

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université « Dr. Tahar Moulay » Saïda

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire Elaboré en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Protection des écosystèmes

Présenté par

M^{elle} : *Mokhtari Latifa*

Mme : *Hachemaoui Imene*

Sur le thème intitulé

Contribution de la télédétection dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle du couvert végétal : Cas de la commune de Nesmoth W de Mascara.

Soutenu le . . / .. / 2020

Devant la commission de jury, composée de :

Mr HALIMI . Berrezoug	M.C.B	U T. M. de Saïda	Président
Mr SAIDI. Abdelmoulen	M.C.B	U T. M. de Saïda	Examineur
Mr ANTEUR. Djamel	M.C.B	U T. M. de Saïda	Encadreur

Année universitaire 2019 / 2020

Remerciement

Avant tout, nous remercions en premier lieu Allah le tout puissant de nous avoir illuminée ouvert les voies du savoir, et pour nous avoir accordé la volonté et le courage pour élaborer ce travail.

Au terme de ce modeste travail nous tenons tout particulièrement à témoigner notre profondes gratitude à notre encadreur Mr **ANTEUR Djamel**, maitre de conférence à l'université Dr Moulay Tahar de Saida qui a suivi et dirigé ce travail avec un enthousiasme toujours égale, ses précieux commentaires, et ses conseils pertinents nous ont grandement aidé tout au long des différentes étapes de l'élaboration de ce mémoire. Nos remerciements pour sa gentillesse, sa

patience, la disponibilité constante qu'il a manifestée, le soutien qu'il nous a apporté, la confiance qu'il nous témoignée, afin de mener à terme ce mémoire.

Mes remerciements vont ensuite à Mr **Halimi Berrezoug**, maitre de conférence à l'université Dr Moulay Tahar de Saida de l'honneur qui m'a fait en acceptant de présider le jury de mon mémoire.

Je tiens également mes vifs remerciements à Mr **Saidi Abdelmoumen**, Maitre de conférences à l'université Dr Moulay Tahar de Saida l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nos remerciements vont aussi à l'ensemble des travailleurs de la Conservation des forêts de Mascara,

Nos remerciements vont en fin à tous les enseignants de la faculté des sciences, département de biologie qui ont contribué à notre formation ainsi que toute personne qui a contribué à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.

Un merci spécial pour nos collègues et amis, qui ont contribué par leur soutien et amitié, chacun à sa façon, à la progression de notre travail.

Dédicace

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

A mon père, à qui je dois mon éducation et mon instruction, que Dieu lui accorde sa grâce infinie ;

A ma très chère et douce mère, qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, qui s'est trop inquiétée pour cette recherche, et qui a tant veillé sur moi ;

Qu'ils trouvent ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera jamais à la hauteur de leur dévouement. Aucune dédicace ne saurait vous exprimer la profondeur de mes sentiments. Que dieu vous protège et vous garde pour nous.

A mes précieux deux chers frères : **Nasr eddine** et **Hamza**,

A mes sœurs **Ikram** et **Maram** .

Et Aussi mes cousins et cousines, **Mohamed, Imad, Lina, Hind , Cheimae, Amel** et **Zahira**

A mes oncles, tantes, vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.

Affectueuse Reconnaissance à toute ma famille pour son affection et sa contribution à mon épanouissement.

A toute ma promotion de master «Protection des écosystèmes », Université « Dr. Tahar Moulay » Saïda ; Je dédie également ce travail à tous ceux qui m'ont apporté leur savoir et contribué à ma formation :

Mes instituteurs du primaire, mes professeurs du lycée, mes enseignants de Université « Dr. Tahar Moulay » Saïda. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect ; Enfin je le dédie à tous mes ami(e)s que je n'ai pas cité(e)s et à tous ceux qui me connaissent. Qu'ils trouvent à travers ce travail ma sincère reconnaissance ;

A tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail. ;

Djamel

Latifa



Dédicace

Au nom d'**Allah**, qui nous a éclairé les chemins du savoir et de la sagesse,

Je dédie ce modeste travail à:

Mes très chers parents qui ont attendu avec patience les fruits de leur bonne éducation..

- A Mes très chers frères et sœurs :
- A Mes Oncles et mes tantes et leur grande famille.
- A mon binôme Latifa et toute sa famille.
- A mes très chers frères et sœurs de l'université de Saida :
- A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin et m'ont souhaités toujours la réussite et le bonheur. et à toutes personnes qui me connaissent et m'aiment profondément.

Imene .

Résumé

Notre étude menée sur le couvert végétal dans la commune de Nesmoth appartenant à la daïra de Hachem (wilaya de Mascara). Cette commune est située à 35 km de la ville de Mascara sur les monts de Saida, c'est une commune rurale ayant des altitudes allant jusqu'à 1200m et couverte des forêts de chêne-liège et de cèdre de l'Atlas.

L'objectif poursuivi est l'élaboration d'une carte de changement final en utilisant l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), pour connaître l'évolution spatiotemporelle du couvert végétal entre 2010 à 2020 et d'évaluer la progression ou la régression de différentes affectations des sols entre les deux dates de prises d'images, tout en essayant de comprendre les différents facteurs qui peuvent engendrer ces changements

La méthodologie adoptée est articulée en deux phases, une investigation sur le terrain a été réalisée durant trois mois entre janvier et Mars 2020. Un traitement numérique a été effectué par l'utilisation de la télédétection spatiale s'est basée sur des images satellitaires (Sentinel-2 de l'année 2020 et Aster 2010) afin de valider les données préliminaires récoltées sur le terrain.

Une évolution régressive prononcée du couvert végétal est constatée dans la zone d'étude. Les principaux facteurs contribuant à la régression du couvert végétal sont : la déforestation, le surpâturage, les incendies de forêts et l'érosion hydrique.

Les résultats obtenus apportent une aide importante aux décideurs pour simuler des scénarios d'évolution spatiotemporelle de la région de Nesmoth et de planifier les aménagements nécessaires pour la conservation des ressources naturelles pour les futures générations.

Mots clés : Nesmoth, changement, végétation, classification, NDVI

Liste des figures

Figure n°1 : Les transferts d'énergie à la surface terrestre	03
Figure n°02 : La dynamique de la végétation : de l'abandon de culture au climax	04
Figure n°3 : Etapes de la dynamique des peuplements végétaux soumis à l'action de l'homme en région méditerranéenne	05
Figure n° 4 : Dynamique de la végétation dans la zone aride Nord-africain.....	06
Figure n° 5 : Le modèle de dépérissement et attaques parasitaires des arbres forestiers	13
Figure n° 6 : Télédétection à l'aide des satellites.....	17
Figure n° 7 : Spectre électromagnétique.....	18
Figure n°8 : Fenêtres atmosphériques.....	19
Figure n° 9 : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière« absorption, réflexion, transmission ».....	20
Figure n°10 : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen.....	21
Figure n° 11 : Illustration des interactions entre le sol et la végétation, intégrées au niveau de la mesure satellitaire.....	22
Figure n° 12 : Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen.....	23
Figure n°13 : Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale.....	24
Figure n°14 : Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation.....	25
Figure n° 15 : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation.....	26
Figure n°16 : Localisation de la commune de Nesmoth dans la wilaya de Mascara.....	30
Figure n° 17 : Le modèle numérique de terrain de la commune de Nesmoth.	31
Figure n° 18 : Carte hypsométrique de la commune de Nesmoth.....	32
Figure n° 19 : La répartition des classes des pentes de la commune de Nesmoth.....	33
Figure n° 20 : La carte d'expositions de la commune de Nesmoth.....	34
Figure n° 21 : Carte du chevelu hydrographique de la commune de	35
Figure n° 22 : Carte géologique de la commune de Nesmoth.....	36
Figure n° 23 : Répartition annuelle de la pluviométrie dans la forêt de Nesmoth (1982- 2015)....	37
Figure n°24 : Variation mensuelle des précipitations (ancienne et nouvelle période).....	39
Figure n° 25 : Variations des températures mensuelles minimales dans la commune.....	40
Figure n° 26 : Variations des températures mensuelles maximales dans la commune.....	41
Figure n° 27 : Diagramme ombrothermiques la commune	43

Figure n° 28 : Quotient pluviothermique et climagramme d’Emberger de la forêt de Nesmoth au cours de la période ancienne (Pa) et récente (Pr).....	44
Figure 28 : Organigramme de la méthodologie de travail.	56
Figure n° 30 : <i>La Composition colorée de l'image Aster 2010.</i>	57
Figure n° 31 : <i>La composition colorée de l'image Sentinel-2; 2020)</i>	58
Figure n° 32 : Visualisation néocanal d'indice "NDVI" pour l'année 2010.....	59
Figure n°33 : Visualisation néocanal d'indice "NDVI" pour l'année 2020.....	59
Figure n° 34 : <i>Carte d'occupation du sol de 2010</i>	60
Figure n° 35 : <i>Carte d'occupation du sol de 2020</i>	61
Figure n°36 : <i>Carte d'occupation du sol de 2020</i>	62
Figure 37 : Carte de détection des changements d’occupation du sol entre 2010 et 2020.....	67

Liste des tableaux

Tableau n° 1 : Caractéristiques de la station de référence et période d'observation :	37
Tableau n° 2 : Précipitation moyennes mensuelles (mm) pendant les périodes de référence...	38
Tableau n° 3 : Températures minimales moyennes (°C).....	39
Tableau n° 4 : Températures maximales moyennes (°C).....	40
Tableau n° 05 : Températures moyennes mensuelles et annuelles T (°C).....	41
Tableau n° 6 : Indice de continentalité de la forêt de Nesmoth.....	42
Tableau n° 7 : Valeurs des indices de sécheresse estivale de la forêt de Nesmoth.....	42
Tableau n° 8 : Etage de végétation du chêne liège de la forêt de Nesmoth :.....	43
Tableau n° 09 : Valeur de « Q2 » et étages bioclimatiques.....	44
Tableau n°10 : Formations végétales de la forêt de Nesmoth (CFWM,2017).....	45
Tableau n° 11 : Caractéristiques des bandes spectrales Sentinel-2A	48
Tableau n° 12 : Caractéristiques des données ASTER.....	48

