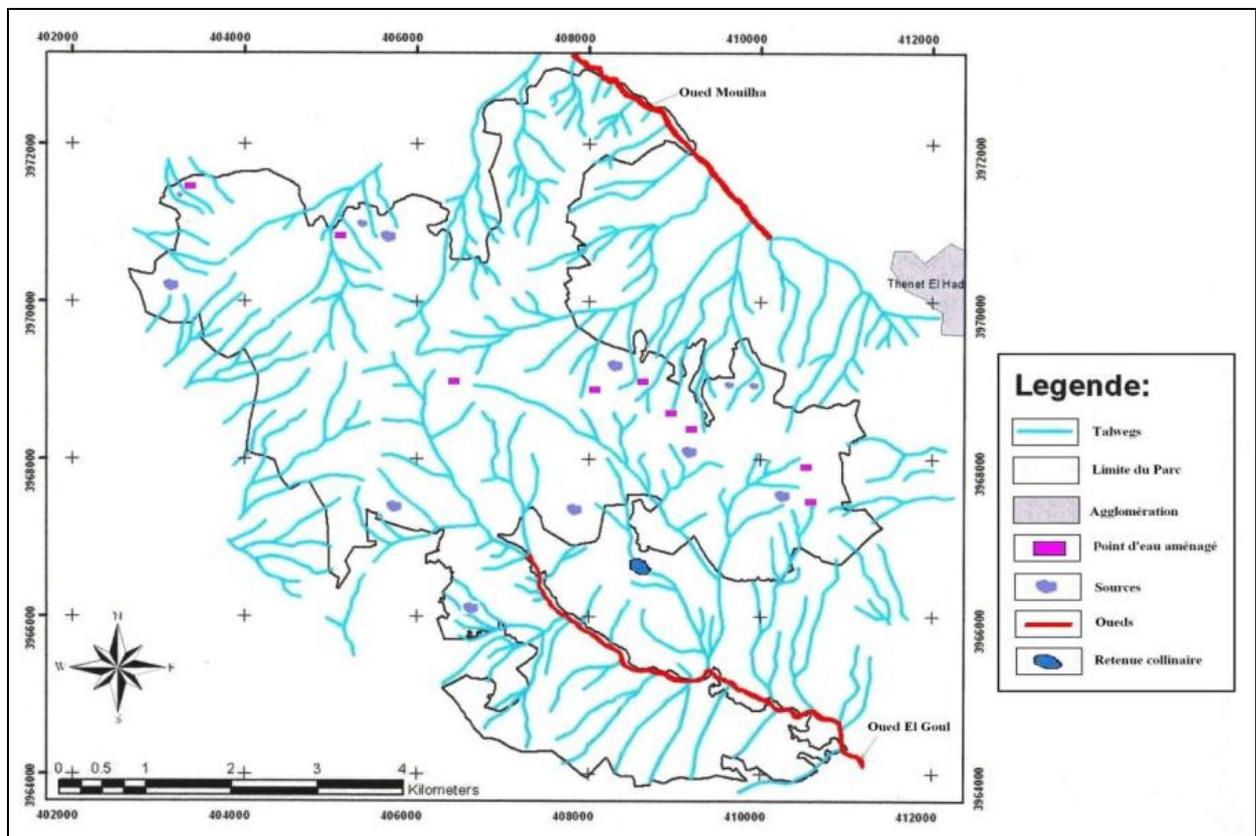


Figure 26: du réseau hydrographique du Parc National de Theniet El Had (Mairif, 2013).

II.2.10.1. Les oueds :

A la périphérie du Parc, existent deux oueds permanents :

- Oued El Mouilha au Nord Est du parc
- Oued El Ghoul au Sud du parc

Dans cette zone existe un réseau hydrique très ramifié et souvent temporaire. Il est très souvent fortement encaissé et se termine par un ravinement dense.

II.2.10.2. Les sources :

Le parc national de Theniet El Had est riche de 52 sources dont une grande partie est ferrugineuse. Le tableau détaillé de ces sources est joint en annexes. Il y a lieu de relever à ce niveau les sources les plus importantes du point de vue débit et qualité.

- Source d'Ain El Harhar (canton Rond-Point)
- Source de Djedj El Ma (canton Ourten)
- Source de Toursout (canton Pré Benchohra)
- Source d'Ourten (canton Ourten)
- Source d'Ain Guigueb (canton Rond-Point)
- Source d'Ain Kinia (canton Fersiouane)

II.2.10.3. Les étangs :

Les étangs temporaires sont une particularité du parc national de Theniet El Had. Ils s'assèchent généralement à partir du mois de juillet. Cependant, celui du Rond point et la retenue collinaire de Sidi Abdoune est permanents. Le tableau suivant résume quelques données sur les plus importants étangs.

Tableau 6: données sur quelques étangs (PNTEH, 2019).

Nom de l'étang	Surface m2	H (m)	h	Hm(m)	Volume m3
Sidi Abdoune	28041	1	0,6	0,8	22433
Djedj el maa haut	779	0,8	0,4	0,6	467,5
Djedj el maa bas	855	0,6	0,3	0,45	385
Rond point bas	735	0,6	0,3	0,45	331
Rond point haut	1133,5	0,9	0,6	0,75	850
Guelmam pépiniere	227	0,6	0,2	0,4	91
Guigueb	177	0,6	0,3	0,45	79,65

II.3. Cadre climatique :

II.3.1. Choix de la station météorologique :

En l'absence de station météorologique au niveau de notre zone d'étude, nous avons utilisés les données des stations météorologiques les plus proches, en considérant les critères topographiques et altitudinales. Les stations qui répondent à ces critères sont : station de Miliana.

Nous avons pris les données de station de Miliana comme référence ; les données enregistrées durant la période **1988 – 2018** sont les seules à partir desquelles on caractérisera le climat de la cédraie, du moins à titre indicatif.

II.3.2. Les précipitations

La pluie c'est un facteur important dans la vie des plantes néanmoins l'irrégularité des pluies dans la région est une caractéristique du climat algérien qui tend vers l'aridité peut avoir un effet néfaste sur le développement de la végétation (**Abdelhamid, 1999**).

II.3.2.1. Les précipitations annuelles

Les données pluviométriques annuelles durant la période allant de 1988-2018 sont présentées dans (**l'Annexe**)

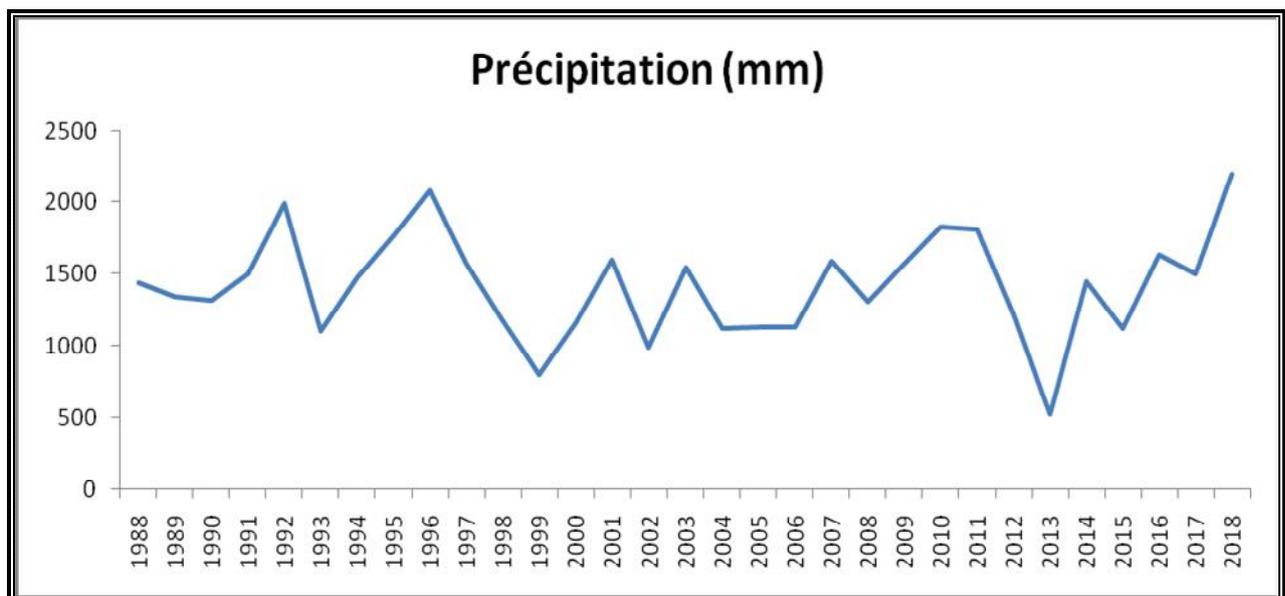


Figure 27: Variation des précipitations annuelles dans la station Miliana (1988-2018)

Selon la figure (27), ci-dessus, la moyenne annuelle enregistrée durant la période (1988- 2018) est égale à 708.2mm. La plus grande valeur de précipitation annuelle maximale, est enregistrée durant l'année 2018 (2194.94 mm), la valeur la plus faible est enregistrée durant l'année 2013 (525.36 mm).

Dans notre zone d'étude les pluies sont plus abondantes en hiver mais la période pluvieuse s'étale d'octobre jusqu'à mai, le maximum de pluies est enregistré pendant le mois de janvier. En été une

faible quantité de pluies est recueillie, cette période s'étale de juin à Août et correspond à la saison chaude.

II.3.2.2. Les précipitations mensuelles :

Les données pluviométriques mensuelles de 30 années sont présentées dans la figure (28) à partir du tableau (l'Annexe 1)

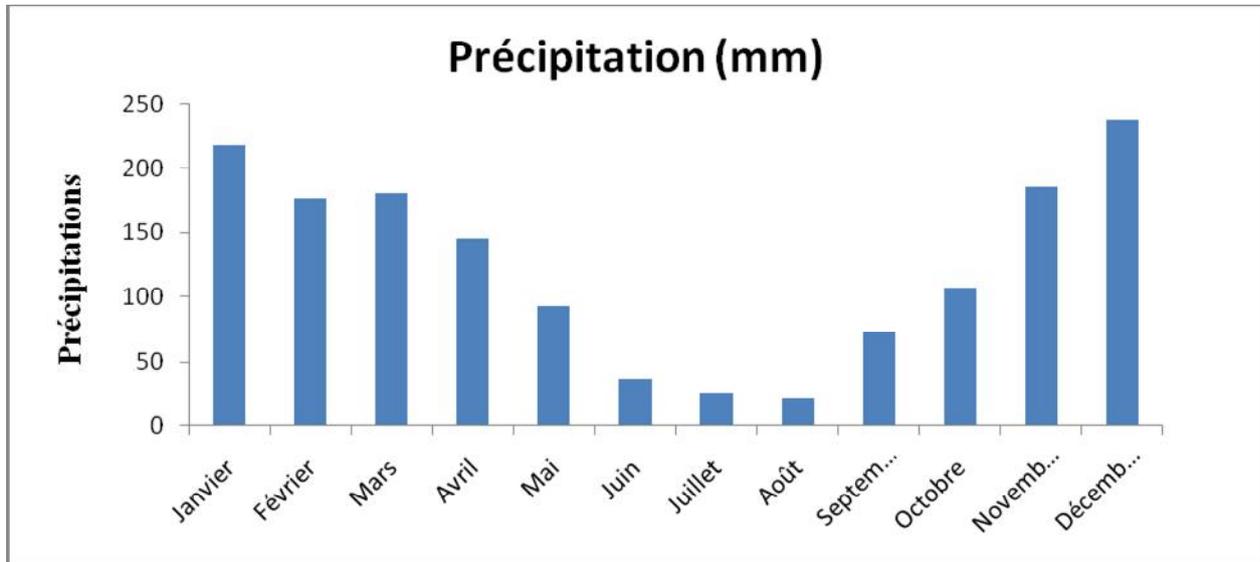


Figure 28: Moyennes mensuelles de la pluviométrie de la station Miliana (1988-2018)

On observe que la plus grande valeur de précipitation mensuelle est égale à 237 mm enregistrée durant le mois décembre, par contre la plus faible valeur de précipitation est estimée égale 22 mm durant le mois Août.

II.3.2.3. Les régimes saisonniers des précipitations :

Les régimes saisonniers donnent une indication sur la répartition des pluies suivant les quatre saisons de l'année, et ceci est en rapport direct avec la croissance de la végétation, autrement dit le cycle du développement des végétaux est étroitement lié au rythme saisonnier. D'après la figure (29) ci-dessous, cet espace où les pluies moyennes d'hiver occupent le premier rang de 45%, viennent en seconde position le printemps avec 26%. Enfin pour l'été ; on constate que 3% de cumul de précipitation.

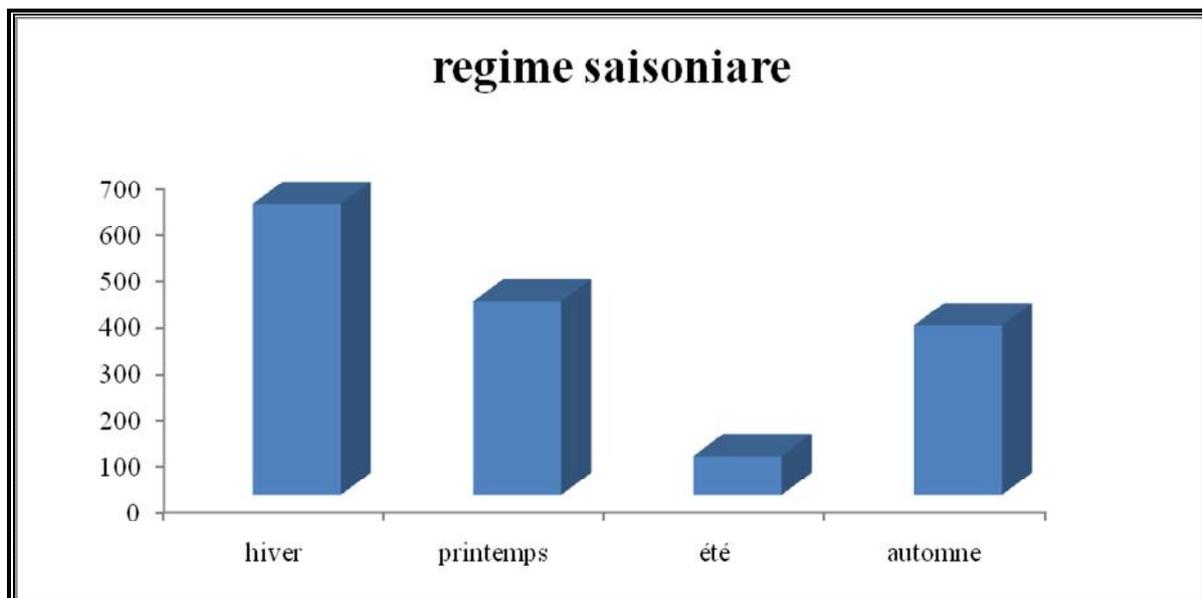


Figure 29: Le régime saisonnier de la station Miliana entre (1988-2018).

II.3.3. Autres formes de précipitations

II.3.3.1 Neige

La neige protège la végétation du froid, mais elle lui est défavorable lorsqu'elle persiste longtemps. Au niveau du parc, la chute de neige est très intense et persiste jusqu'à l'arrivée du printemps, donc pendant toute la période hivernale (ZEDEK, 1993).

II.3.3.2. L'orage

L'orage est un phénomène plus local que la plaine au Djebel el Meddad. L'orage est fréquent en été et rare en hiver.

II.3.3.3. Grêles

Selon Seltzer (1946) le nombre de jour de grêles est faible. (CHAI et KERROUR, 2015).

II.3.3.4. Gelée

Les gelées blanches sont fréquentes en hiver et absentes en été (CHAI et KERROUR, 2015).