Liste des photos :

Photo n°1 : foret de chêne liège date 06/01/2020.....	63
Photo n°2 : exploitation du liège date 12/03/2020.....	63
Photo n°3 : foret de chêne vert date 06/01/2020	64
Photo n°4 : foret de Pin d'Alep date 06/01/2020.....	64
Photo n°5 : Maquis denses date 12/03/2020.....	65.
Photo n°6 : Maquis ouvert date 12/03/2020.....	65
Photo n°7 : les cultures date 12/03/2020.....	66
Photo n°8 : sol nu date 06/01/2020.....	66

TABLE DES MATIERES:

Résumé :	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des figures	
Introduction générale	01
Chapitre I : . Connaissance sur la dynamique du couvert végétal	
1. Pourquoi étudier le couvert végétal ?	03
2. Dynamique du couvert végétal.....	04
2.1. L'évolution	05
2.2. La dégradation	07
3. Facteurs de dégradation du couvert végétal en Algérie.....	07
3.1. Le climat	08
3.2. La pression anthropique, aggravée par la croissance démographique.....	08
3.2.1. Les incendie	08
3.2.2. Le surpâturage.....	09
3.2.3. Les coupes de bois	10
3.2.4. Le tourisme.....	10
3.2.5. Les défrichements	11
3.3. L'application de techniques inappropriées	11
3.3.1. Sylviculture.....	11
3.3.2. Agriculture.....	12
3.4. Le braconnage et l'extermination de la faune sauvage :.....	12
3.4.1. Le non-respect de la réglementation et de la législation forestière.....	12
3.3.2. Les attaques parasitaires liées à la dégradation:.....	12
4. Le besoin d'un outil d'observation synoptique.....	14
Chapitre_: II Télédétection du couvert végétal	
Introduction.....	15
1. Qu'est-ce que la télédétection ?.....	15
2. Domaines de la télédétection	16
3. Traitements en télédétection	17

3.1. La source d'énergie.....	17
3.2. Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère.....	17
3.3. Les interactions du rayonnement avec la surface terrestre.....	17
3.4. L'enregistrement du signal par le capteur satellitaire.....	17
3.5. La transmission et la réception des données.....	18
4. Le rayonnement électromagnétique : nature et propagation.....	18
4.1. Définition :.....	18
4.2. Interactions du rayonnement électromagnétique	20
5. Signatures spectrales des principales surfaces naturelles.....	20
5.1. <u>Signature spectrale des sols</u>	20
5.2. <u>Signature spectrale de l'eau</u>	20
5.3. <u>Signatures spectrales de la végétation</u> :.....	22
5.3.1. Variations de la signature spectrale de la végétation :.....	22
5.3.1.1. <u>Caractérisation de la structure d'un couvert végétal</u>	22
5.3.1.2. <u>Les propriétés optiques des feuilles</u> :.....	23
5.3.1.3. Les pigments foliaires.....	23
5.3.1.4. La structure cellulaire des feuilles.....	24
5.3.1.5. L'influence de la teneur en eau :.....	24
5.3.2. Autres types de variations de la signature spectrale :.....	25
6. Analyse d'une image.....	26
6.1. Classification non supervisée :.....	27
6.2. Classification supervisée :.....	27
6.3. <u>Indices de végétation</u> :.....	27
6.3.1. <u>Principe</u> :.....	27
6.3.2. <u>Principaux indices de végétation</u> :	
6.4. Autres indices :	

Chapitre : III Présentation de la zone d'étude

1- Contexte régional et local de la zone d'étude	30
2- Cadre géomorphologique.....	31
2.1 – Altitude.....	32
2.2- Le pente.....	33
2.3- L'exposition.....	34

2.4. Hydrologie.....	35
2.5- Géologie et Pédologie.....	36
3. Le climat.....	36
3..1-Paramètres climatiques	37
3.1.1-Précipitation	37
3.1.1.1-Répartition mensuelle des précipitations :.....	38
I.5.1.3-Température.....	39
1. Moyenne des minimas du mois le plus froid:.....	39
2. Moyenne des maximas du mois le plus chaud « M »:.....	40
3. Températures moyennes mensuelles et annuelles:.....	41
I.5.2- Autre facteurs climatiques :.....	41
I.5.3- Synthèses climatiques.....	42
1. Indice de continentalité.....	42
2. Indice de sécheresse estivale.....	42
3. Etage de végétation ou zonation altitudinale.....	42
4. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	43
5. Quotient pluviothermique et climagramme d’Emberger.....	44
4. Description forestière.....	45
4.1- Production subericole :.....	46
4.2. Incendies répétés.....	46

Chapitre IV : Matériels et méthodes

1- Objectif de travail.....	47
2- Les données	47
3- Moyen de travail	49
4-Reconnaissance terrain	51
5-Méthodologie de travail	51
5.2- La méthode cartographie	51
5.2.1- Correction radiométrique	51
5.2.2- <i>La classification</i>	53
6- Détection du changement par calcul l’indice de végétation Normalisé "NDVI"	54

Chapitre V : Résultats et discussion

1- la <i>composition colorée</i>	57
2- Application de l'indice de végétation Normalisé "NDVI ".....	58
3-La classification des images.....	60
3.1-La <i>carte d'occupation du sol</i>	60
3.2- <i>L'état d'occupation du sol en 2020</i> :.....	61
4. Identification des classes :.....	63
5- <i>Résultat de la détection des changements</i>	67
Conclusion générale :.....	68

Introduction :

Le besoin croissant d'estimer, de prévoir, de surveiller et de gérer la végétation dans toutes les parties du monde et à différentes échelles (locale, régionale et globale) tend à faire ressortir la nécessité d'améliorer en permanence les méthodes de recueil systématique et périodique d'informations caractérisant la végétation.

L'analyse et la combinaison de ces informations permettra par la suite de cartographier l'état de la végétation, de suivre les phénomènes évolutifs et accéder à certaines zones bioclimatiques difficilement explorables.

L'application des techniques de télédétection, doit permettre d'effectuer une analyse des changements intervenus au cours d'un intervalle de temps donné, la quantification des pertes en ressources naturelles et la recherche des éléments de causalité, en vue de lutter efficacement contre la régression de l'espace végétal.

Les changements de l'environnement impliquent la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'évaluation. Parmi ces méthodes, la télédétection présente un intérêt particulier, grâce à ses caractéristiques essentielles d'enregistrement et d'analyse. La télédétection qui permet une vision globale des phénomènes, est en même temps le moyen d'étude privilégié pour contribuer à assurer une meilleure gestion de l'environnement. Les satellites d'observation de la terre ont été fort utiles pour relever les traumatismes régionaux et continentaux et les données multi dates acquises nous ont informés sur les signes de dégradation de l'environnement dans plusieurs régions du monde. (**JULIAN et al., 1997**).

La pression de l'homme est intense sur les ressources naturelles dans les monts de Saida et particulièrement sur la commune de Nesmoth, des écosystèmes forestiers qui se trouve enclavée à l'intérieur des terres agricoles et des agglomérations rurales ce qui a accéléré sa dégradation entraînant, la transformation de ces futaies en maquis dégradés ou en simple terrain de parcours, la destruction des habitats de la faune et l'exposition du sol au phénomène de l'érosion.

Les différentes pressions sur la forêt Domaniale de Nesmoth ont réduit la superficie de sa couverture forestière et ont affaibli son rôle de protection et de production particulièrement pour son liège considéré comme étant de bonne qualité.

Les dégradations fréquentes et continues vont finir par transformer le restant de la forêt en maquis et faire disparaître cet écosystème unique dans la Wilaya de Mascara déjà fragilisé par les défrichements, le surpâturage, l'absence de traitement sylvicole ainsi que l'irrégularité du climat.

Pour ce faire, nous avons réalisé une étude de détection de changement spatio- temporelle de

deux images satellitaire de Sentinel-2 de l'année 2020 et Aster 2010, dans le but d'évaluer la progression ou la régression de différentes affectations des sols entre les deux dates de prises d'images, tout en essayant de comprendre les différentes facteurs qui peuvent engendrer ces changements. La méthode adoptée pour détecter les changements de l'occupation est celle proposée par **(Lu et al. 2004)**, qui basée sur la comparaison des classifications supervisée de pseudo-bandes (ACP-NDVI). Cette méthode permet de fournir l'information détaillée sur l'évolution du changement et de la mutation des classes d'occupation pour préparer des cartes d'occupation et des changements **(YAUN et al, 2005)**.

Ce travail est organisé en quatre cinq chapitres: le premier chapitre est consacré sur des notions générales sur la dynamique du couvert végétal, le deuxième chapitre présente des notion de base sur la télédétection et la détection de changement, le troisième chapitre traite le cadre d'étude, le quatrième chapitre décrit la méthodologie utilisée dans notre étude et le cinquième chapitre set réservé pour l'interprétation des résultats de l'étude.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale.

I. Connaissance sur la dynamique du couvert végétal

Introduction

L'homme a, depuis environ 7000 ans, marqué par son empreinte tous les écosystèmes méditerranéens. Devenant agriculteur, il s'est sédentarisé, ses activités et l'usage qu'il a fait de la nature ont abouti à la destruction presque totale de la végétation originelle. Tout ce qu'il y a actuellement de « nature sauvage », ne correspond en fait qu'à des mosaïques successioneuses de dégradation.