II.3.3.5. Humidité

L'humidité relative est faible au milieu de la journée alors qu'elle diminue très légèrement pendant le soir par rapport à la matinée, l'humidité absolue est faible pendant les mois d'hiver et atteint le maximum au cours de d'été (Seltzer, 1946) In CHAI et KERROUR, 2015)

II.3.4. Température

La température est un facteur limitant pour la végétation dans leur répartition altitudinale (RIOU-NIVERT, 2005 In CHAI et KERROUR, 2015).

La température est un paramètre climatique qui conditionne la possibilité et l'intensité de diverses fonctions vitales des végétaux.

II.3.4.1. Les températures mensuelles maximale, minimale : Les températures mensuelles minimales et maximales obtenues par la station de Miliana entre l'année 1988 et 2018 sont représenté dans la figure (30).

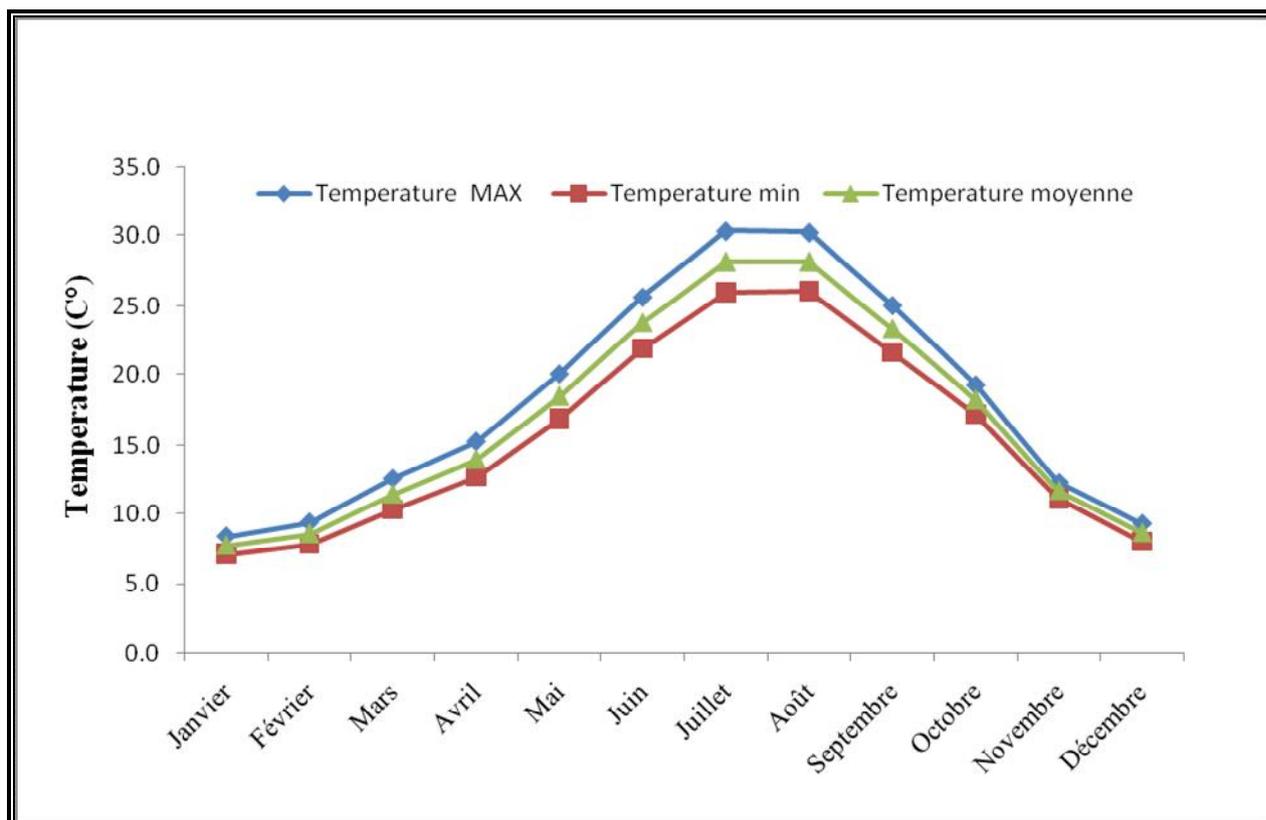


Figure 30: Variation des températures mensuelles maximales, minimale et la moyenne Station Miliana entre (1988-2018).

D'après la figure (12), on observe que le mois le plus chaud est celui de juillet avec la valeur de 30,4°C ; le mois le plus froid janvier avec la valeur de 7,1°C. La température moyenne annuelle est de 16,6°C.

II.3.5. Vent

D'après les données de Seltzer (1946), les vents dominants dans le parc de Theniet El-Had sont ceux par ordre décroissant : Nord-ouest (NW), Nord (N), et Ouest (W) (Guittoun, 2004). Ces vents ont une action desséchante surtout en période estivale (Belkaid, 1988). Le SIROCO, c'est un vent chaud et excessivement sec, il souffle essentiellement pendant la période estivale alors qu'il est très rare pendant l'hiver. Les habitants de la région l'appellent «Guebli » lorsqu'il souffle de l'Est (Melazem, 1990 in Mairif, 2013).

Par contre, à Ain Antar les vents qui prédominent sont des vents de l'Ouest et du Nord-ouest, il existe des vents nuisibles pour la végétation d'origine désertique « SIROCO » avec une moyenne de 19,9 jours/an.

II.3.6. Synthèse climatique

A la suite de plusieurs travaux climatique, de nombreux indices climatiques et bioclimatiques ont été proposés. Les plus courants et les plus utilisés sont basés essentiellement sur la pluie et la température.

II.3.6.1. Diagramme ombrothèrmique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)

L'indice de Gausсен s'applique surtout aux climats qui comportent une saison sèche assez accusée en considérant que celle-ci représente un facteur écologique défavorable à la végétation. D'après Bagnouls et Gausсен (1953), la sécheresse n'est pas nécessairement l'absence totale des pluies, mais elle se manifeste quand les faibles précipitations se conjuguent avec des fortes chaleurs.

Gausсен (1953), considère comme « mois sec » celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée au degré centigrade :

$$P \leq 2T \quad (6)$$

- P : Précipitation mensuelle en mm.
- T : Température moyenne mensuelle en °C

Le climat est sec sur le plan environnemental lorsque la courbe de chaleur est au-dessus de la courbe de pluie, et au contraire, le climat est considéré comme étant écologiquement humide si la courbe de pluie est au-dessus de la courbe de chaleur

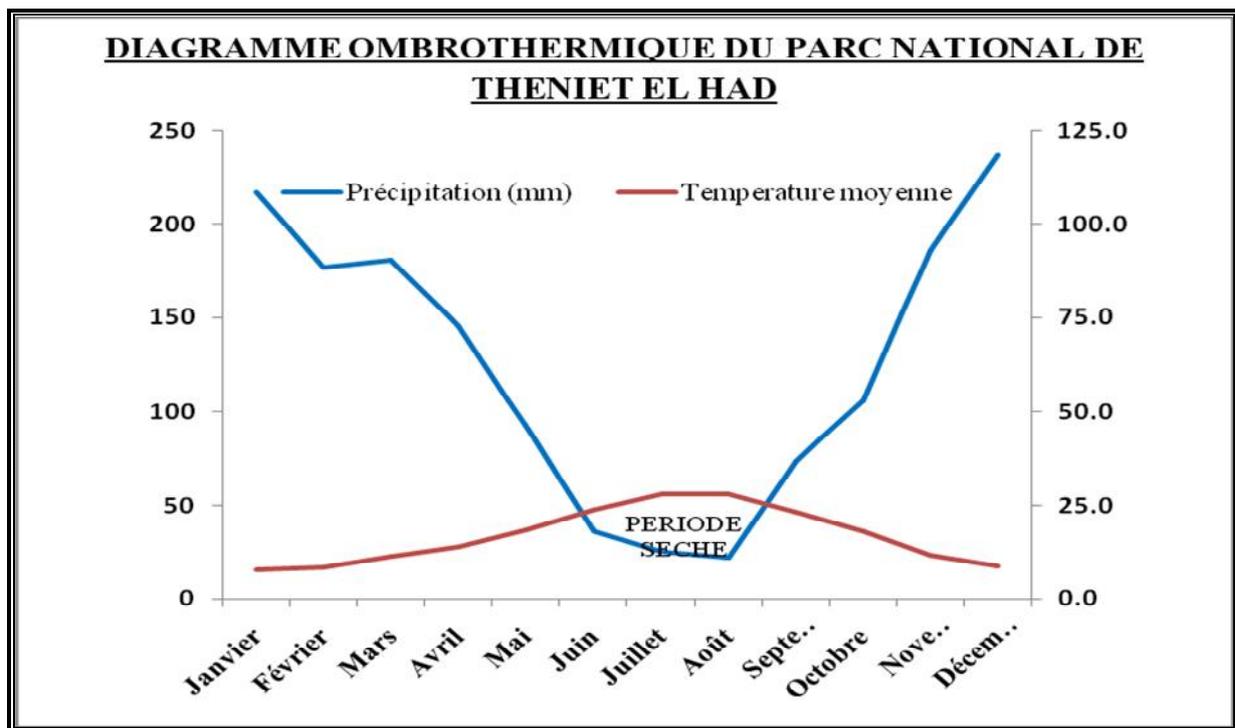


Figure 31: Diagramme ombrothermique du parc national de theniet el had (1988 - 2018).

II.3.6.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER (1938)

Le climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée.

Il est déterminé à partir de la formule

$$Q2 = 2000P / M2 - m, \quad (7)$$

Avec :

P: précipitation annuelle (mm) ;

M: la température maximale du mois le plus chaud en °Kelvin ;

m: la température minimale du mois le plus froid en °Kelvin.

En appliquant la formule suivante élaborée par STEWART pour l'Algérie et le Maroc, soit:

$$Q3 = 3.43 (P/M - m) \text{ (STEWART, 1968)}. \quad (8)$$

Ou:

P: Pluviométrie annuelle moyenne en mm ;

M: Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C ;

m: Moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

L'usage de cette expression aboutit aux valeurs de $Q2 = 85.50$ respectivement pour la station de Theniet El Had et la forêt étudiée.

Ces valeurs, rapportées sur le climagramme, montrent que la ville de Theniet El Had est soumise à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais.

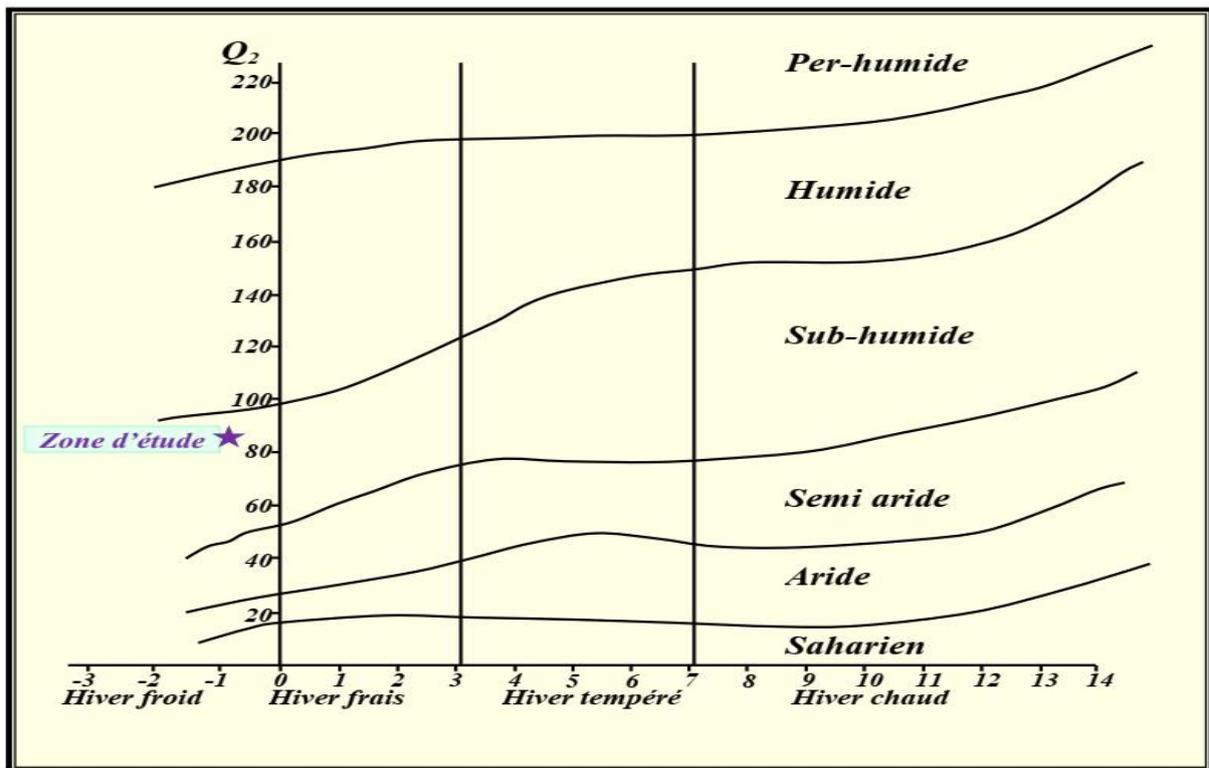


Figure 32: Climagramme d'Emberger « la zone d'étude »

II.4. Cadre biologique

II.4 .1. Flore

Les grands types végétaux déterminés et connus dans l'aire protégée sont représentés dans la (figure 32) et qui sont :

La Cédraie

Elle occupe le versant Nord, le recouvrement des peuplements est très important (70- 80%), Dans cette strate, la densité est très élevée (200 pieds /ha); c'est une cédraie pure située de hautes futaies moyennant 30 m de haut. Le nombre de pieds augmente avec l'altitude et finit par diminuer sur la plus part des crêtes en mélange avec le chêne zen (*Quercus faginea*) accompagnés avec d'autres espèces buissonnantes (*Crataegus monogyna*, *Prunus avium*, *Juniperus oxycedrus*, *Rosa canina*, *Rubus fruticosus*,...). La moyenne d'âges située entre 125 - 135 ans. Sur le versant Sud: Le recouvrement est de l'ordre de 60-70% soit 16-18 m de hauteur moyenne, avec un sous bois assez dense de *Calycotum Espinosa*, *Genista tricuspida*, *Cistus salvifolius*, etc. La superficie globale est estimée à 1000 ha.

(Les komplet, 1984).

- **La yeuse**

L'ensemble de chêne vert

Des futaies âgées caractérisent le canton dit « Rond Point ». Généralement dans les basses altitudes, une dominance des formations buissonnantes et épineuses, avec un faible degré de recouvrement, est relevée. La hauteur moyenne est de l'ordre de 08 m. Le sous bois est composé surtout de *Calycotum Espinosa*, *Scillabulbosa*, *Genistascorpius*, *Lavandula stoechas*, et des Cistes. La superficie globale est estimée à 1000 ha (**Leskomplekt, 1984**).

- **La Subéraie**

Le degré de recouvrement des arbres est en moyen de 60-70%, une hauteur moyenne de 10-12 m. Elle se représente à l'état de taillis en mélange avec quelques espèces comme *Quecusilex*, *Calycotum*, *Genistatricuspida*, *Rosa canina*, *Juniperusoxycedrus*, etc. La superficie globale est estimée à 640 ha (**Leskomplekt, 1984**).

- **La Zenaie**

On la trouve dans quelques stations peu étendues, le 1/3 est répandu en forme de futaie en exposition Nord, les 2/3 restent en exposition Sud au stade de gaulis ou perchis. Le peuplement pur de Chêne zeen est pour ainsi dire rare, soit il est en mélange avec le cèdre Surtout sur le versant Nord ou avec le Chêne liège et chêne vert sur le versant Sud pour constituer une chênaie mixte. (**Leskomplekt, 1984**).