1. Pourquoi étudier le couvert végétal ?

Recouvrant une très grande partie des continents et premier maillon de la chaîne alimentaire en tant que producteur de matière organique, la végétation est un élément fondamental des écosystèmes terrestres. Les couverts végétaux régulent les échanges d'énergie et de matière à l'interface sol-végétation-atmosphère. Ils puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur développement et leur croissance dans le sol et produisent l'oxygène, via le processus de photosynthèse, indispensable à la vie sur terre (fig. 1).

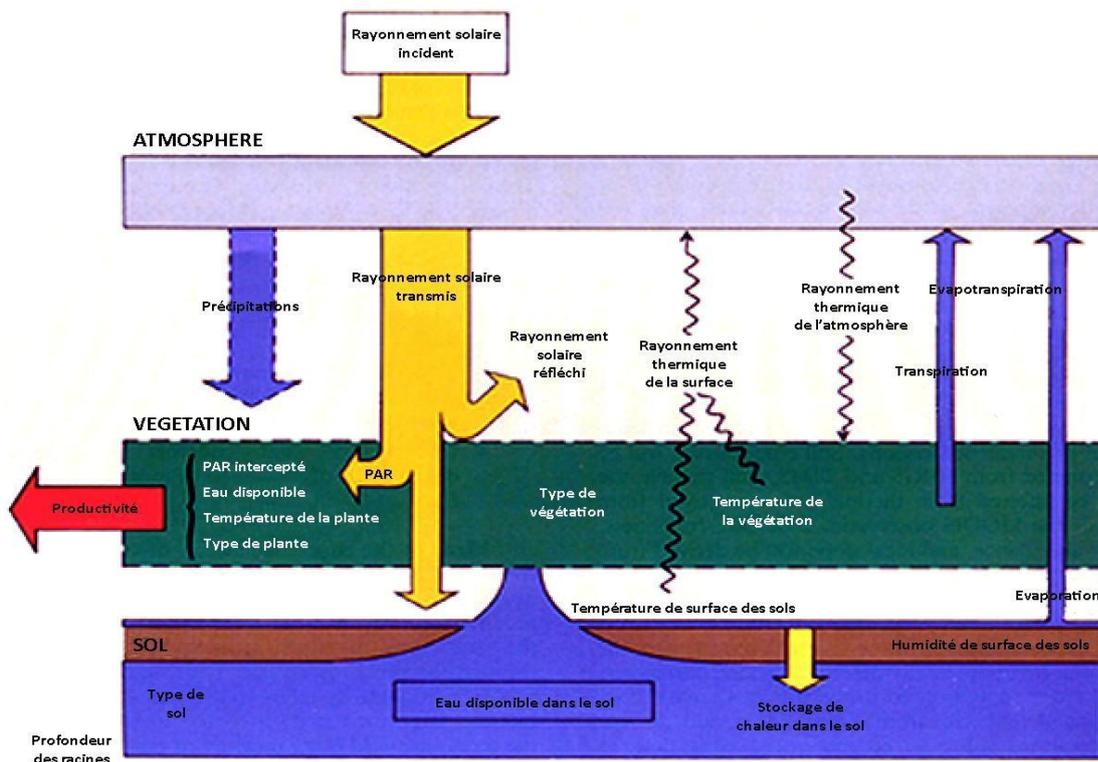


Figure n°1 : Les transferts d'énergie à la surface terrestre (NASA, 2011).

Le rayonnement solaire global, somme du rayonnement direct et diffus, est la quantité d'énergie solaire incidente à la surface de la terre pendant une période de temps donnée. Elle est intégrée sur tout le spectre solaire.

Seul le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR, de l'anglais Photosynthetically Active Radiation) dont les longueurs d'onde s'étendent de 400 nm à 700 nm est utilisé par les plantes pour leur croissance. Un paramètre habituel pour estimer l'état d'une plante est sa [productivité](#), fonction à la fois du type de plante, de la fraction du rayonnement solaire incident, de la disponibilité en eau et de l'influence du climat régional.

2. Dynamique du couvert végétal

On assiste au sein d'un milieu à ce que l'on appelle une dynamique de végétation : une succession naturelle faite de plusieurs stades dont l'aboutissement est représenté par le stadeterminal (appelé "climax"), en l'occurrence ici : la forêt. Pour ne rien simplifier, cette dynamique peut être perturbée si l'homme intervient à un moment donné, et les conséquences n'en seront pas les mêmes en fonction du type d'intervention (pâturage, coupes...)

Les associations végétales ne sont pas des états stables à moins qu'une cause particulière (érosion, surpâturage, l'action anthropiques...etc.) et ces paramètres influent sur l'évolution. Elle présente en générale une transformation spontanée longue au cours de laquelle les groupements de végétaux différents se succèdent en chaque point ; cette transformation est appelée « dynamisme de végétation ». (**Ozenda, 1982**)

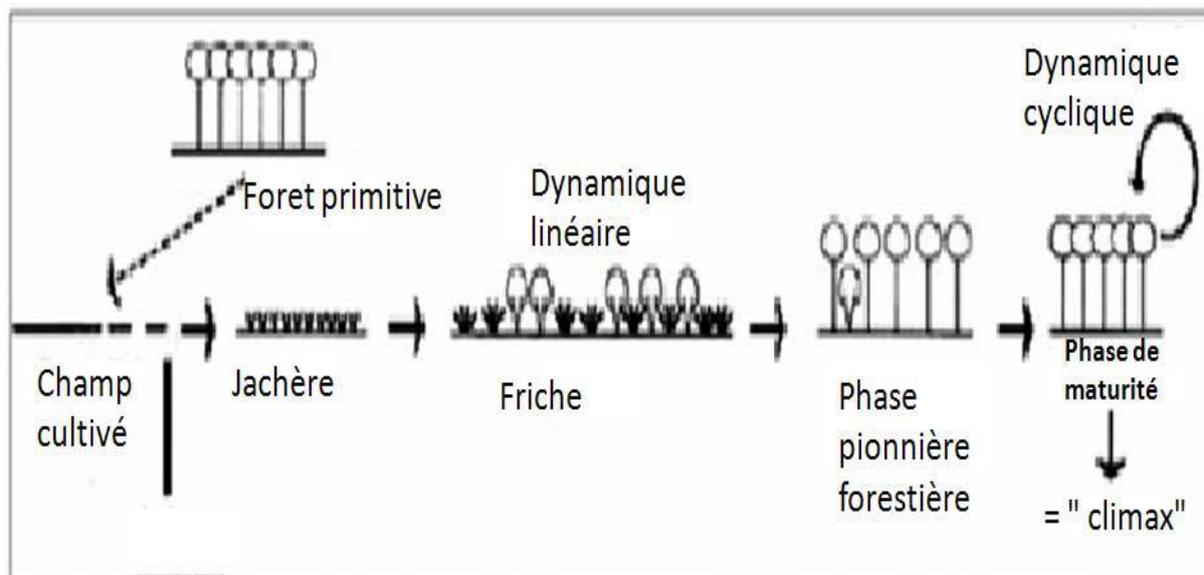


Figure n°02 : La dynamique de la végétation : de l'abandon de culture au climax (**Rameau 1987**)

On entend par « dynamisme de la végétation » les modifications et transformations survenues ou pouvant encore se manifester au sens de la végétation (fig. 2), transformations soit naturelles, soit dues à l'homme, tant dans le sens progressif (évolution) que dans les sens

régressif (dégradations) (Guinochet, 1955 in Saidi, 1984).

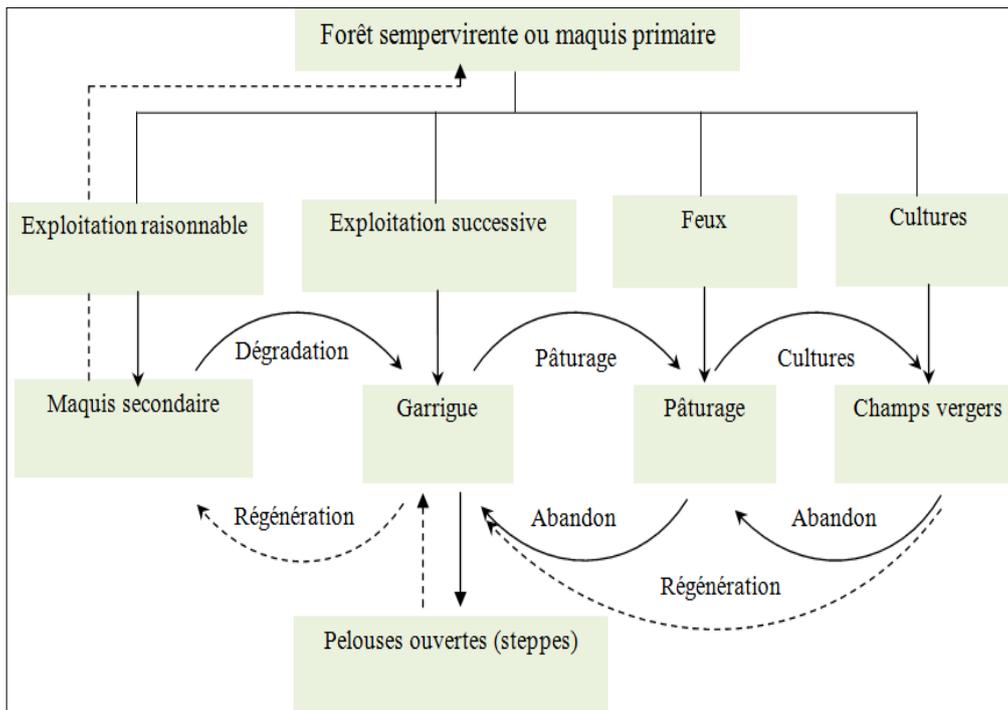


Figure n°3: Etapes de la dynamique des peuplements végétaux soumis à l'action de l'homme en région méditerranéenne (d'après Polunin et Huxley, 1965 in Ammar Khoudja, 1986).

2.1. L'évolution :

L'évolution du couvert végétale est due à des facteurs anthropique et naturel et elle s'effectue dans un sens positif ou négatif :

.- Evolution progressive

Une évolution naturelle qui aboutit au climax est dite progressive ; C'est elle qui se produit sans intervention de l'homme (Regagba, 2012).

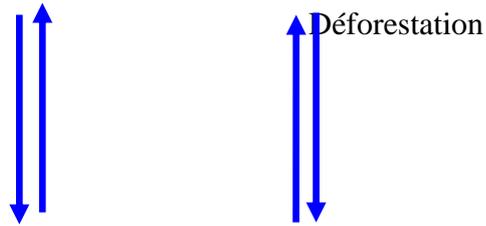
- Evolution régressive

Une évolution est dite régressive quand un phénomène naturel ou anthropique intervient pour reconduire une végétation vers des stades antérieurs. La dégradation anthropique d'un sol peut être un facteur grave d'évolution régressive et le processus est même parfois irréversible (Regagba, 2012).

Une modification de la couverture végétale ou des horizons supérieurs des soles entraîne des changements dans l'utilisation potentielle d'un système et dans sa productivité, on passe alors à un autre système écologique, souvent de façon irréversible si certains seuils sont dépassés. (Floret et al. 1992). Le couvert des espèces pérennes, principalement celles de grande taille, augmente mais l'absence d'apparition ou disparition d'espèces végétales rend difficile la

caractérisation de « stade » de la succession en un temps assez court, même si le couvert végétale a été en générale multiplié par 2 (Floret et al, 1982). Pour (ODUM, 1969), la succession est un processus ordonné de changement dans un système écologique qui résulte de la modification de l'environnement physique par la communauté biologique et qui aboutit à système de type persistant. Un très bonne vue globales de la succession dans l'ensemble de la zone aride (100-400mm) Nord-Africaine est donné par le Houerou, 1981 (Figure 06):

Stade 1 Forêt ouverte de *pinushalepensis* *Dactylonpeganumharmala*



Stade 2

formation arbustive à *juneperusphoenica*

Rosmarinusofficinalis et *stipa tenacissima*



Stade 3 Steppe graminéenne à *stipa tenacissima*

Surexploitation



Stade 4 Steppe chamaephytique à *Artemisia herba-alba*

(Sur les sols limoneux) ou à

Artemisiacampestris (sur les sols

sableux)

Stade 5 Surpâturage, culture et Arrachage



Culture et jachère asteppe dégradé à *stipa capensis*

Annuelle et cynodon

Dactylonpeganumharmala

Figure n° 4 : Dynamique de la végétation dans la zone aride Nord-africain (le Houerou, 1981).

2.2. La dégradation :

La dégradation (...) de quelque façon qu'elle se soit produite, passe par différentes stades, qui peuvent varier selon l'intensité de la dégradation, la localité géographique où elle se produit (donc avec des aspects floristiques différents et le substrat) (**Dajoz, 1971 in Saidi, 1984**).

En effet, il a été démontré que chaque écosystème est caractérisé par un seuil de dégradation à partir duquel, même en cas de disparition de la perturbation, le retour à un état antérieur ne peut être que très lent (**Ferchichi, 1999**). Dans le cas de la steppe algérienne, selon (**Ferchichi, 1994**) et (**Tarhouni et al, 2007**), quand ce seuil est atteint, le retour vers un écosystème productif nécessite une très forte intervention humaine qui s'appuie sur la réactivation du fonctionnement hydrique du sol, la reconstitution du stock de graines du sol, la réintroduction d'espèces pastorales et aussi la collaboration des agropasteurs.

Selon (**Gausson, 1952**), du point de vue théorique, à n'importe quel stade de dégradation, si la cause qui a provoqué celle-ci vient de disparaître, il peut se produire une reprise évolutive de la végétation vers le stade précédent. D'après le même auteur, la différence entre dégradation et l'évolution progressive consiste surtout dans le fait que, tandis que la première a lieu à brève échéance, la seconde est lente (**Gausson, 1952**). Par conséquent, sur le plan pratique, cette évolution peut être presque imperceptible (**Saidi, 1984**).

La fragilité des écosystèmes méditerranéens et la surexploitation de leurs ressources, rendent ces milieux plus vulnérables. En Algérie, ces écosystèmes connaissent depuis longtemps une dégradation excessive du couvert végétal. Cette dégradation est le résultat conjugué des facteurs naturels et d'actions anthropiques.

3. Facteurs de dégradation du couvert végétal en Algérie

Malheureusement et suite à une longue histoire d'occupation humaine, l'Algérie ne renferme plus à l'heure actuelle, d'écosystème terrestre vierge d'action anthropique. L'action conjuguée de la hache, du feu et du pâturage en forêt a provoqué la transformation des forêts en formations végétales dégradées. Les steppes ont également été considérablement dégradées, par suite du surpâturage et même de mise en culture inadaptée. En conséquence, les communautés végétales propres à ces écosystèmes ou ce qu'il en reste, ne sont plus qu'un pâle reflet de ce qu'elles étaient dans leurs conditions primitives (**MICLE, 1997**).

Cette destruction progressive est liée à des facteurs anthropiques, quelquefois naturels. La forêt algérienne a perdu 1 815 000 ha entre 1850 à 1955 et 1 215 000 ha entre 1955 à 1997 (**DGF, 2004**), à cause de plusieurs défis dont les principaux sont :

3.1. Le climat :

Le climat méditerranéen est un facteur aidant à la désertification en particulier dans ces variantes aride et semi-aride où les caractéristiques sont nettement plus accentuées (**Nahal, 1991**). Les sécheresses ne peuvent donc, à elle seules, être les facteurs exclusifs de la désertification ; dans bien des cas c'est l'homme qui a créé le désert, le climat n'ayant été qu'une circonstance favorable (**Le Houerou, 1993**).

3.2. La pression anthropique, aggravée par la croissance démographique

Dès que l'homme sut maîtriser le feu, puis pratiquer l'élevage et l'agriculture, il devient alors sédentaire et commença de modifier la végétation (**Saidi, 1984**).

3.2.1. Les incendies :

Si le feu n'est qu'un phénomène physico-chimique, l'incendie est une combustion qui échappe au contrôle de l'homme, aussi bien dans l'espace que dans le temps. D'après (**Merlet, 2007**), à titre de préalable, on notera ici qu'en termes d'espace la convention veut que l'on parle d'incendie de forêt lorsque le feu concerne une surface minimale d'un hectare d'un seul tenant, et qu'une partie au moins des étages arbustif (ligneux bas) et/ou arboré (ligneux hauts) est détruite.

Le passage du feu bouleverse les conditions écologiques du milieu et élimine de nombreuses espèces végétales et animales. Les paysages végétaux des régions méditerranéennes sont profondément marqués par son empreinte (**Ramade, 1976 in Ammar Khoudja, 1986**). C'est le facteur de dégradation le plus ravageur de la forêt. De fait, et compte tenu des enjeux environnementaux, humains et économiques que cela implique, l'aléa « feu de forêt » est considéré en Algérie comme un risque naturel majeur. (**Galtie, 1997**) confirme que « Chaque été méditerranéen les feux de forêt (...) n'en finissent pas de jouer une partition familière, attendue et redoutée ». (**Abdelguerfi et Ramdane, 2003**), ajoutent qu'en Algérie, les forêts, les reboisements, les maquis et les garrigues occupent une superficie d'environ 4000 000 d'ha. Ces surfaces sont connues pour leurs sensibilités aux incendies qui restent très fréquents en période estivale, selon **Khader et al (2009)**, les incendies détruisent annuellement plus de 30 000 ha. Il en résulte selon **Missoumi et Tadjerouni (2003)** de très lourdes charges pour la société toute entière, pour l'Etat et les collectivités locales en particulier.

(**Arfa Azzedine, 2008**) note que malgré les capacités de régénération de la forêt, les incendies représentent un véritable fléau auquel très peu d'espèces peuvent résister. Pour sa part, **Meddour-Sahar (2008)** précise que la période coloniale a été fatale, comme on le sait, pour notre patrimoine forestier. En effet, une surface cumulée de 3 506 942 ha a été parcourue par le feu, sur une période de 87 ans (1876-1962), soit une moyenne de 41 258 ha/an. Selon

(**Khader et al, 2009**), depuis 1963 à nos jours la forêt algérienne enregistre un chiffre de 1.321.995ha de superficie incendiée.

La moyenne des différents programmes de reboisement depuis 1963 qui est de 26 000 ha/an ne peut équilibrer ces pertes, même si le taux de réussite de ces actions est de 100%, ce qui n'est malheureusement pas le cas (**MATE, 2003**).

Abdelguerfi et Ramdane (2003) notent que "l'homme est le facteur le plus imprévisible, la majeure partie des incendies lui sont imputée" et ajoutent que "le meilleur moyen de le contrecarrer c'est de l'associer en le faisant bénéficier des produits de la forêt. C'est le moyen le plus efficace pour réduire les feux de forêts. Là où la forêt n'assure plus de fonction économique, elle n'est plus entretenue et brûlée fréquemment".

3.2.2. Le surpâturage :

Il correspond, selon (**Abdelguerfi et Ramdane, 2003**), à une surcharge et à un trop long séjour du cheptel sur les parcours se traduisant par un prélèvement annuel d'une quantité d'unités fourragères supérieure à la production de ces parcours.