- **La pinède**

Elle s'étend sur une superficie de 760 ha, caractérisé par de vieilles futaie, Occupant principalement les basses altitudes du versant Nord du canton Guerouaou .Cependant, à la faveur du réchauffement climatique, plusieurs poches sont entrain de se développer dans l'aire même du cèdre (Guerouaou) et des chênes (Sidi-Abdoun). (**Leskomplekt, 1984**).

➤ **Cèdre de l'Atlas** : c'est une essence qui descend beaucoup plus bas dans le versant nord, en s'associant avec le chêne vert dans la partie inférieure de son aire et au chêne zeen dans la partie supérieure de celle-ci.

➤ **Chêne zeen** : de fut assez rectiligne à tordu. Il est très répandu dans tous les cantons à l'exception du canton pépinière ou seulement quelques tiges se trouvent. Il est en mélange avec le cèdre dans les hauteurs et avec le chêne liège en basse altitude.

➤ **Chêne vert** : il se présente comme une futaie dans le versant nord et en taillis dans le versant sud. Il occupe les parties inférieures de ces deux versants.

➤ **Chêne liège** : il se présente principalement dans le versant sud ou il peuple la partie inférieure de celui-ci. Il est en mélange avec le chêne zen et le cèdre jusqu'à 1575 m d'altitude (ZEDEK, 1993).

Des espèces introduites ou autochtones rares sont aussi à signaler : pin pignon, micocoulier, prunier sauvage, érable de Montpellier, Merisier, etc. Le réservoir patrimonial du parc est estimé à 1134 espèces à fort enjeu de conservation dont :

Flore : 624taxons

Faune : 510 taxons

Dont 163 espèces à statut particulier

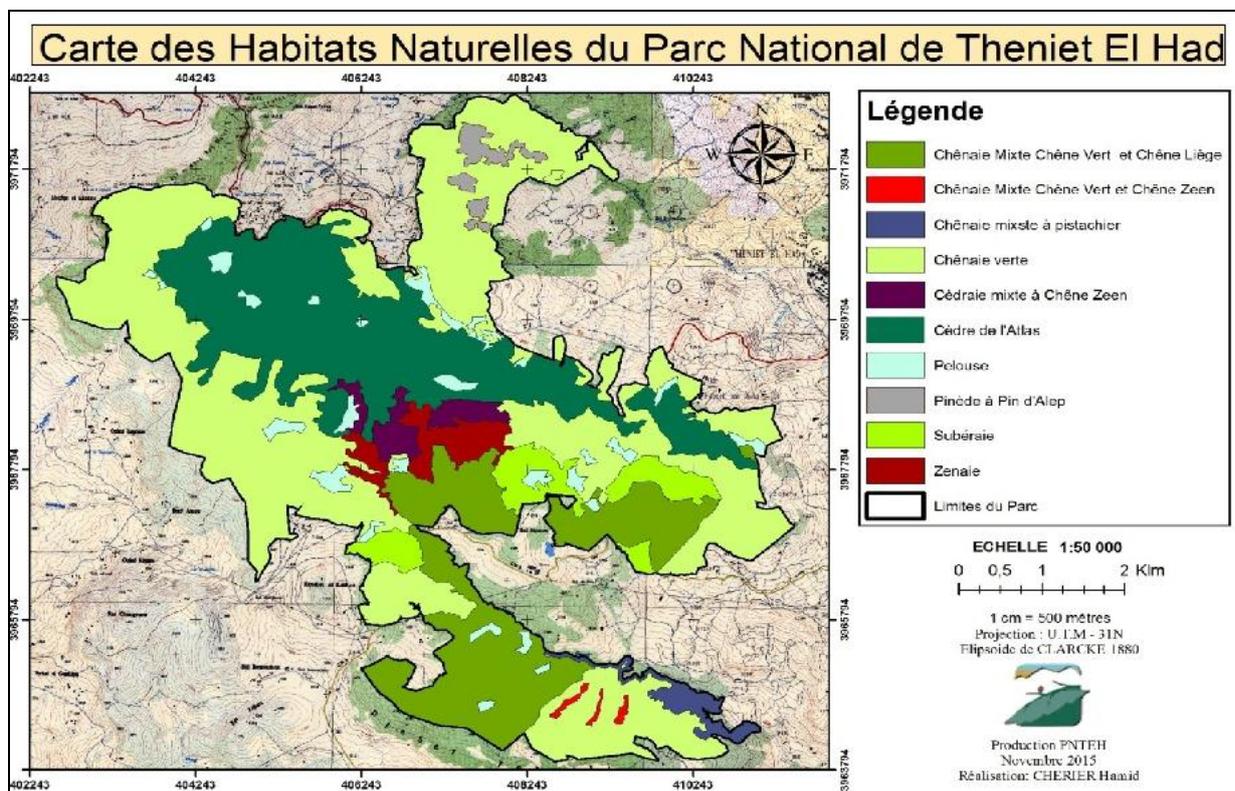


Figure 33: Carte de végétation du parc national de Theniet El Had. (PNTEH, 2019).

CHAPITRE III

Matériels et méthodes

Introduction

Notre étude consiste à faire une analyse de l'évolution spatiale et temporelle de l'indice de végétation normalisé NDVI sur des zones végétées, situées au parc national de theniet El had, en utilisant des images satellites de moyenne résolution d'une période de trente ans qui s'étale entre 1988 à 2018. Ce dernier décrit des informations spatialisées de l'activité chlorophyllienne et l'état sanitaire du couvert végétal pour chaque scène de la zone étudiée qui est dans notre cas les cantons de Kef Sachine et sidi Abdoune qui se situe au parc national de theniet El had (la forêt de djbel el meddad).

Ce chapitre comprend matériel utilisé ainsi que la méthodologie adoptée pour la réalisation des différentes cartes du NDVI. Cette analyse implique la manipulation d'une somme considérable d'informations pour décrire la végétation de la zone d'étude. Le recours aux systèmes d'information géographique (S.I.G) et à la télédétection.

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

- 1 faire des sorties de terrain pour Analyser et acquérir des données concernant le couvert végétal
- 2 Etablissement des cartes de NDVI sur la base des images satellites « Landsat » ;
- 3 la compréhension de ces changements en fonction des événements climatiques et/ou anthropiques

III.1. Outils et Matériels utilisé

Nous disposons pour ce travail des documents suivants :

III.1.1. Outils d'analyse

Comme matériel utilisé pour le développement de nos algorithmes, nous utilisons

Micro-ordinateur: de 04 Go de RAM, un processeur Intel I3 @ 2,4 GHz et un disque dur de 500 Go Avec une carte graphique Geforce Nvidia à 2 Go

Les principaux logiciels ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Il s'agit des logiciels :

ENVI 5.1 :  ENVI (Environnement For Visualing Images) fournit des outils pour la visualisation, le géoréférencement, les prétraitements, la classification et l'analyse des images satellitaires (Thomas et al, 2005.). est un logiciel faciles d'utilisation et interactifs, Ce logiciel a la particularité d'être le plus utilisé est recommandé grâce notamment au fait qu'il

supporte un grand nombre de formats de fichier, de toutes tailles. Il dispose aussi de son propre format, mais le plus important est que le résultat du travail sous ENVI facilite le travail sous d'autres logiciels de cartographie par la suite.

QGIS 2.18 :  QGIS est un logiciel SIG libre (open source). Il a été conçu en mai 2002. En juin 2002, il s'est établi en tant que projet sur Source Forge. Depuis 2007, il a été développé par référence en matière de cartographie. En effet, celui-ci permet de travailler aisément, d'effectuer diverses opérations, l'accès à des données externes de divers formats. Il propose une large panoplie de fonctionnalités permettant à l'utilisateur de visualiser, d'éditer et même de comparer des données de cartographie.

Word et Excel 2007 de Microsoft: pour la rédaction du rapport

III.1.2. Outils de prospection

- un appareil photo numérique pour les différentes prises de vue.
- un récepteur GPS (Global Positionning System) pour lever les coordonnées du point de la limite du canton de Sidi Abdoune et Kef shachine,

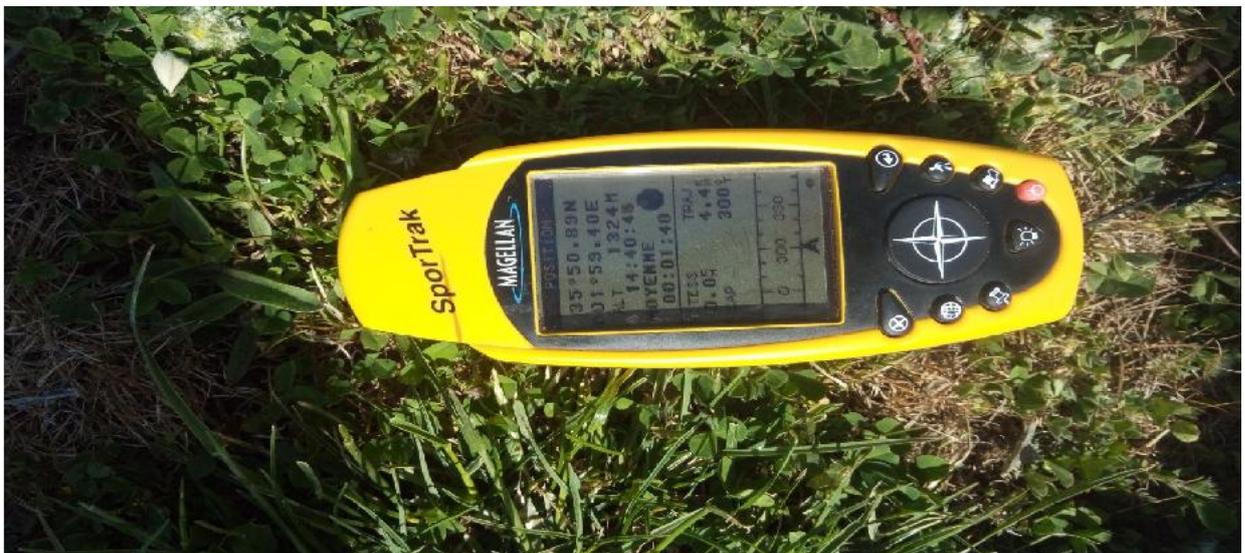


Figure 34:récepteur GPS.

III.2. Acquisition et traitement des données

Cette phase comporte les étapes suivantes : La collecte, l'analyse et la numérisation des données.

III.2.1. Collecte de données

Trois missions sur le terrain pour reconnaissance et validation des résultats , Elles avaient pour but de :

- Reconnaître et définir les différentes formations végétales et toutes les autres unités thématiques selon leurs réponses spectrales sur les compositions colorées
- Vérifier les résultats de l'interprétation visuelle des images satellitaires et apporter des précisions pour les zones difficiles à interpréter
- Noter l'impact de l'action humaine sur le milieu naturel dans les changements et dégradations observés.
- Apporter d'autres informations impossibles à extraire des images satellitaires comme la stratification des différentes formations végétales.
- Obtenir des informations sur l'historique des événements influents au cours de la période d'étude dans le parc national
- Contactez le département des forêts du parc national pour identifier les problèmes les plus importants auxquels la zone d'étude fait face
- Obtenir un permis pour le stage d'étude et documenter et l'étude dans le parc

Par conséquent, un inventaire exhaustif et structuré de données est nécessaire dans le cadre de notre étude.

L'opération d'inventaire consiste à identifier, décrire et localiser les données relatives aux zone d'étude. Elle est considérée comme étant la phase la plus importante précédant les étapes d'analyse et de numérisation des données, car on ne peut pas

III.2.1.1. Données satellitaires

Les données satellitaires sont constitués d'une image satellites LANDSAT téléchargées sur le site <http://glovis.usgs.gov/>.Ce sont:

Nous avons travaillé avec des images satellitaires différente (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI/TIRS) issues des satellites Landsat a une résolution spatiale de 30 m car cette résolution est jugée acceptable pour la méthodologie adoptée dans cette étude et disponibles et gratuits.

La saison à laquelle les images satellites prise au période du printemps (mars/avril) et saison estivale (juillet /Aout). En effet

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

Tableau 7: Les caractéristiques des images satellitaires utilisées.

Image	année	jour	mois	Doy	heures	path	Row	Capteur	Nombre de bandes
1	1988	19	3	79	09h55	196	35	landsat5 TM	7
2	1988	10	8	223	09h56	196	35	landsat5 TM	7
3	1988	26	8	239	09h56	196	35	landsat5 TM	7
4	1993	18	4	107	09h48	196	35	landsat5 TM	7
5	1993	23	7	204	09h48	196	35	landsat5 TM	7
6	1998	6	3	65	10h08	197	35	landsat5 TM	7
7	1998	22	8	234	10h04	196	35	landsat5 TM	7
8	2003	21	3	80	10h14	196	35	landsat7 ETM+	8
9	2003	4	8	216	10h02	196	35	landsat5 TM	7
10	2008	17	3	77	10h22	197	35	landsat5 TM	7
11	2008	14	6	166	10h13	196	35	landsat5 TM	7
12	2008	13	7	195	10h18	197	35	landsat5 TM	7
13	2013	9	4	99	10h33	197	35	landsat8 OLI/TIRS	11
14	2013	15	8	227	10h27	196	35	landsat8 OLI/TIRS	11
15	2018	7	4	97	10h25	196	36	landsat8 OLI/TIRS	11
16	2018	13	8	225	10h25	196	35	landsat8 OLI/TIRS	11
17	2018	28	7	209	10h25	196	35	landsat8 OLI/TIRS	11

III.2.1.2. Les données cartographiques

On a utilisé plusieurs cartes du parc national de theniet el had avec une échelle de 1/75000. (Source : Département de protection et promotion des ressources naturelles du parc national de Theniet el Had). .

- Carte de localisation
- carte des cantons.
- carte topographique
- carte des sols.
- carte de l'hydrologie
- carte des habitats naturels.

III.2.1.3. Données terrain

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

Certaines variables du milieu physique ne peuvent être mesurées que par des observations de terrain

Les variables mesurées par satellite doivent être calibrées et vérifiées sur terrain.

Dans ce contexte, plusieurs observations ont été effectuées sur le terrain pour la connaissance du milieu physique ainsi que pour le repérage des différents types d'occupation du sol de notre zone d'étude (correction géométrique des cartes à partir de points remarquables relevés au GPS) grâce à trois sorties au PNTEH (19/02/2019 ;29/04/2019 ;19/05/2019)

Tableau 8: Points choisis pour l'étude.

les points	X	Y
P1 Cèdre de l'Atlas	2,011019444	35,852
P2 Chêne Liège	2,003272222	35,84505
P3 Chêne Vert	2,007833333	35,844425
P4 sol nu	1,989352778	35,84884167



Figure 35: Différents prise de vue SIDI ABDOUNE 2019



Figure 36: Différents prise de vue à KAFE SACHINE 2

III.2.2. Analyse des données et Prétraitements

Il permet de préparer les images pour mieux analysé les résultats, qui consiste à déterminer les caractéristiques des documents à retenir, pour bien appréhender et représenter la zone d'étude.

Cela implique de passer par deux étapes de traitement qui consiste à faire des corrections radiométrique et atmosphérique des scènes. Cette étape va améliorer l'apparence des images afin de mieux interprété et analyse les résultats finals.

III.2.3. Numérisation des données

La rigidité des plans et des cartes traditionnels sur papier ou sur calque ne répond plus aux besoins d'aide à l'analyse de la dynamique de végétation et la nécessité de disposer d'informations géographiques numérisées est ressentie par un grand nombre d'utilisateurs :

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

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

III.3. Méthodologie :

Au cours de nos sorties sur terrain, nous avons suivis plusieurs itinéraires pour l'identification des espèces végétales du canton Sidi Abdoune, et Kaf sachine et leurs positions géographiques à l'aide d'un GPS. Ces itinéraires, préétablis avec les ingénieurs du Parc, basés sur leurs connaissances de la végétation du Parc

Afin de vérifier les résultats obtenus on fait des sorties sur le terrain, notamment a fin de prendre des photographies des différentes espèces de plantes présentes dans la zone d'étude, des informations communiquées par l'administration centrale du parc , ainsi que des études déjà faites sur le PNTEH menées comme références.