Le surpâturage est généralement considéré comme une cause essentielle de la dégradation des écosystèmes naturels (**Le Houerou, 1968 in Cherifi et Bouzidi, 2008**). Le piétinement répété des troupeaux, le broutement, le dépôt d'excréments qu'ils provoquent peuvent inhiber, d'après (**AmmarKhoudja, 1986**), la croissance des végétaux. Selon le même auteur, ces facteurs en exerçant une action mécanique sur le sol favorisent l'érosion qui crée des plages dénudées plus ou moins étendues. De ce fait, il ya déclenchement d'une série régressive de la végétation. Et ainsi, une expansion de certaines associations végétales s'installe aux dépens d'autres.

En Algérie, les éleveurs préconisent le pâturage libre du bétail, sans limitation de la densité de charge et sans clôtures (**Montero et Canellas, 1998**). En effet, et comme le signale (**Benabdeli, 1996**), nos forêts sont souvent sollicitées par les pasteurs comme source d'appoint pour l'alimentation du bétail. Cela se traduit selon (**LeHouerou, 1980**) par une réduction du couvert végétal imposé par piétinement de l'animal. Il s'agit aussi d'un aspect important qui est l'appétence des espèces broutées. A ce sujet, (**Bouazza, 1990**) souligne que les animaux choisissent les espèces et par conséquent, imposent à la biomasse consommable offerte une action sélective importante.

Selon (**Arfa Azzedine, 2008**), le surpâturage contribue pour une bonne part à la dégradation du couvert végétal, principalement dans les écosystèmes fragiles les conduisant à la désertification. On estime en Algérie que les parcours et les sols dégradés s'étendent actuellement sur au moins 7 millions d'hectares. En 70 ans la nappe d'alfa a régressé de

moitié.

Selon le même auteur, on dénombre en forêts algériennes 960 000 bovins, 600 000 caprins et 4,2 millions d'ovins. Des études montrent que la charge pastorale est au moins quatre fois supérieure aux capacités d'équilibre.

Le surpâturage pose le problème numéro un de la sylviculture algérienne et l'on doit affirmer tout de suite de la façon la plus absolue, que sur le double plan biologique et de la production forestière, il est une cause de déséquilibre ou sous production et de dommages (**AmmarKhoudja, 1986**). D'après la même source, la chèvre est pratiquement le seul ruminant domestique à pouvoir se développer à partir des fourrages ligneux exclusivement : d'où son adaptation et sa prolifération dans le maquis.

(**Cherifi et Bouzidi, 2008**) notent que l'impact du surpâturage sur la végétation est important aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif :

Sur le plan qualitatif, les bonnes espèces appétibles sont consommées avant d'avoir eu le temps de former des repousses pour les saisons à venir et elles disparaissent totalement en laissant la place à des espèces non palatables telles que *Asphodelusmicrocarpus* ;

Sur le plan quantitatif, le surpâturage provoque une diminution du couvert végétal pérenne qui voit sa densité diminuée avec le temps.

Dans la région d'étude, le surpâturage au niveau des pentes des collines à causer beaucoup de ravinement. En ces endroits, il ne subsiste qu'une maigre végétation.

3.2.3. Les coupes de bois :

En Afrique, l'extraction du bois de feu a bondi du fait de l'augmentation de la population régionale (**FAO, 2011**). (**Abdelguerfi et Ramdane, 2003**) confirment que l'état actuel de la dégradation des peuplements forestiers en Algérie montre que la végétation ligneuse a été surexploitée, suite à la hausse des prix du bois, les coupes illicites de bois de chauffage, de bois d'œuvre pour la construction et de bois d'ébénisterie sont en augmentation. (**Arfa Azzedine, 2008**) ajoute que ces coupes touchent les arbres ayant les meilleures caractéristiques phénotypiques et génétiques et éliminent les meilleurs porteurs de graines.

Malgré des efforts et des campagnes de reboisement réalisées annuellement depuis l'indépendance, le taux de boisement en Algérie se situe entre 10 et 12%. Le couvert végétal est agressé par les actions négatives de l'homme causées des coupes.

3.2.4. Le tourisme:

Le tourisme et les usages récréatifs qui nécessitent l'aménagement de voies de circulations, de stations... augmentent les risques d'incendies et affectent les zones boisées.

3.2.5. Les défrichements :

Selon la **FAO (2002)**, si le défrichement a existé depuis l'époque romaine, il s'est accéléré durant la colonisation et continu de se pratiquer à nos jours. Il a pour origine l'extension de la céréaliculture qui constitue l'activité la plus importante après l'élevage. (**Abdelguerfi et Ramdane, 2003**) ajoutent que ce dernier est accentué par développement de la mécanisation. D'après (**Arfa Azzedine, 2008**), les populations montagnardes, privées de surfaces agricoles et marginalisées procèdent à des labours à la lisière des forêts. Ces pratiques, outre qu'elles ont un effet désastreux sur les sols, provoquent des antagonismes permanents entre les riverains et l'administration forestière guidée par un souci de protection des forêts. (**Abdelguerfi et Ramdane, 2003**), signalent que la culture des céréales se fait de façon anarchique, ne tenant compte ni du couvert végétal existant, ni des conditions de sols et de climats. Il s'agit d'une agriculture épisodique et itinérante dont les rendements sont insignifiants. D'après (**Saidi, 1984**), l'incendie est le moyen le plus simple et le plus rapide pour détruire le maquis et faire place à de nouveaux pâturages ou de nouvelles cultures.

La végétation et le sol évoluent parallèlement au cours de temps. Il existe, selon (**Ammar Khoudja, 1986**), une relation étroite entre les associations végétales et les conditions édaphiques. Si la nature du sol influe bien sur la composition floristique, réciproquement, il ne peut y avoir de pédogénèse sans le concours de la végétation. Il est important de retenir qu'il y'a une réciprocité d'action entre le sol et la végétation et on a trop tendance à l'oublier.

« La méconnaissance du rôle de la végétation sur le sol est assez répandue et se trouve à l'origine de regrettables erreurs ». (**Guinochet, 1973 in Saidi, 1984**).

3.3. L'application de techniques inappropriées :**3.3.1. Sylviculture:**

L'application des coupes rases, des techniques des fortes éclaircies et du traitement du taillis simple et de la futaie régulière engendre une perturbation profonde des écosystèmes forestiers, dans la mesure où ces pratiques entraînent une modification radicale dans les structures et architectures, ainsi que dans les conditions microclimatiques et édaphiques (**Arfa Azzedine, 2008**).

En Algérie, les travaux forestiers, tels que le démasclage, l'élagage, les coupes et les opérations de reboisement, sont confiés à des entreprises qui recrutent des ouvriers non spécialisés. Les travaux mal entrepris ont des impacts nocifs sur le plan de la conservation des forêts et de la reforestation. Selon la même source (**Arfa Azzedine, 2008**), les coupes rases des peuplements forestiers, par exemple, engendrent un changement radical du microclimat, une minéralisation rapide de l'humus, une destruction de la structure du sol, un lessivage des

éléments nutritifs, une aridification et une érosion du sol,... d'où une forte diminution de la productivité ligneuse, un vieillissement précoce et un dépérissement sur pied du peuplement forestier sans être renouvelé par régénération naturelle. C'est bien le phénomène de la « désertification ».

Lorsqu'elles ne sont pas bien dosées, les coupes d'éclaircies et les opérations de nettoyage des forêts conduisent, elles aussi, aux mêmes résultats que les coupes rases. Elles détruisent les structures d'équilibre et les appauvrissent considérablement.

3.3.2. Agriculture:

En Algérie, la moitié environ de la S.A.U. est mise en jachère mettant momentanément les sols à nu. La S.A.U. par tête d'habitant estimé à 0,25 ha (1998), atteindra le chiffre inquiétant de 0,15 ha en 2020. En zone aride, les mises en culture représentaient 1,1 million ha en 1968 et ont atteint plus de 3,5 millions ha en 2002. A l'est du pays, la mise en culture est pratiquée sur de grandes étendues, il ne reste que quelques lambeaux de steppe. Au centre, la situation est alarmante. Dans les steppes occidentales, les terres emblavées sont relativement moindres (**MATE, 2003**).

Les utilisations non raisonnées de certains outils, équipements et technique agricoles sur des sols en pente ou fragiles et le recours au défrichage en vue d'élargir les superficies agricoles, ont souvent provoqué les résultats inverses à ceux escomptés. De même que la réalisation de certaines cultures ou plantations arboricoles mal adaptées au sol (**MATE, 2003**). (**Abdelguerfi et Ramdane, 2003**) notent que comme tout moyen de production, la terre s'use et demande à être recapitalisé.

3.4. Le braconnage et l'extermination de la faune sauvage :

3.4.1. Le non-respect de la réglementation et de la législation forestière:écimage des arbres, le ramassage des menus-produits ...etc.

3.3.2. Les attaques parasitaires liées à la dégradation:

D'après (**Arfa Azzedine, 2008**), le dépérissement des forêts par l'attaque de parasites (fig.3) touche essentiellement la pineraie à pin d'Alep mais aussi d'autres essences telles que le cèdre, le chêne et le thuya. Un réseau de postes d'observation dans les zones infestées permet le suivi du cycle du parasite et des conséquences de ses attaques sur l'hôte.

En Algérie, selon le même auteur, des dépérissements d'arbres par d'autres parasites que la chenille processionnaire « *Thaumetopoea pityocampa* » (chêne-liège, eucalyptus, pin d'Alep), *Phoracanta semi punctata* et *Lymantria dispar* sont constatés.