Les applications de télédétection ont été utilisées pour évaluer et gérer les ressources naturelles en général et la végétation en particulier, afin de préserver la durabilité de la richesse végétale, d'évaluer et d'interpréter l'état actuel de la végétation et d'identifier les changements survenus.

Dans notre étude, nous avons utilisés la méthode descriptive analytique pour extraire la couverture végétale, déterminer les modifications dans les équations arithmétiques, en utilisant des indices de végétation, puis en déduire les valeurs et leur représentation sous forme de cartes et de diagrammes illustrant l'évolution de l'activité chlorophyllienne de la période entre de 1988 à 2018 en utilisant diverses images satellites de la série Landsat et des programmes spécialisés dans ce domaine tels que (ENVI 5.1/ QGIS 2.18)

III.4. Détection des changements par calcul des indices

La connaissance et la prise en compte des différentes caractéristiques spectrales des objets permettent d'envisager des méthodes d'analyse basées sur l'emploi simultané de plusieurs canaux d'acquisition, sous forme de combinaison linéaire ou de rapports. Ces valeurs synthétisent l'intensité d'un phénomène trop complexe pour être décrit par des paramètres simples et connus (**Bannari et al, 1995**). Il existe plusieurs indices utilisés à des fins thématiques, selon leurs caractères thématiques, nous avons choisi un indice susceptible de répondre à notre objectif, leur calcul est effectué automatiquement par des fonctions disponibles dans le logiciel ENVI. La formulation des fonctions des différents indices ainsi établie, on procède progressivement à leurs introductions dans le logiciel qui fournit un résultat sous forme d'image.

III.5. Calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI)

L'indice de végétation normalisé est calculé à l'aide du logiciel ENVI 5.1 sur deux bandes spectrales d'images satellitaires selon la formule $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$:

- Pour les images de Landsat TM et ETM+, les bandes 3 et 4 sont utilisées,
- Pour les images de Landsat OLI8 TRIS on utilise les bandes 4 et 5

Notre travail est résumé dans l'organigramme suivant :

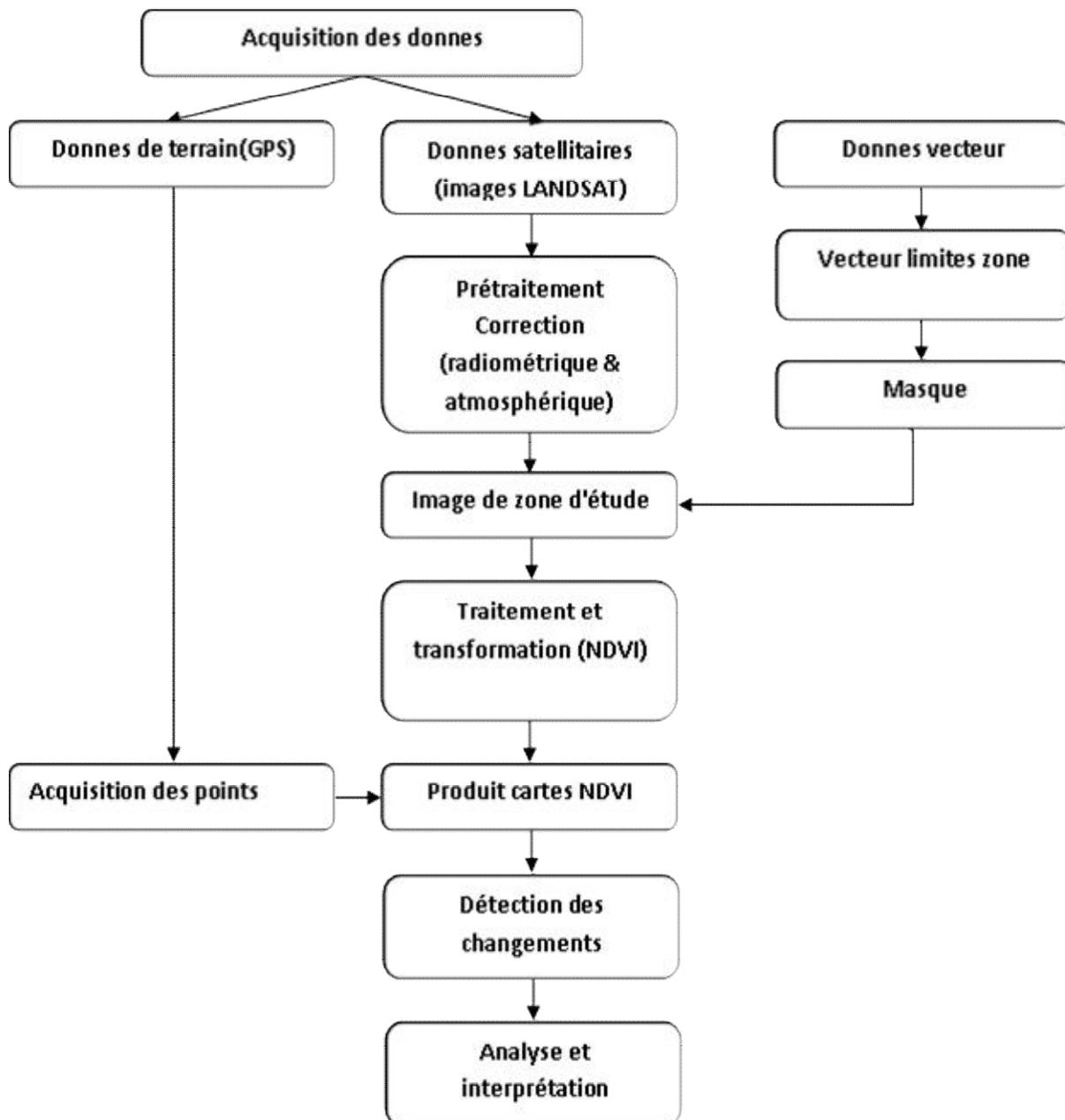


Figure 37: Organigramme de la méthodologie adoptée

CHAPITRE IV

Résultats et discussion

Introduction

Dans ce chapitre on va analyser et discuter les résultats que l'on a obtenus dans le chapitre précédent, ces résultats représentent sous forme des cartes NDVI et des valeurs du NDVI des différents points identifiés (cèdre d'atlas, chaîne verte, chaîne liège, pelouse au sol nu).

A travers cette discussion, nous chercherons à relier ces changements à leurs causes immédiates, Afin de préserver la végétation, Selon la méthodologie suivante :

- Analyse comparative des résultats interannuels.
- Analyse comparative des résultats entre-annuels

IV.1. Analyse et discussion des résultats :

IV.1.1. Analyse comparative des résultats interannuels :

IV.1.1.1. Analyse comparative des résultats interannuels de valeurs NDVI (2008)

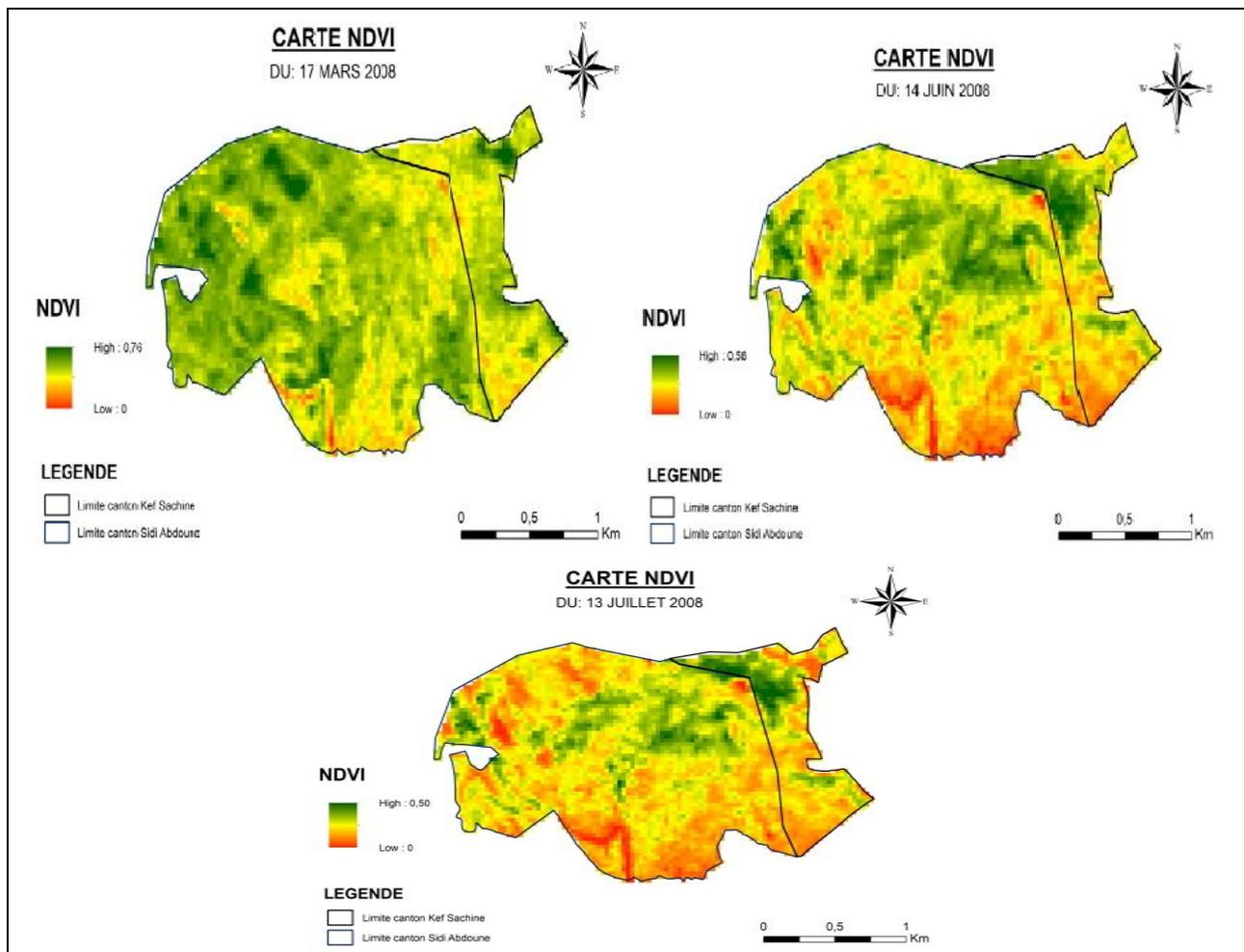


Figure 38: cartes d'NDVI 2008

Après finalisation des cartes du NDVI, nous avons remarqués un changement de la valeur de (NDVI) dans la même année :

A la première carte NDVI (17/03/2008), la valeur de (0.76) a été enregistrée, et (0.58) dans la deuxième carte NDVI (14/06/2008), Jusqu'au moment où on atteint (0.5) dans la troisième carte NDVI (13/07/2008)

Ces changements peu s'expliquent par le début de la feuillaison des arbres et l'apparition des herbes au printemps et on explique la diminution de la valeur NDVI de l'été par le dépérissement progressif de ces herbes (cycle de vie) et la faute de précipitations, Les conséquences du stress hydrique sont essentiellement une diminution de croissance ainsi qu'une réduction de l'activité photosynthétique, affectant ainsi le rendement et provoquant la mort de la plante si le stress perdure (**MAY et MILTHORPE. 1962**).

Ces résultats sont conformes avec ceux de **Lauer (2005)** qui, travaillant sur le comportement du maïs en temps sec a observé que l'application du stress hydrique pendant le développement végétatif a réduit l'expansion des tiges

IV.1.1.2. Analyse comparative des résultats interannuels des points dans la même visualisation (9/4/2013)

Après avoir extrait les valeurs du NDVI des résultats obtenus dans le chapitre précédent à partir des cartes du NDVI, nous avons identifié différents points pour suivre l'évolution de la végétation:

Selon les données de terrain on a 4 classes d'occupation de sol qui sont :

- Cèdre d'atlas
- Chêne vert
- Chêne liège
- Pelouse (Sol nu)

L'image représente les points sélectionnés et inclus dans les images satellites à partir de leur suivi chronologique.

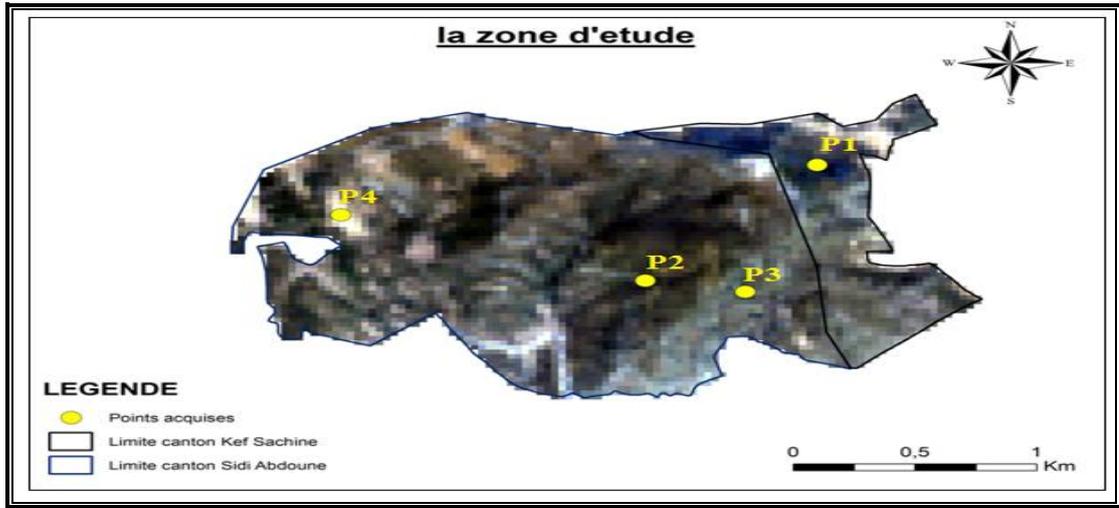


Figure 39: les différents points suivis.

Dans cette section, La figure 4 montre la variabilité interannuelle de la même visualisation (9/4/2013) de cet indice pour Cèdre d’atlas (les résineux) et la Pelouse, le Chêne liège et le Chêne Vert (les feuillus) de PNTEH.