A travers les dernières statistiques de la **FAO (2010)**, les chiffres concernant les maladies ont

été estimés sur la base des rapports établis par la Direction Générale des Forêts et le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Le principal insecte ravageur des forêts est sans doute la chenille processionnaire du pin. La superficie infestée entre 2003 et 2007 est estimée à 1.077.350 ha, soit une moyenne annuelle de 215 470 ha. Selon la même source, la diminution des superficies touchées par les maladies s'explique par le fait qu'un dispositif important a été mis en place pour lutter contre les différentes maladies et attaques parasitaires notamment contre la chenille processionnaire du Pin. Il est à noter que durant les années 2004 et 2005, le dispositif de la DGF a vu ses capacités orientées plutôt vers la lutte anti acridienne.

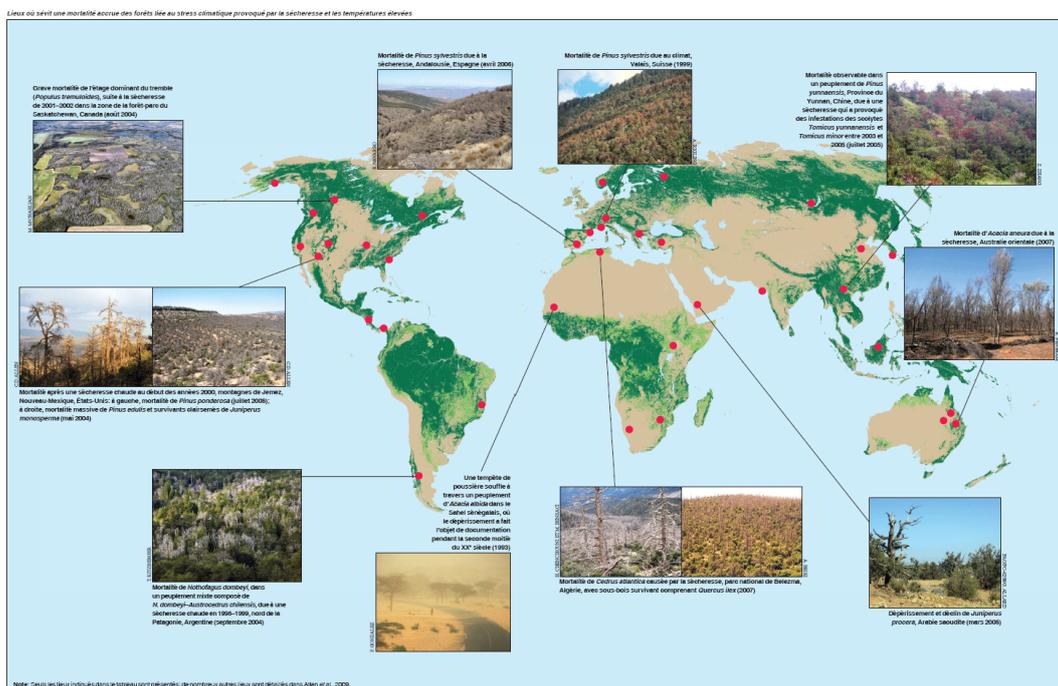


Figure n° 5 : Le modèle de dépérissement et attaques parasitaires des arbres forestiers (Thabet, 2008).

L'ensemble de ces facteurs défavorables à l'épanouissement des écosystèmes végétaux concourent à:

- La surexploitation des matières premières d'origine végétale ;
- La dégradation des peuplements forestiers ;
- L'absence de la régénération naturelle ;
- Peu de réussite des surfaces reboisées ;
- La mise en péril de la diversité biologique ;
- Les pollutions des eaux suite à l'usage des pesticides, ce qui entraîne la mortalité de certaines plantes ;

- La réduction en superficie des espaces générateurs d'emplois et de ressources de vie pour les populations rurales riveraines de la forêt ;
- L'érosion et la désertification ;
- L'envasement des plans d'eau.

En Algérie, l'action anthropique reste le principal facteur de dégradation du couvert végétal. La conservation de ce dernier est essentielle pour assurer la pérennité d'un patrimoine génétique en espèces et sous espèces essentielles pour l'avenir.

4. Le besoin d'un outil d'observation synoptique

L'étude de la végétation est l'une des préoccupations essentielles à l'heure actuelle en raison de son intérêt en tant que ressource biologique. La surveillance de la dégradation des milieux naturels s'appuie inévitablement sur des études diachroniques afin de déceler les changements physiques et biologiques qui affectent les composantes de ces paysages. La dégradation, et inversement la restauration de ces derniers, se traduisent, sur le terrain, par des modifications des composantes de la surface du sol, y compris la végétation.

Dans la quête d'indicateurs de cette dégradation et/ou restauration, nous nous sommes penchés sur l'apport des données satellitaires dans la détection et dans la compréhension des changements. En partant des spécificités que présentent les images satellites et les méthodes de traitement associées, nous allons essayer d'identifier et de caractériser la dynamique de la végétation observée sur le terrain.

II. Télédétection du couvert végétal**Introduction**

La télédétection se révèle être un outil tout à fait approprié pour étudier le fonctionnement et suivre l'évolution de la végétation. Grâce aux satellites il est possible en effet de cartographier les couverts végétaux à des échelles de temps et d'espace très variées. Selon UVED (2008), ils permettent en outre d'estimer le rayonnement solaire global, ainsi que certains paramètres caractéristiques des couverts végétaux, comme la quantité de biomasse, ou la fraction du rayonnement photosynthétique actif. Outils d'une meilleure compréhension des processus physiques et biologiques qui gouvernent la dynamique des écosystèmes végétaux, les données de télédétection peuvent aussi être utilisées pour s'informer sur les conséquences d'éventuels changements de la répartition des couverts végétaux, de façon à mettre en place des solutions de gestion plus durables.

1. Qu'est-ce que la télédétection ?

« C'est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans aucun contact matériel avec ceux-ci ». (Journal Officiel du 11 décembre 1980 in **Boulerie, 2008**).

Autres définitions :

La télédétection est l'ensemble des techniques et des méthodes qui permettent d'observer à distance la surface de la Terre, ou celle d'autres planètes. C'est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, « d'observer » et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. (**Soudani, 2005, J.O du 11 décembre 1980 in C.S.F.D, 2002, Ferdinand., 1996**) en utilisant les propriétés d'émission et de réflexion des rayonnements électromagnétiques à partir de vecteurs aéroportés ou satellitaires (**Douette. 2001, Girard. 1999, Bonn, 1996**). « C'est l'ensemble des connaissances et techniques nécessaires pour interpréter divers "objets" par leurs comportements spectraux (lumière et couleur) et leurs distributions dans l'espace terrestre à l'aide de mesures spécifiques effectuées à distance » (**Boulerie, 2008**). Elle permet, selon **Soudani (2005)**, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phytomasse, matière organique du sol,...),etc. En outre, la télédétection constitue le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un capteur, et consiste à mesurer un signal électromagnétique émis ou réfléchi par une cible.

A travers **CPS (2011)** “La télédétection est un moyen de recueillir des informations concernant la surface de la terre sans être en contact direct avec elle. La télédétection consiste à recevoir et enregistrer l’énergie émise ou réfléchiée par la surface de la terre. Elle suppose donc l’existence d’une source d’énergie électromagnétique, d’une cible et d’un capteur. La source peut être le soleil ou un satellite, selon le type d’énergie à capter” :

-La télédétection passive repose sur l’énergie naturelle – la lumière du soleil, par exemple – qui est réfléchiée par la surface de la terre, ou la chaleur émise à partir de la surface de la terre.

- La télédétection active utilise l’énergie émise par des satellites et renvoyée aux satellites par la surface de la terre. 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 (**Marc Robin ,2002**).

2. Domaines de la télédétection :

Si à la base les applications étaient plutôt militaires, de nombreuses disciplines utilisent les images satellites (Tableau I).

Tableau I : Domaines de la télédétection.

Domaines	Exemples d’applications
Géosciences	Géologie, pédologie, géomorphologie...
Météorologie	Vitesses des vents, précipitations, températures, détection des cyclones, orages...
Océanographie	Couleur de l’eau, turbidité, hauteur des vagues, courant marin, 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 / Ecologie	Classification de types de végétaux, étude de 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, relations avec les changements globaux...
Humanitaire	Pré-alerte de famines : réfugiés (camps)...
Catastrophes environnementales	Feux de forêts, éruptions volcaniques, sécheresses, marées noires...
Changements globaux	Désertification, variations climatiques, compositions de l’atmosphère...

Source : **UNIGE (2004), Peduzzi (2009)**.

3. Traitements en télédétection :

D’après UVED (2008), l’observation de la Terre par les satellites peut être décomposée en cinq étapes ou processus, depuis la source d’énergie qui éclaire la surface terrestre jusqu’à la réception des données par la station satellite au sol (fig.4).