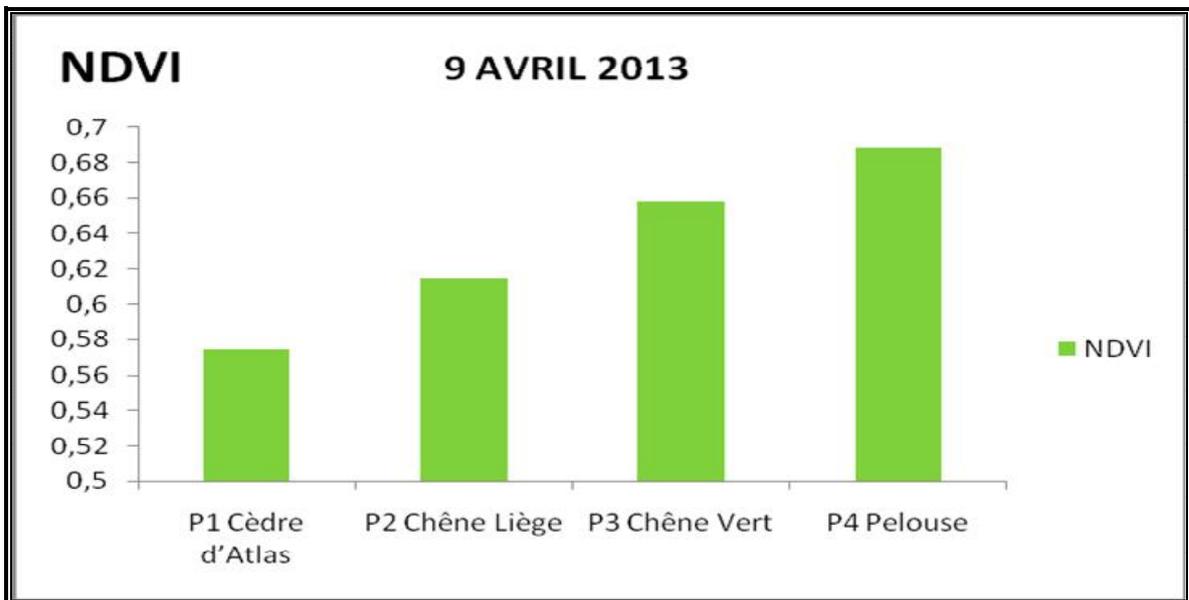


Figure 40: histogramme d’NDVI maximale de différentes classes

D’après l’histogramme présidant on remarque que la valeur NDVI se varie de point à l’outre

Au :

La valeur du Cèdre d’atlas (0.57) est la plus bas suivie par le Chêne liège (0.62) puis le *Chêne Vert avec (0.66) et la plus haute valeur est pelouse (0.69).

Quelque soit l'année analysée, l'NDVI de ces feuillus est plus important varie de 0.62 à 0.69. Cependant, les valeurs de cet indice chez les résineux est de moins important, elles fluctuent entre 0.22 et 0.43.

Ceci peut être s'expliqué par le feuillage et particulièrement la forme et la structure interne des feuilles.

Les feuillus possèdent des feuilles plates et larges, à parenchyme palissadique lacuneux développé, Ce qui permet une réflectance dans le proche infrarouge plus importante que celle des conifères dont la forme des feuilles est réduite à des aiguilles courtes à parenchyme palissadique développé.(Laala Ahmed,et al, 2016)

IV.1.1.3. Analyse comparative des résultats interannuels des points dans la même année.

Les variations d'NDVI de différents classes est motionner dans le tableau et le graphe ci dessus

Tableau 9 : L' NDVI des différents points (classes) au 2008.

CLASSE	17/03/2008	14/06/2008	13/07/2008
Cèdre de l'Atlas	0,484535	0,517419	0,437408
Chêne Liège	0,534367	0,412562	0,33768
Chêne Vert	0,556706	0,390796	0,299062
Sol Nu	0,694189	0,254284	0,152872

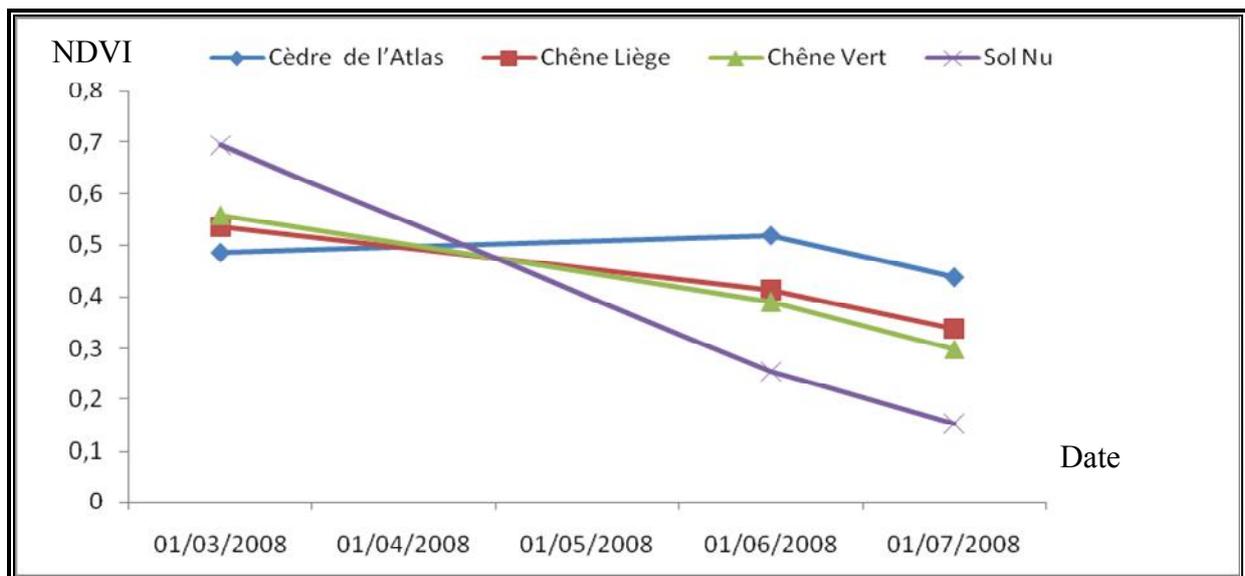


Figure 41: Evolution NDVI des différents points au 2008.

Après la lecture des ces figures on a :

P1. Cèdre d'atlas:

- On note la valeur (**0.48**) enregistrée dans la première visuelle (17/03/2008),

Nous expliquons cette baisse de valeur au printemps en raison de l'accumulation de neige dans les cèdres d'Atlas en raison des caractéristiques morphologiques et biologiques de ce type d'arbre (hauteur, pente, exposition et l'altitude)

- On Note la valeur élevée d'NDVI à (0.51) dans la deuxième visuelle (14/06/2008)

Cela s'explique par la fonte des neiges accumulées sur les cèdres d'Atlas

- On note ensuite la baisse de valeur d'NDVI jusqu'à (0.43) dans la troisième visuelle (13/07/2008)

Ceci s'explique par la diminution de l'activité chlorophyllienne au manque de précipitations en été

P 2. Chêne Liège :

- La valeur de (0,53) a été enregistrée pour la première visuelle (17/03/2008)

Ensuite, la valeur de (NDVI) a diminué à (0,41) dans la deuxième visuelle (16/06/2008),

Tout en continuant à diminuer jusqu'à la valeur (0,33) dans la troisième visuelle (13/07/2008).

P3. Chêne Vert :

- La valeur (0,55) a été enregistrée pour la première visuelle (17/03/2008), puis a diminué dans la deuxième visuelle (16/06/2008) à la valeur de (0.39) et a continué à diminuer jusqu'à (0.29) dans la troisième visuelle (13/07/2008)
- Cette baisse de l'indice NDVI explique la baisse de l'activité chlorophyllienne due au manque de précipitations en été

P4. Pelouse :

- Une valeur de (NDVI) a été estimée (0.69) au premier visuelle (13/03/2008).

Ceci est dû à la croissance des herbes de printemps dans ce chapitre

- Dans la deuxième visuelle (14/06/2008), nous avons observé une diminution de (0.25), où il a continué à diminuer jusqu'à la valeur de (0.15) dans la troisième visuelle (13/07/2008)

Nous expliquons cette diminution de la valeur de (NDVI) la transition du sol riche en herbe au sol stérile, c'est-à-dire la disparition de la végétation au niveau à cause du manque de pluie en été.

En fin on conclure que le régime saisonnier de précipitation et la température ont une influence important sur l'activité chlorophyllienne qui a une proportion direct avec NDVI. Le stress hydrique et thermique se produisent souvent simultanément, limitant la croissance et la production végétale (Araus et *al.*,2002) et réduisent les taux de prise de CO₂ (Yordanov et

al.,1997). Elle peut être due également à une réduction de la taille de la cellule due des changements anatomiques (**Chartzoulakisa et al, 2002**). Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer (**INRA, 2006**). **Lebon (2006)** a montré que la diminution de la surface foliaire sous le régime hydrique limitant est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire lorsque les conditions hydriques deviennent défavorables.

IV.1.2. Analyse comparative des résultats entre-annuels (1988/2018).

Dans cette partie on divise l'analyse en deux étapes :

IV.1.2.1. Analyse comparative de cartes entre-annuelles (1988/2018).

A 1988 :

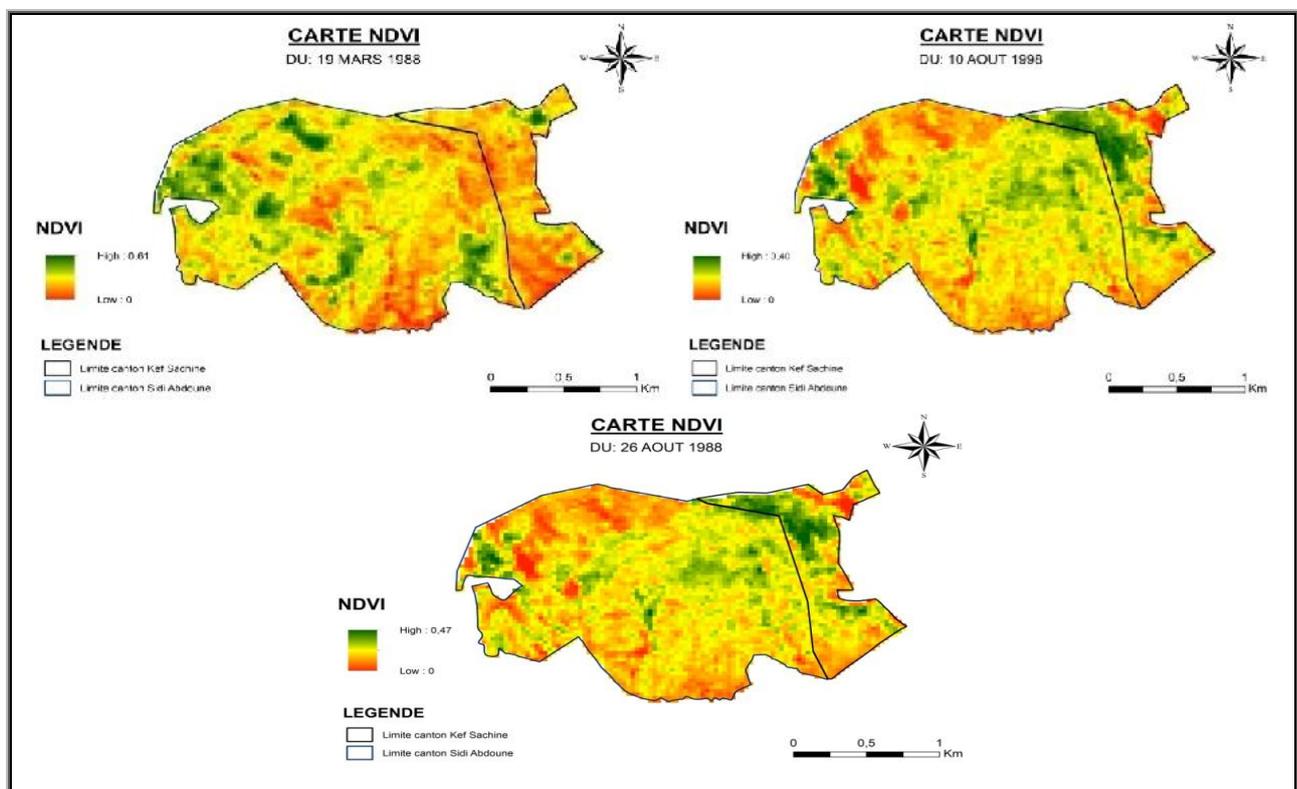


Figure 42:cartes d'NDVI 1988

aux cartes, nous notons que la valeur la plus élevée enregistrée en 1988 a été estimée à 0.61, tandis que la valeur la plus basse était 0.40

On prend cette année comme référence pour notre étude et on dit que la variation de la valeur d'NDVI entre les trois cartes du a le régime saisonnier de précipitation.

A 1993 :

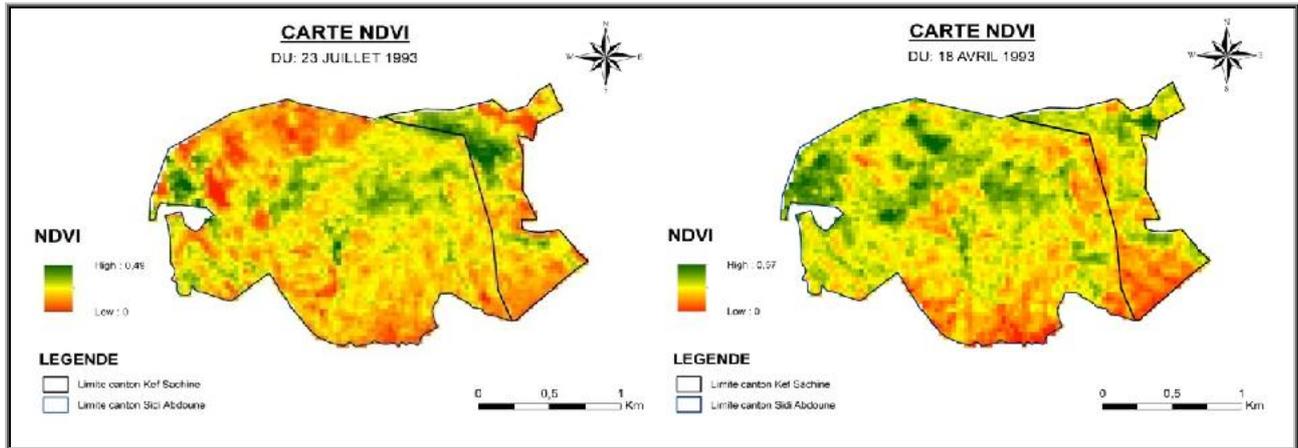


Figure 43: cartes d'NDVI 1993

D'après les cartes on note la valeur NDVI maximale est de 0.57, et la valeur minimale est 0.49

L'interprétation de régression de la valeur maximale d'NDVI est à l'existence de la neige qui affecte la valeur de réflexion, et concernons l'augmentation de la valeur minimale ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations durant cette sou période.

A 1998 :

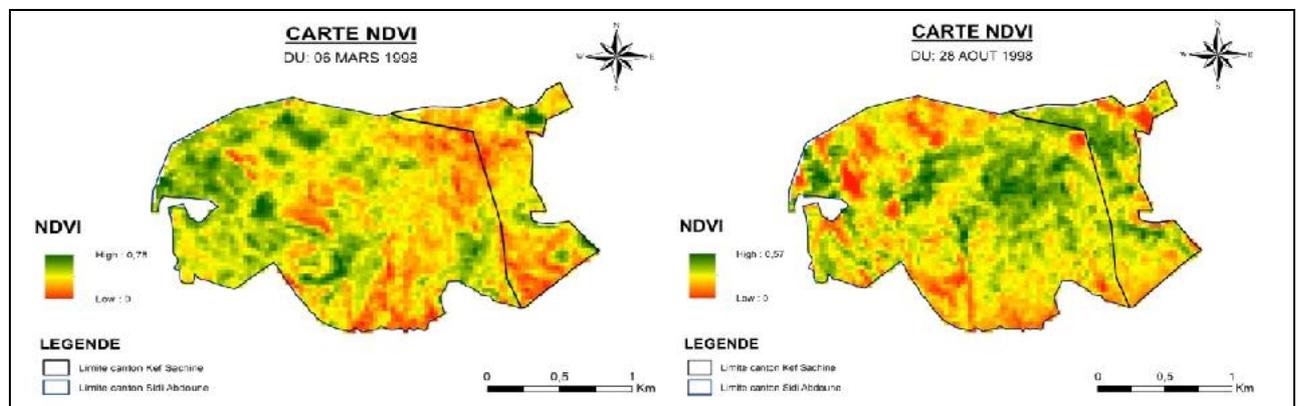


Figure 44: cartes d'NDVI 1998

Il y a une augmentation important dans les valeurs maximales et minimales d'NDVI

Cette augmentation ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations durant ce sou période.

A 2003 :

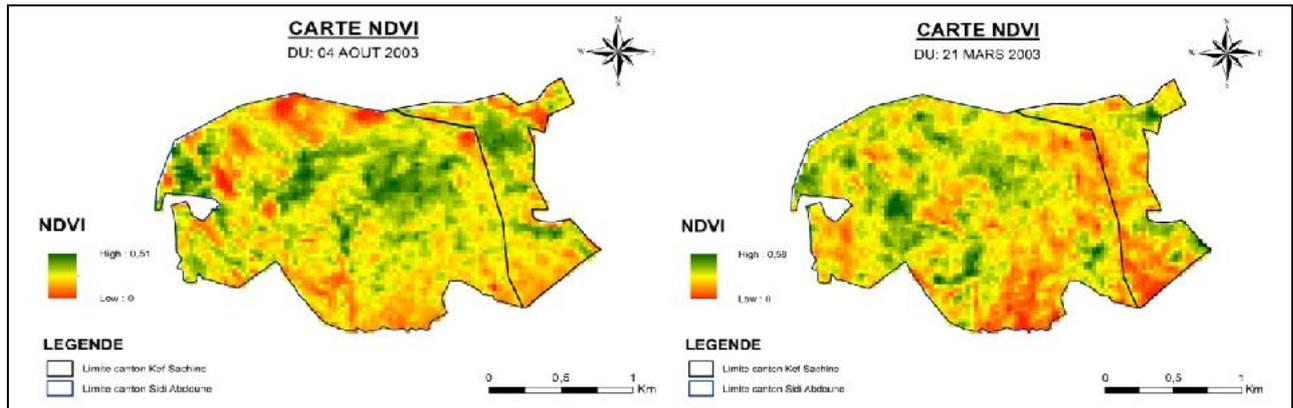


Figure 45: cartes d'NDVI 2003

On remarque une baisse des valeurs maximale et minimales d'NDVI.

Cette régression due au manque de précipitation pendant ce sou période.

A 2008 :

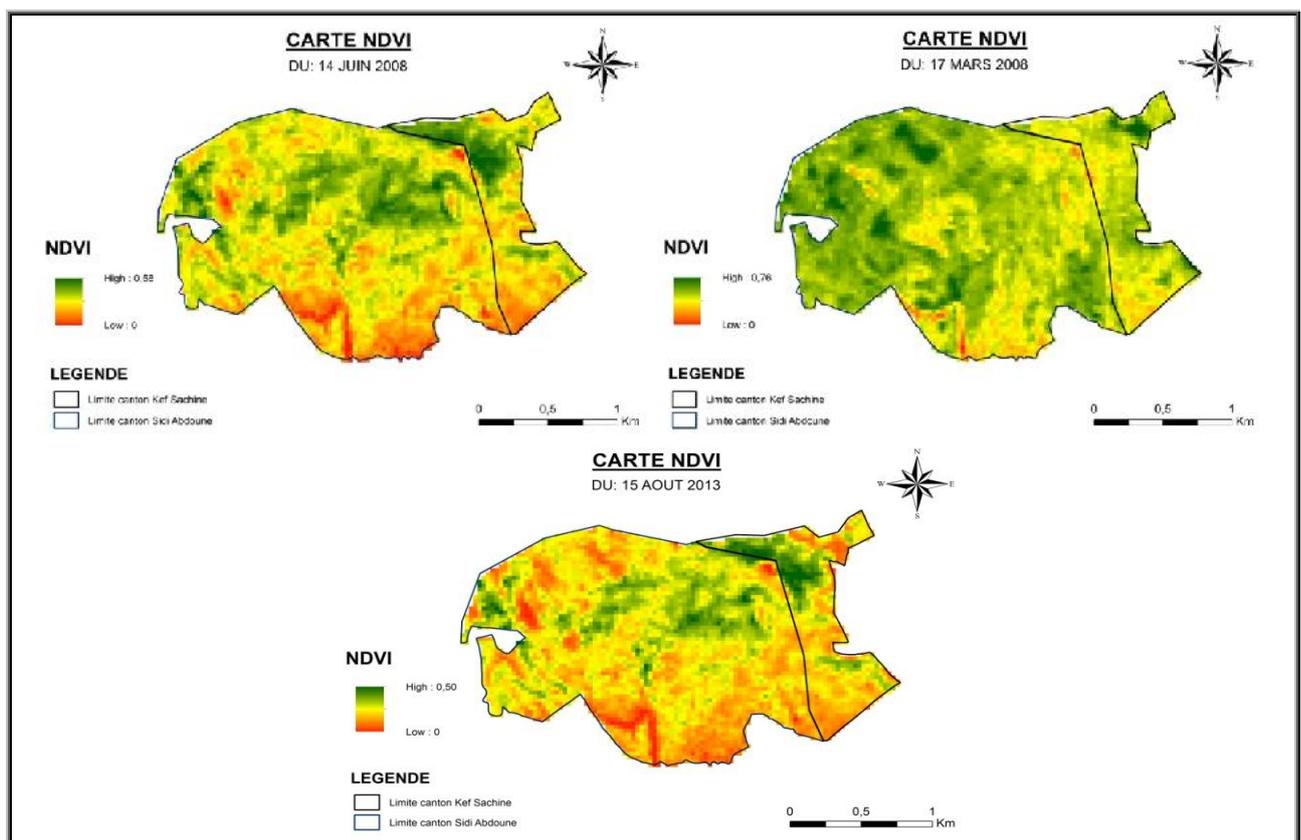


Figure 46 : cartes d'NDVI 2013

On remarque une augmentation des valeurs maximale et minimales d'NDVI.

Cette augmentation ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations durant ce sou période.

A 2013 :

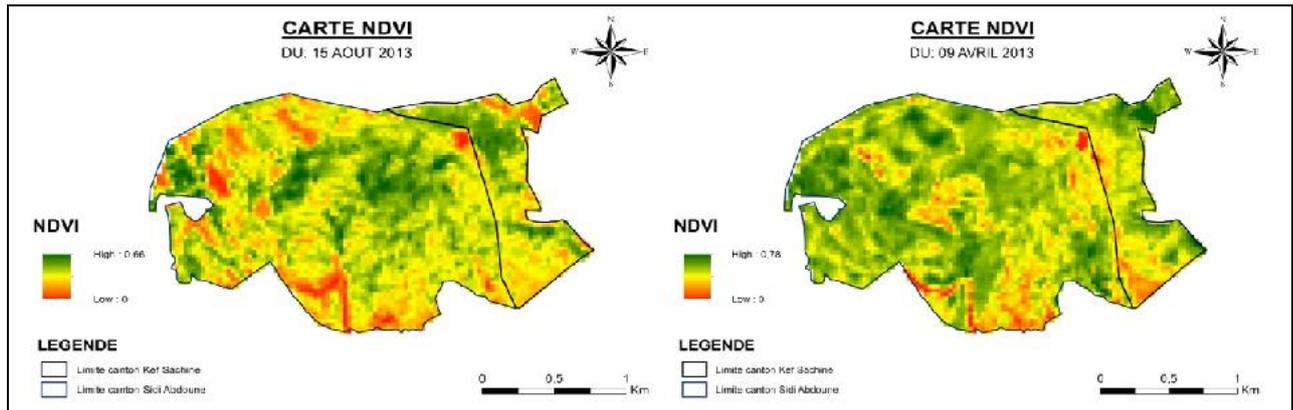


Figure 47: cartes d'NDVI 2013

Au cours de cette année nous continuerons à grandir dans les valeurs d'NDVI, ou on a registre la valeur maximale 0.78 et une valeur minimal de 0.66.

Cette grandir due aux les conditions climatiques qui caractérise le sou période présidente.

A 2018 :

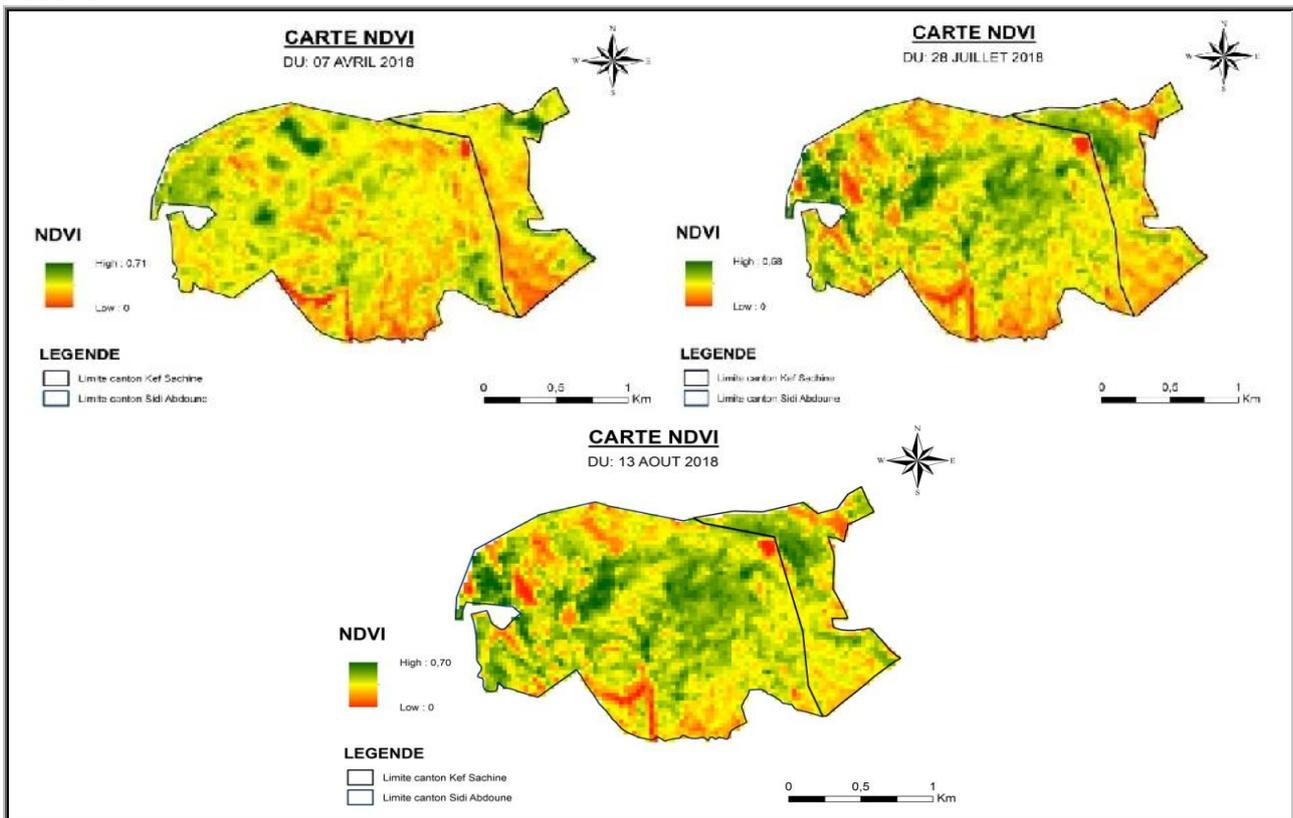


Figure 48: cartes d'NDVI 2018

Cette année a vu une léger diminution de la valeur maximale et minimale d'NDVI par rapport l'année 2013

Ceci explique que la remise remarquable de la quantité de pluie, et l'augmentation de la température (stress thermique et stress hydrique). La croissance de la plante est réduite à cause de la réduction de la photosynthèse provoquée par le stress hydrique. Le déficit hydrique induit aussi un déficit de la nutrition minérale (azotée et phosphatée) qui est dû principalement à des réductions de flux d'éléments vers les racines ce qui a pour conséquence une réduction de la croissance des plants (Gahoonia et al, 1994 ; Dugo, 2002).

Comme un résumé de tous les résultats précédents on a le graphe suivant :

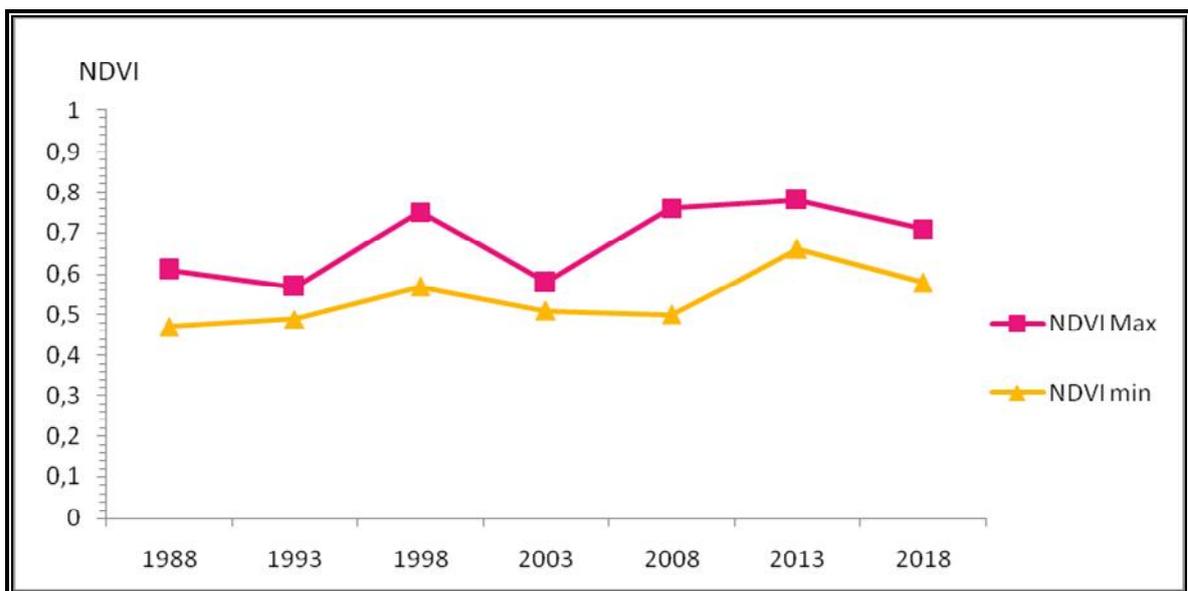


Figure 49: Evolution des valeurs d'NDVI (1988/2018)

IV.1.2.2. Analyse comparative des résultats enter-annuels des points étudiés du 1988 à 2018 :

Dans cette partie d'analyse on divise la discussions en deux section :

- A. Analyse comparative des valeurs maximales d'NDVI
- B. Analyse comparative des valeurs minimale d'NDVI

IV.1.2.2.A. Analyse comparative des valeurs maximales d'NDVI interannuels des points étudiés

Selon les résultats obtenus nous avons remarqué:

P1 Cèdre d'Atlas:

- De 1988 à 1998, nous avons constaté une nette augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations durant cette période.

- De 1998 à 2003, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)

Due à la diminution des précipitations pendant la période président

- De 2003 à 2013, nous notons une augmentation dans la valeur de (NDVI)

Ceci explique la hausse du niveau des précipitations cette période au niveau de la zone d'étude

- De 2013 à 2018, nous notons un retour dans la valeur de (NDVI)

Due à la diminution des précipitations pendant cette période.

2- Chêne Liège :

- De 1988 à 1998, nous avons constaté une nette augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations pendant les années précédentes et durant cette période.

- De 1998 à 2003, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)

Due à la diminution des précipitations pendant la période président

- De 2003 à 2013, nous notons une augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci explique la hausse du niveau des précipitations cette période au niveau de la zone d'étude

- De 2013 à 2018, nous notons un retour dans la valeur de (NDVI)

Due à la diminution des précipitations pendant cette période.

P3 chaine verts

- De 1988 à 1998, nous avons constaté une nette augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations pendant les années précédentes et durant cette période.