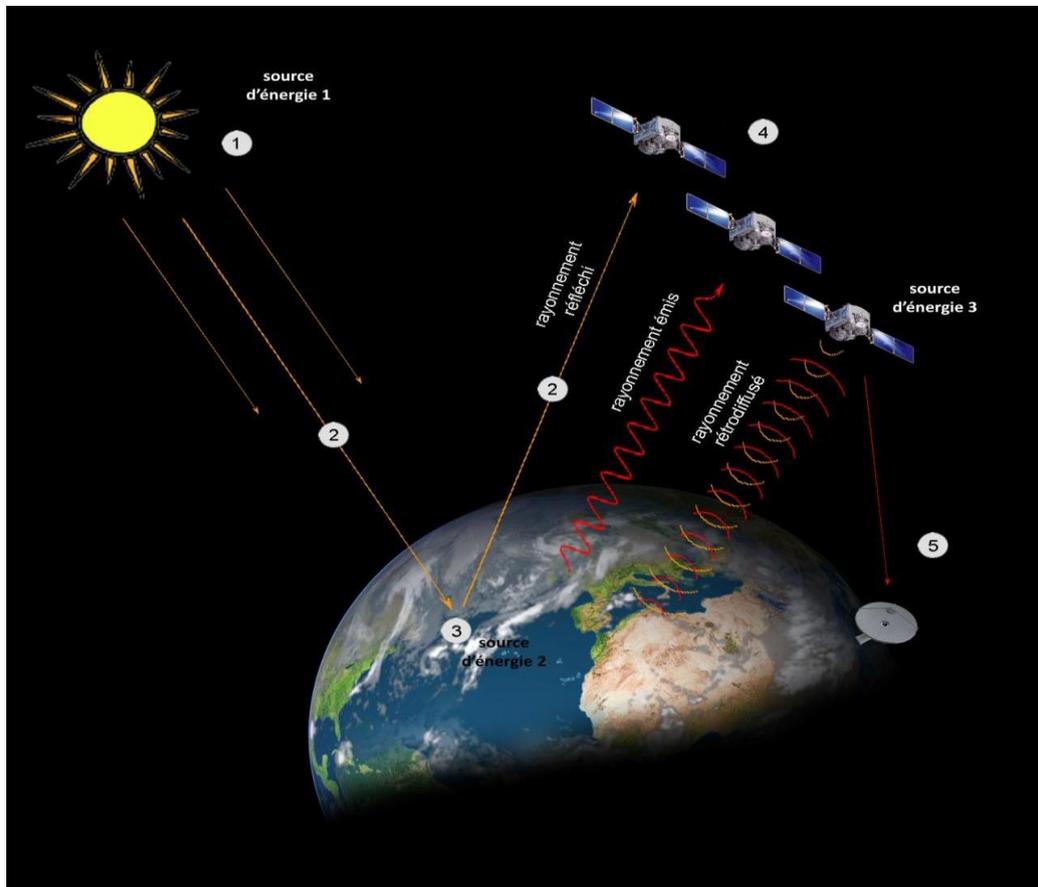


Figure n° 6 : Télédétection à l’aide des satellites (UVED, 2008).

3.1. La source d'énergie

Trois sources d'énergie sont utilisées en télédétection à savoir le soleil, la surface terrestre (domaine thermique ou celui des micro-ondes passives) et le capteur satellite (domaine des hyperfréquences).

3.2. Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère

Lors de son trajet de la source d'énergie vers la surface terrestre, puis de la surface vers le capteur satellitaire, le rayonnement interagit avec l'atmosphère.

3.3. Les interactions du rayonnement avec la surface terrestre

Lorsque le rayonnement parvient à la surface de la Terre, il va interagir avec celle-ci. La nature des interactions est fonction à la fois du rayonnement et des propriétés spectrales des surfaces.

3.4. L'enregistrement du signal par le capteur satellitaire

L'énergie réfléchi, émise ou rétrodiffusée par la surface de la Terre est captée puis enregistrée et discrétisée au niveau du capteur satellitaire.

3.5. La transmission et la réception des données

Une fois l'énergie reçue par le capteur, elle est transmise vers une station de réception et de traitement où elle est convertie en données numériques (CPS, 2011).

4. Le rayonnement électromagnétique : nature et propagation

La télédétection spatiale permet d'observer le système « terre /océans /atmosphère » en s'appuyant sur des méthodes d'acquisition de l'information à distance basées sur les propriétés du rayonnement électromagnétique. Les capteurs satellitaires permettent de mesurer l'énergie réfléchie et/ou émise par la surface de la terre, les océans ou par l'atmosphère et donc d'analyser et de suivre l'évolution de ces milieux au cours du temps (UVED, 2008).

4.1. Définition :

Le rayonnement électromagnétique correspond à l'ensemble des radiations émises par une source, sous forme d'ondes électromagnétiques, la répartition de ces dernières en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie, représente « le spectre électromagnétique » (fig.5).

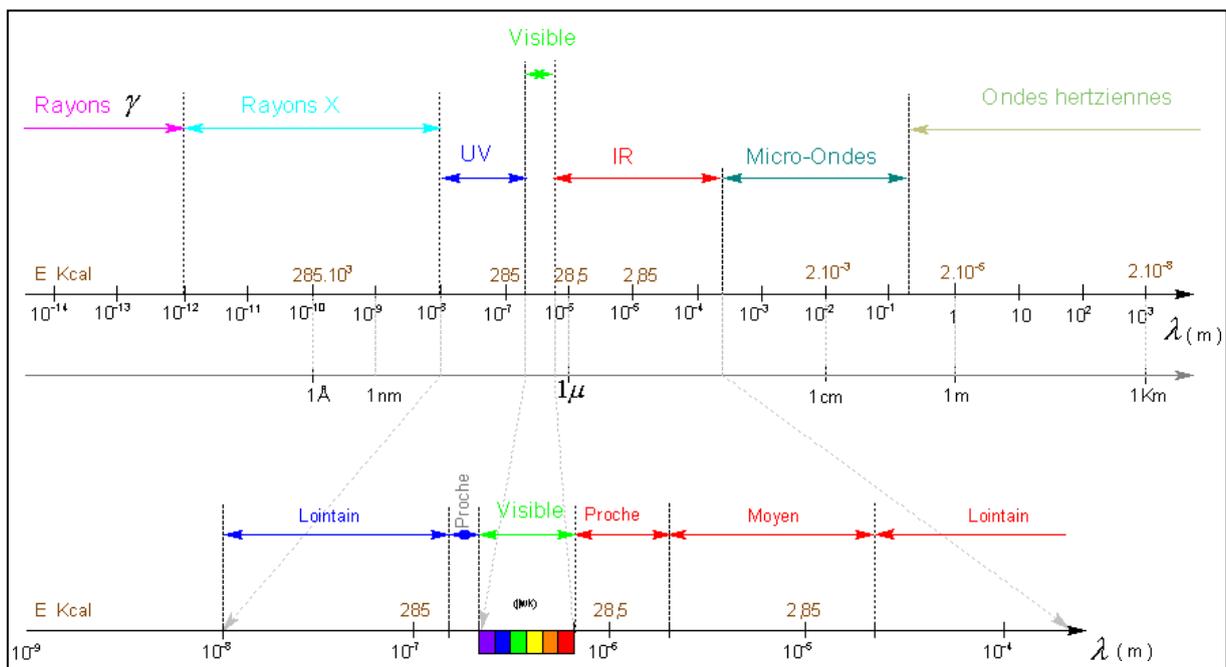


Figure n° 7 : Spectre électromagnétique (Moquet, 2003).

Le spectre électromagnétique est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Ainsi, lorsque la lumière passe à travers un prisme, elle se décompose en plusieurs couleurs constituantes (principe de l'arc-en-ciel). Si on applique cette division en fréquences constituantes à l'ensemble du rayonnement électromagnétique, on obtient le spectre électromagnétique complet. Les longueurs d'ondes vont alors de quelques nanomètres à plusieurs milliers de kilomètres (UVED, 2008).

En partant des ondes les plus énergétiques, on distingue successivement :

- Les rayons gamma (γ) : dus aux radiations émises par les éléments radioactifs. Longueur d'onde : 10^{-14} m à 10^{-12} m.
- Les rayons X : Longueur d'onde : 10^{-12} m à 10^{-8} m.
- Les ultraviolets : Longueur d'onde : 10^{-8} m à $4 \cdot 10^{-7}$ m.
- Le domaine visible : C'est dans ce domaine que le rayonnement solaire atteint son maximum ($0,5 \mu\text{m}$). Longueur d'onde : $4 \cdot 10^{-7}$ m (lumière bleue) à $8 \cdot 10^{-7}$ m (lumière rouge).
- L'infrarouge : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C). Longueur d'onde : $8 \cdot 10^{-7}$ m à 10^{-3} m.
- Les ondes radar ou hyperfréquences : Le domaine des hyperfréquences s'étend sur des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre jusqu'au mètre.
- Les ondes radio : Concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km.

Contrairement à l'œil humain qui n'est capable de capter le rayonnement que dans une fenêtre très étroite du spectre électromagnétique ($0,4\mu\text{m}$ et $0,7\mu\text{m}$), les capteurs satellitaires utilisent une fraction beaucoup plus étendue (fenêtres spectrales) (fig. 6):

- Le domaine du visible ;
- Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen et IR thermique) ;
- Le domaine des micro-ondes ou hyperfréquences (téledétection RADAR).