- à 2003, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)
Ceci s'explique par la neige dans la journée d'acquisition.
- De 2003 à 2013, nous notons une augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci explique la hausse du niveau des précipitations cette période au niveau de la zone d'étude

- De 2013 à 2018, nous notons un retour dans la valeur de (NDVI)

Due à la diminution des précipitations pendant cette période.

P4 pelouse

On marque :

- De 1988 à 1993, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)
Cette diminution due a la faible précipitation annuelle du 1993.
- De 1993 à 1998, nous notons une augmentation de la valeur de (NDVI)
Juger par la forte précipitation annuelle du 1998 par rapport 1993.
- De 1998 à 2003, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)
Ceci s'explique par la neige dans la journée d'acquisition.
- De 2003 à 2008, nous notons une augmentation de la valeur de (NDVI)
Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations pendant les années durant cette période.
- De 2008 à 2018, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI),
Ceci s'explique par la neige dans la journée d'acquisition, malgré la quantité important dans cette année.

Un déficit en eau favorise la fermeture de stomates. En conséquence, la température des feuilles exposées directement au soleil peut être égal ou plus haute que la température de l'air et ceci a pour conséquence, une perturbation biochimique et biophysique dans les mésophylles, qui peut être réversible ou pas. Il est plus ou moins clair que la tolérance thermique de l'appareil photosynthétique à quelques espèces soit influencée par d'autres facteurs de stress comme la lumière (Sivastava et Strasser, 1996; Havaux, 1996),

Le graphe ci-dessous mentionne évolution de la valeur Max d'NDVI des points étudiés (1988-2018).

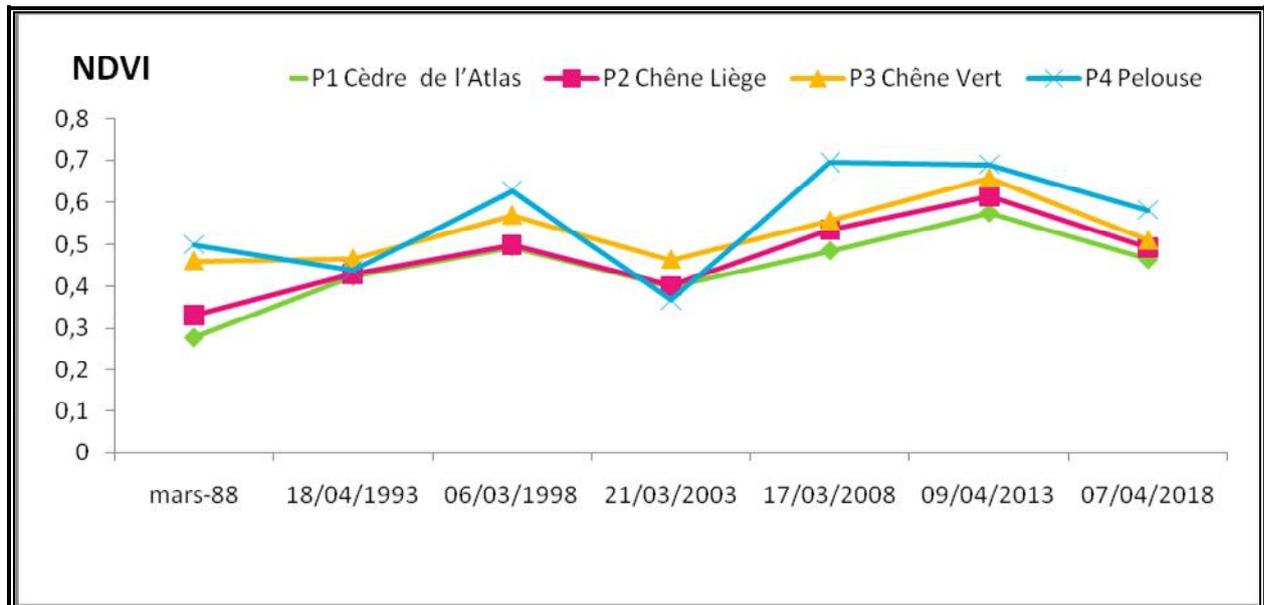


Figure 50: Evolution de la valeur Max d'NDVI des points étudiés (1988-2018)

IV.1.2.2. B. Analyse comparative des valeurs minimales d'NDVI interannuels des points étudiés

Nous avons suivi les changements de la valeur des observations estivales pour éviter et les effets saisonniers (neige, croissance saisonnière des herbes, régime saisonnière de précipitation)

Où nous avons remarqué:

P1 Cèdre d'Atlas:

- De 1988 à 1998, nous avons constaté une nette augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations durant cette période.

- De 1998 à 2008, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)

Due la diminution des précipitations pendant cette période

- De 2008 à 2018, nous notons un retour dans la valeur de (NDVI)

Ceci explique la hausse du niveau des précipitations ces dernières années au niveau de la zone d'étude

2- Chêne Liège :

- de 1988 à 1998, nous avons constaté une nette augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations pendant les années précédentes et durant cette période.

- De 1998 à 2008, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI).

Due la diminution des précipitations pendant cette période

- De 2008 à 2018, nous notons une augmentation de la valeur de (NDVI)

P3 chaine verts

- de 1988 à 1998, nous avons constaté une nette augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations pendant les années précédentes et durant cette période.

- De 1998 à 2008, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)

Due la diminution des précipitations pendant cette période

- De 2008 à 2013, nous notons une augmentation de la valeur de (NDVI)

Ceci s'explique par les quantités importantes de précipitations pendant les années précédentes et durant cette période.

- De 2013 à 2018, nous avons constaté une diminution de la valeur de (NDVI)

Due la diminution des précipitations pendant cette période

P4 pelouse

- On marque une stabilité en valeur de (NDVI) dans la période de 1988-2008

Par ce qu'elle représente un sol nu.

- De 2008 à 2018, nous notons une faible augmentation de la valeur de (NDVI).

Comme un résumé on dit que les conditions abiotiques tell que la précipitation et la température ont un influence important sur la couverture végétale et sa pue expliqué les résultats présidentes.

Le développement végétatif d'une plante cultivée sous conditions hydriques limitant est fortement perturbé (**Chaveset al, 2002; Lebon et al, 2006**). On note principalement une diminution importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles voire de la surface foliaire (**INRA, 2006 ; Lebon et al, 2006;Attia, 2007**).

Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer; et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules, (**Kramer et Boyer, 1995 ; Bouchabke et al, 2006 ; INRA, 2006**). La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

Le graphe ci-dessous résumé cette analyse :

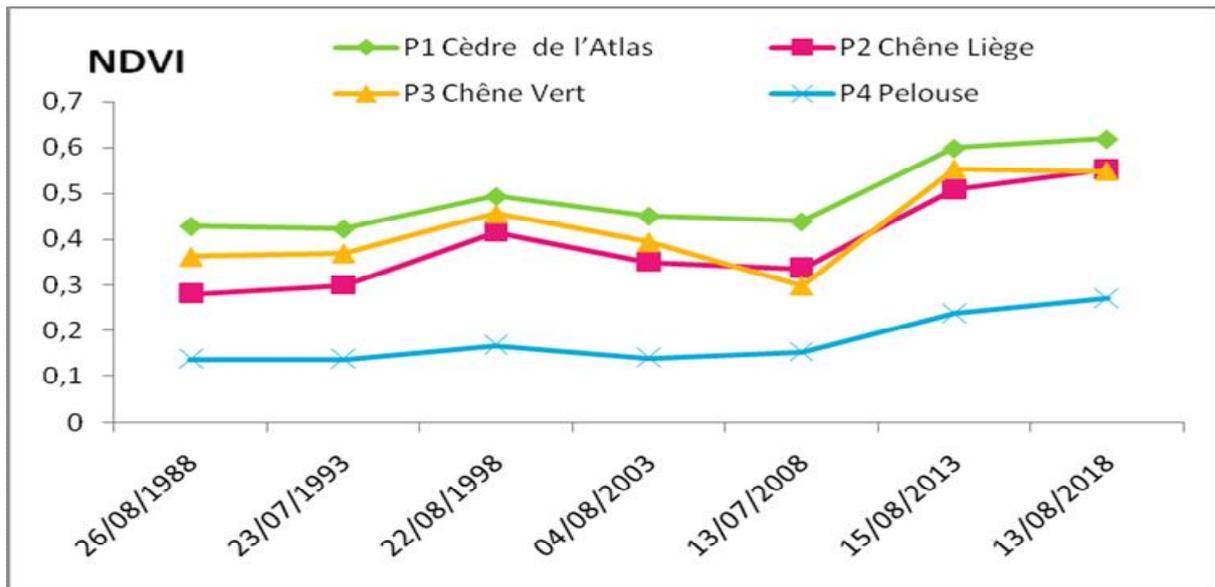


Figure 51: Evolution de la valeur min d'NDVI des points étudiés (1988-2018)

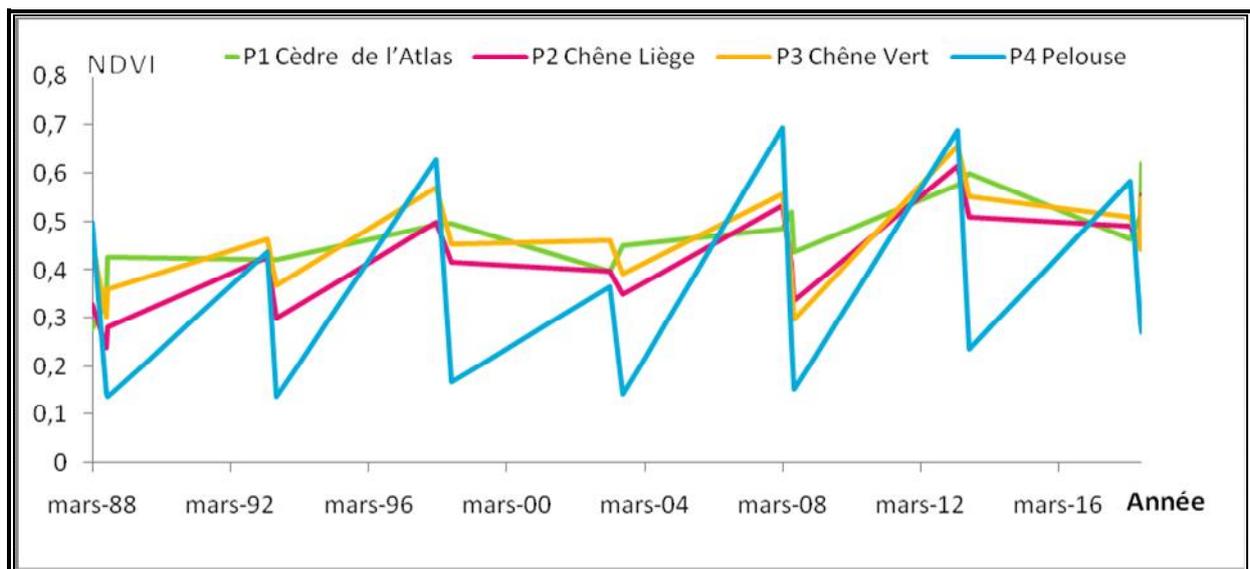


Figure 52: Variation interannuelle de l'indice NDVI des points étudiés

- Nous constatons une augmentation de la valeur de l'indice pour tous les points étudiés entre 1988 et 1998
- Suivie par une chute à 2003 pour atteindre la valeur la plus basse enregistrée
- Et puis a commencé à augmenter progressivement jusqu'à atteindre sa valeur en 2013

Ce changement est dû au taux de précipitations tombant au cours de chacune des sou-périodes précédentes

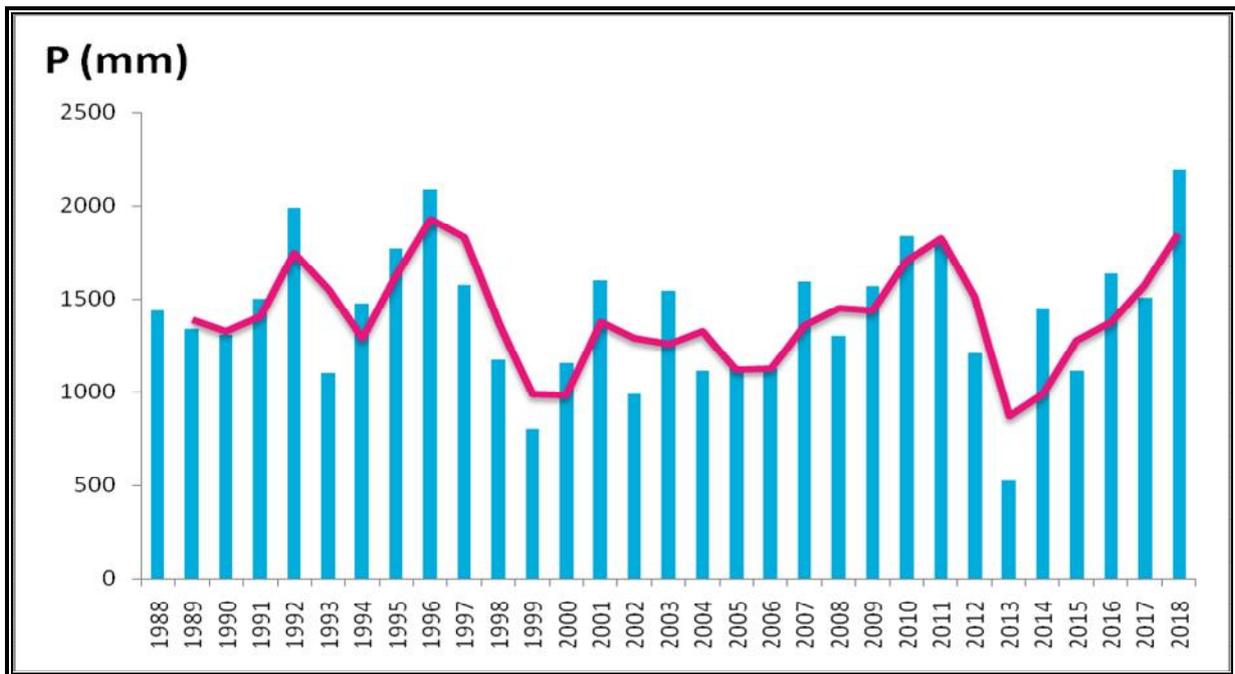


Figure 53: précipitation annuelle (1988-2018).

Conclusion Générale

Conclusion :

A la fin de ce travail, les images de télédétection constituent un outil très efficace pour la collecte, le traitement d'informations et l'établissement des cartes du NDVI en vue de les utilisés dans le suivi et l'analyse de l'état du couvert végétal, dans l'étude que nous avons fait, on a utilisé des images issus de Landsat pour une période de trente ans entre 1988 à 2018 dans le Parc National de Theniet el Had, les Cantons choisies sont Kef Sachine et Sidi Abdoun.

Cette étude a montré que la végétation dans la Parc National de Theniet el Had change constamment en fonction des changements climatique.

Le développement végétatif d'une plante cultivée sous conditions hydriques limitant est fortement perturbé (**Chaveset al, 2002; Lebon et al, 2006**).

On note principalement une diminution importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles voire de la surface foliaire (**INRA, 2006 ; Lebon et al, 2006; Attia, 2007**).

Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer; et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules, (**Kramer et Boyer, 1995 ; Bouchabke et al, 2006 ; INRA, 2006**). La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (**Oukarroum, 2007**).

Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au delà, elle s'annule (**Hopkins, 2007**).

Références Bibliographique

1. **A. AMIAR, 2013**, Télédétection dans le domaine de l'infrarouge (Application dans la détection des poussières par les méthodes satellitaires), Université KasdiMerbah, Ouargla, Algérie.
2. **ABDALHAMID D, 1999**. Etude bioécologique de l'entomofaune du cèdre de l'atlas *Cedrus atlantica* (1844) dans la cédraie de Theniet el Had Algérie. Thèse IngINA Alger. 106p.
3. **AMOUR Z., 2008** - Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol en zone aride (Cas du Sud du Hodna).
4. **Araus J.L, G.A., Slafer, M.P., Reynolds, C., Royo. 2002**. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* 89, 925–940
5. **BAGNOULS, F et GAUSSIN, H. 1953** - saison sèche et indice xérothermique *Fac. Sci.Doc* ; pour la carte des productions végétales, Toulouse, Vol. I, art 8, 47p.
6. **Bannari A, Morin D, Huete A.R. et Bonn F., 1995**. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, n°13, 95-120.
7. **BARET, F. & GUYOT, G., 1991**. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35:161–173 canton pépinière. Mémoire de Master. UDBKM. pp, 20-30+Annexes.
8. **BELKAID B, 1988** - Etude phyto écologie et possibilité d'amélioration dans la cédraie du parc national de Theniet el Had. Thèse Ing, ITA, Mostaganem, 46p.
9. **BelSPO, 2018** Belgian Federal Science Policy Office,(2018).
10. **BENKAHLA NAIMA, 2011**, Identification de la végétation terrestre par radiomètre MSG-SEVIRI et suivi de son évolution temporelle, Université des sciences et de la technologie USTOMB, Oran, Algérie.
11. **Bulgarie, Sofia, 1984-1000** 67, reu VL poptamot p12.
12. Bulletin de l'Information Géographique Appliquée aux Activités de Recherche Développement. BIG n 3 - Initiation à la Télédétection, 2008.
13. **CHABIRA C., 2007**- Apport de l'outil SIG télédétection pour la détection de l'estention urbaine (wilaya de Djelfa). Mém. Ing. Centre universitaire de Djelfa, pp 18-33.
14. **CHAI R et KERROUR F, 2015**, contribution à l'étude de la diversité floristique au DESHAYES M. et MAUREL P., 1990. L'image spatiale et son contenu. *Options méditerranéennes. Série A*, n° 4, pp.11-20.
15. **CHAI R et KERROUR F, 2015**, contribution à l'étude de la diversité floristique au niveau de Parc National Theniet El Had « Partie Nord-Ouest du canton Pépinière » de canton pépinière. Mémoire de Master. UDBKM. pp, 20-30+Annexes.
16. **De Bonneval G., 1930**. L'Algérie touristique. Comité national métropolitain du Centenaire de l'Algérie. 62p. doi: 10.19044/esj.2016.v12 n20 p195 Early Type Galaxy Formation as a Function of Environment. *The Astrophysical Journal* forestières : Cas du cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Theniet El Had
17. **DESHAYES M. et MAUREL P., 1990**. L'image spatiale et son contenu. *Options méditerranéennes. Série A*, n° 4, pp.11-20.
18. **Dip M & Zaiz A, 2011** - Apport du SIG dans l'étude de la productivité des espèces
19. **GAUSSEN, H. (1955)** - Détermination des climats par la méthode des courbes ombrothermiques. *C.R. Sc. Nat.*, 240: 642-644.0

20. **GEOSYS Growing 2017** Comprendre et évaluer la télédétection par satellite en agriculture 2017, p 6.
21. **Ghardaoui sara, Benhabibwahfa, 2008**. Classification des Images par les Séparateurs à Vaste Marge Un-Contre-Tous mémoire de projet de fin d'étude. Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Oran, 2008
22. **GIRARD C.M. 1999**. Traitement des données de télédétection. DUNOD Ed. Paris, pages 41 à 44.
23. **GOLAY F., 2007** - Télédétection et images numérique. Cours., Laboratoire de systèmes d'information Géographique (SIG), p 12.
24. **GUEYE Ismaila, 2013**, Application de la Télédétection aérospatiale pour l'évaluation de la dégradation des ressources naturelles : cas des sols de la région de Kaolack située dans le Bassin arachidier du Sénégal, p42-46.
25. **Guittoun Y, 2004** - Contribution à l'étude de la productivité du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en fonction des caractéristiques stationnelles dans le parc national Theniet el had Thèse. Ing. Tiaret. 93 p
26. **HADJI, O. (1998)** - Contribution à l'étude éco physiologique du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*.M) au parc national de Theniet EL Had (wilaya de Tissemsilt). Thèse magistère. INA. Alger. 146p
27. **Havaux, M., F., Tardy. 1996**. Temperature-dependent adjustment of the thermal stability of photosystem II *in vivo*: possible involvement of xanthophyllcycle pigments. *Planta*. 198, 324-333
28. **Herbert J. Kramer, 2002** - Observation of the earth and its environment: survey of missions and sensors 2002.
29. **HIERNAUX, P. & JUSTICE, C. O., 1986**. Suivi du développement végétal au cours de l'été 1984 dans le Sahel.
30. **Kouider Tadjerouni, 2002**. polycop (petites échelle) centre National des Techniques Spatiales (ARZEW-ORAN) 2002.
31. **Kouider Tadjerouni, 2015**. polycop (petites échelle) centre National des Techniques
32. La France métropolitaine en haute résolution grâce à Spot 6, Futura Sciences, 2015.
33. **Laala Ahmed, et al, 2016** Apport Des Images Satellites MODIS Dans L'étude De L'évolution De La Végétation Forestière De l'Est Algerian
34. **Lauer J, 2005**. Que se passe-t-il dans le plant de maïs par temps sec? University of Wisconsin in Madison, 4 p.
35. **Lebon E, 2006**. Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert, l'élaboration du rendement et la qualité. INERA Sup Agro, UMR, Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux, 4 p.
36. **Les komplet, 1984** - Etudes et projets pour la mise en valeur des terres, aménagement des forêts et des parcs nationaux dans le massif "Ouarsenis". LESCOMPLEKT, Vol.20, Bulgarie, 120p.
37. **Lhomme S., 2013**. Introduction à la géomatique (Complément de cours). 90p.
38. **LIREC, 2015**. IMAGES DU MONDE Images de crises N°48 SEPTEMBRE 2015, p21.
39. **M Sandeli, 2014**, traitement d'images par des approches bio-inspirées application à la segmentation d'images, université constantine 2. 2014.

40. **M. Robin ,1995.** La télédétection. Des satellites aux systèmes d'information géographiques. Université Nathan, 18, 29, 30, 42, 1995.
41. **MAIRIF M, 2013** - La typologie de la cédraie du Parc National de Théniet El Had : Un outil de description au service des gestionnaires forestiers ; mémoire de Magister en Sciences Forestières ; Option : Santé des forêts.malien. Int. J. Remote Sensing, 7:1515-1531.niveau de Parc National Theniet El Had « Partie Nord-Ouest du canton Pépinière »de References bibliographiques References websit Spastiales (ARZEW-ORAN) 2002).
42. **MAIRIF, M. 2013** - La typologie de la cédraie du Parc National de Théniet El Had, Un outil description au service des gestionnaires forestiers. Mémoire de Magistère en sciences Forestières, Université Abou BekrBelkaid Tlemcen (Algérie), 144p.
43. **Marie-Dominique Lancelot, trad. Robert J. Amral,1994.** Ressources terrestres : au quatrième SPOT, l'heure de Végétation, Revue aérospatiale, n°104, 1994.
44. **Mather, Paul M.,John Wiley & Sons. 1987,** Computer processing of remotely-sensed images.352 p.
45. **MAUREL P., 2002** - Initiation à la télédétection - UMR Cemagref / ENGREF PP 5-39.
46. **MAUREL P., 2002** - Initiation à la télédétection - UMR Cemagref / ENGREF PP 5-39.
47. **Melazem B, 1990** - Etude des facteurs limitant de la régénération naturelle du cèdre de l'AtlasCedrusatlanticaManettidans le parc national de Theniet-El-Had. Thèse, Ing, USTHB-Bab Ezzouar Alger.61 p.
48. **Melazem B., 1990.** Etude des facteurs limitant de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas CedrusatlanticaManettidans le parc national de Theniet.El.Had. Thèse, Ing, USTHB-Bab Ezzouar- Alger. 61 p.
49. **NAGGAR, M. 2010** - Etude symptomatique du dépérissement du Cèdre de l'atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans le parc national de Theniet El Had (W. Tissemsilt). Mémoire Magister. Forest. Univ. Tlemcen, 155p.
50. **NAKES M. T, 2000,** , Évaluation du gisement solaire à partie des images Météosat 7, Thèse de Magistère , Universitaire KasdiMerbah d'Ouargla, Algérie.
51. **OUNADI F, Vouyou N, Zarrouki K, 1990.** Diagnostic et aménagement Sylvo-pastoral du djebel Meddad, PNTH. Thèse Ing. UNTHB. Alger 79p
52. **PNTEH, 2019** Parc National de Theniet El-Had, 2019 - Les ressources naturelles du parc national
53. **Polidori L., 2002.** Introduction à la télédétection spatiale., Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes. Laboratoire Régional de Télédétection (Cayenne, GuyaneFrançaise). 60p
54. **Polidori L., 2002.** Introduction à la télédétection spatiale., Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes. Laboratoire Régional de Télédétection (Cayenne, GuyaneFrançaise). 60p.
55. **Robert A. Schowengerdt. 2007** « Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing », Academic Press is an imprint of Elsevier, University of
56. **ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J.A., DEERING, D. W. & HARLAN, J. C., 1974.** Monitoring thevernaladvancementandretrogradation(Greenwaveeffect) of natural vegetation», NASA/ GSFCT Type III Final Report, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 371p.

57. **Sari D., 1977.** L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). SNED. Alger. 623p.
58. **Seltzer P, 1946** - Le climat de l'Algérie. Imp. Latypo. litho, et Jules carbonel, Réunies, Alger, 220p
59. **SELTZER P, 1946.** Le climat de l'Algérie IMP. Lalyve et Jules carbone réunie Alger.
60. **Soudani.K. (2005).** introduction général à la télédétection cours en ligne Fac des sciences d'Orsay-Unv paris Sud XI.
61. **Srivastava, A. and Strasser, R. J.1996-** Stress and stress management of land plants during a regular day. J. Plant Physiol. 148: 445-455 (1996)
62. **Stewart P, 1969** - Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique, quelques réflexions. Bull. Soc. Hist. Afr. du Nord, pp 24-25.
63. **Thomas D., Maraston C., Bender R et Mendes de Oliveira C., 2005.** The Epochs of Thomas Claire, "Fusion d'images de résolutions spatiales différentes", Thèse de Doctorat, MINES Paris, Décembre 2006)
64. **Tonon M., 2005.** Introduction à la Télédétection. IGN France International. 32p. [En ligne
65. **TUCKER, C. J., HOLBEN, B. N., ELGIN, JR., J.H. & MCMURTREY, J. E., 1981.** Remote sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat. RemoteSensing Environ, 11:171-189.
66. **UNIGE 2004, peduzzi 2009** . Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. In: Natural Hazards and Earth System Sciences, 2009, vol. 9, n° 4, p. 1149-1159.P05.
67. **Yahiaoui M.-R., 2010** La forêt des cèdres de Theniet el had - Le paradis des cèdres. Theniet el had news. n°2. pp 1-2
68. **Yordanov, I., Tsonev, T., Goltsev, V., Kruleva, L., Velikova, V. 1997.** Interactive effect of water deficit and high temperature on photosynthesis of sunflower and maize plants. 1. Changes in parameters of chlorophyll fluorescence induction kinetics and fluorescence quenching. Photosynthetica33, 391-402.
69. **ZEDEK M, 1993.** Contribution à l'étude de la productivité du Cedrusatlantica Manetti. (cèdre de l'atlas) dans le P N T H. thèse magister, INA, Alger. 175p.
70. **Zedek M., 1993.** Contribution à l'étude de la productivité du Cedrusatlantica Manetti (cèdre de l'Atlas) dans le parc national de Theniet El Had. Thès. Magi. INA. Alger. 175p
71. **ZEDEK, M. 1993** - Contribution à l'étude de la productivité du Cedrus atlantica Manetti (Cèdre de l'Atlas) dans le parc national de Theniet El Had. Thèse Magister. INA. Alger, 175p.

Les cites web :

1. <http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/> », Earth Observation Researchprogramme STEREO. Belgique.2005, p. 621 - 673 (T05).24/01/2018.Arizona, USA.
2. <http://www.imvhanoi.com/Uploaded/Documents/Introduction%20a%20la%20teledetecti on%20-%.pdf> .

3. <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/ued/envcal/html/vegetation/indices/index.html>.
4. <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/ued/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html>
5. <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/ued/envcal/html/vegetation/indices/qques-indices/index.html>.
6. <https://eo.belspo.be/fr/corrections-geometriques-et-radiometriques>.
7. <https://eo.belspo.be/fr/les-images-numeriques>.
8. <https://eo.belspo.be/fr/les-indices>.
9. <https://eos.com/landsat-8/>
10. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/>
11. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70202363>
12. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/spatial-resolution>
13. **CCT 2018** : Centre Canadien de Télédétection, (2018). « Fundamentals of Remote Sensing », <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-airphotos/satellite-imagery-products/educational-resources/9363>, consulté le

ANNEXES

Annexe

Annexe 01: précipitations annuelles dans la station Miliana (1988-2018).

années	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Précipitatio	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575
années	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Précipitatio	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1477.575	1544.24	1116.39	1126.34	1128.33	1593.99
années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Précipitatio	1303.45	1570.11	1832.79	1808.91	1215.89	525.36	1446.73	1118.38	1635.78	1504.44
années	2018									
Précipitatio	2194.97									

Annexe 02: les moyennes mensuelles de la pluviométrie de la station Miliana (1988-2018).

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Pré(mm)	217	177	181	146	93	36	25	22	73	107	186	237

Annexe 03: Les températures moyennes mensuelles (minimale et maximale). (1988- 2018)

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T Max	8.4	9.4	12.6	15.3	20.1	25.7	30.4	30.3	25.1	19.3	12.3	9.3
T min	7.1	7.8	10.3	12.7	16.9	21.9	26.0	26.1	21.6	17.2	11.1	8.0
T(M+m)/2												

Annexe 04: Le régime saisonnier de la station de miliana (1988-2018).

saison	hiver	printemps	été	automne
Pluis (mm)	631	419	83	366

FICHE SIGNALÉTIQUE



PARC NATIONAL DE THENIET EL HAD

Date de création	23 juillet 1983
Références de création	Décret présidentiel N°459/83 du 23 juillet 1983
Flore	606 espèces
Faune	488 espèces
Superficie totale du parc	3 424 Ha
dont : -Superficie boisée	2 978,88 Ha
-Superficie non boisée	445,12 Ha
Nombre de zones humides	5
Nom des wilayas couvertes	Tissemsilt
Etages bioclimatiques	Humide à hiver froid et Sub-Humide à hiver froid
Altitudes (Max et Min)	1787 m
Type de classement National	Parc national
Principaux critères de classement National	<ul style="list-style-type: none"> -Premier espace naturel crée en 1923 -Présence d'une belle futaie de cèdre -Unique cédraie occidentale -Existence de cèdre millénaire -Présence de chêne liège à plus de 1 400 m d'altitude -Présence d'écritures lybiques datant de plus de 800 ans
Type de classement International	En étude (réserve de biosphère par le MAB)
Principaux critères de classement International	Fonction de conservation, fonction d'éco-développement et fonction d'appui logistique
Espèces emblématiques floristiques du Parc	Cèdre de l'Atlas
Espèces emblématiques faunistiques du Parc	Gypaète barbue et percnoptère d'Egypte
Partenaires du parc national	Conservation des forêts, direction du tourisme, direction de l'environnement, direction de l'hydraulique, direction des services agricoles, direction de l'éducation, les collectivités locales, les universités, des ONG
Nombre de visiteurs par an	50 000 visiteurs
Effectif global du Parc :	39
-Dont corps technique	8
-Dont corps commun	31