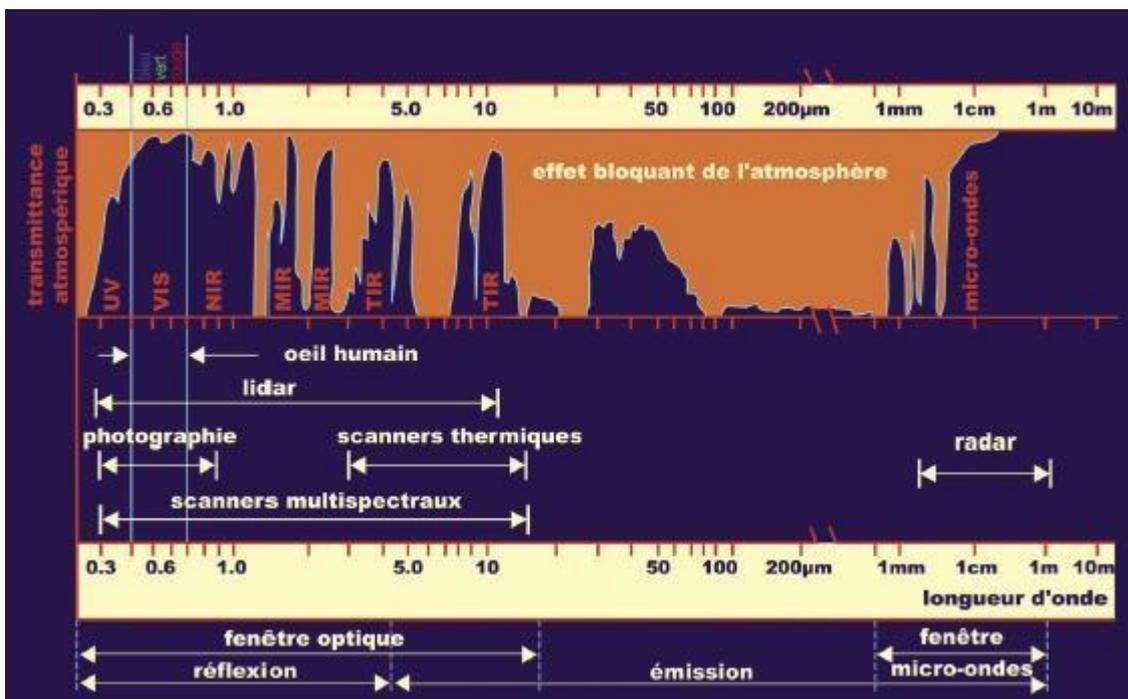


Figure n°8: Fenêtres atmosphériques (Lillesand et al, 2004).

Les fenêtres atmosphériques sont des régions du spectre électromagnétique qui ne sont pas absorbées de façon importante par l'atmosphère et qui sont utiles pour la télédétection.

4.2. Interactions du rayonnement électromagnétique :

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique atteint un objet, certaines longueurs d'onde sont absorbées tandis que d'autres sont réfléchies par l'objet. Une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise à travers l'objet si celui-ci est plus ou moins transparent, avec un changement de direction de la propagation du à la réfraction. La partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur qui sera réémise sous forme d'un rayonnement à une plus grande longueur d'onde.

Tout rayonnement (fig. 7), affectant une matière donnée, est absorbé, réfléchi ou transmis de façon à répondre à la relation :

$\alpha + \tau + \rho = I.$

Où :

α = Absorption;

τ = Transmission ;

ρ = Réflexion.

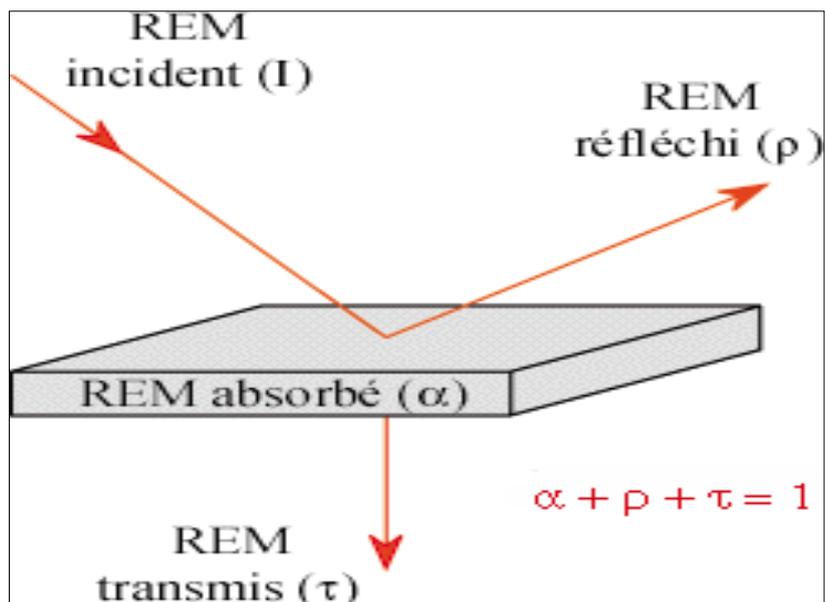


Figure n° 9 : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière« absorption, réflexion, transmission » (Bonn et Rochon, 1993).

5. Signatures spectrales des principales surfaces naturelles

En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible. Chaque surface possède ainsi une signature spectrale (quantité d'énergie émise ou réfléchi en fonction de la longueur d'onde) qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles.

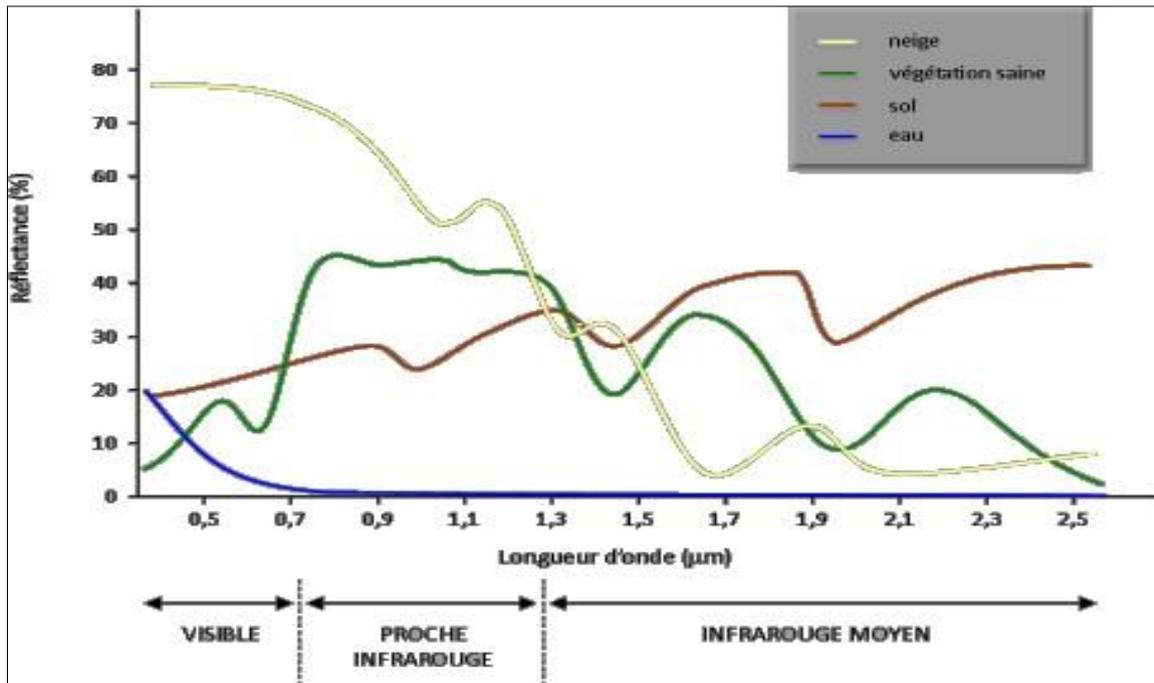


Figure n°10 : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (UVED, 2008).

5.1. Signature spectrale des sols

En ce qui concerne la signature spectrale des sols, selon **UVED (2008)**, on note un accroissement régulier de la réflectance au fur et à mesure qu'on se déplace vers les grandes longueurs d'onde. Les discontinuités que l'on observe dans le proche infrarouge et l'infrarouge moyen sont dues aux bandes d'absorption de l'eau. L'étude des propriétés spectrales des sols est toutefois particulièrement complexe car elle doit tenir compte de la nature hétérogène du sol qui contient à la fois des matières minérales et organiques, mais aussi une composante liquide, tous ces éléments vont influencer la réflexion du rayonnement.

Fonctions à la fois de la composition minérale et organique des sols, de leur contenu en eau et de la rugosité, les propriétés optiques des sols peuvent présenter une variabilité considérable. Une augmentation de l'humidité du sol entraîne une baisse de la réflectance sur tout le spectre, de même qu'un accroissement de la rugosité (obscurcissement par effet d'ombre) (**Girard et Girard, 1989**).

5.2. Signature spectrale de l'eau

L'eau a une réflectance très faible dans toutes les longueurs d'onde, elle absorbe cependant un peu moins les ondes les plus courtes, d'où sa couleur bleue. Sa signature spectrale dépend à la fois des molécules qui la constituent, mais aussi des éléments dissous ou en suspension dans la colonne d'eau, comme les organismes phytoplanctoniques, les sédiments ou les substances jaunes (**Gower et al., 1988**).

5.3. Signatures spectrales de la végétation :

Comme nous pouvons le constater sur la figure 08, et selon **Moquet (2003)**, la végétation en générale possède une réflectance :

Très faible dans le rouge (~660nm) et le bleu (~450nm) ;

Faible dans le vert (~546nm) ;

Élevée dans le proche infrarouge (0,7-1 μm).

Ces valeurs peuvent varier en fonction de la teneur en eau de la plante, de la structure des feuilles, de leur densité, âge... (**Guyot, 1984**).

L'identification et le suivi des couverts végétaux repose sur la réponse spectrale des surfaces dans les différentes longueurs d'onde et donc sur la notion de signature spectrale.

5.3.1. Variations de la signature spectrale de la végétation :

Lorsqu'on étudie la végétation par télédétection, les variations de la réflectance mesurées au niveau du capteur satellitaire sont, non seulement liées à la structure des formations végétales, mais aussi aux propriétés optiques des feuilles.

5.3.1.1. Caractérisation de la structure d'un couvert végétal

La structure d'un couvert végétal prend en compte à la fois des paramètres de structure de la canopée, comme l'indice de surface foliaire ou l'angle d'inclinaison des feuilles, et l'organisation spatiale des peuplements, leur agencement, leur densité, ainsi que le taux de recouvrement du sol selon le stade phénologique (fig.11).

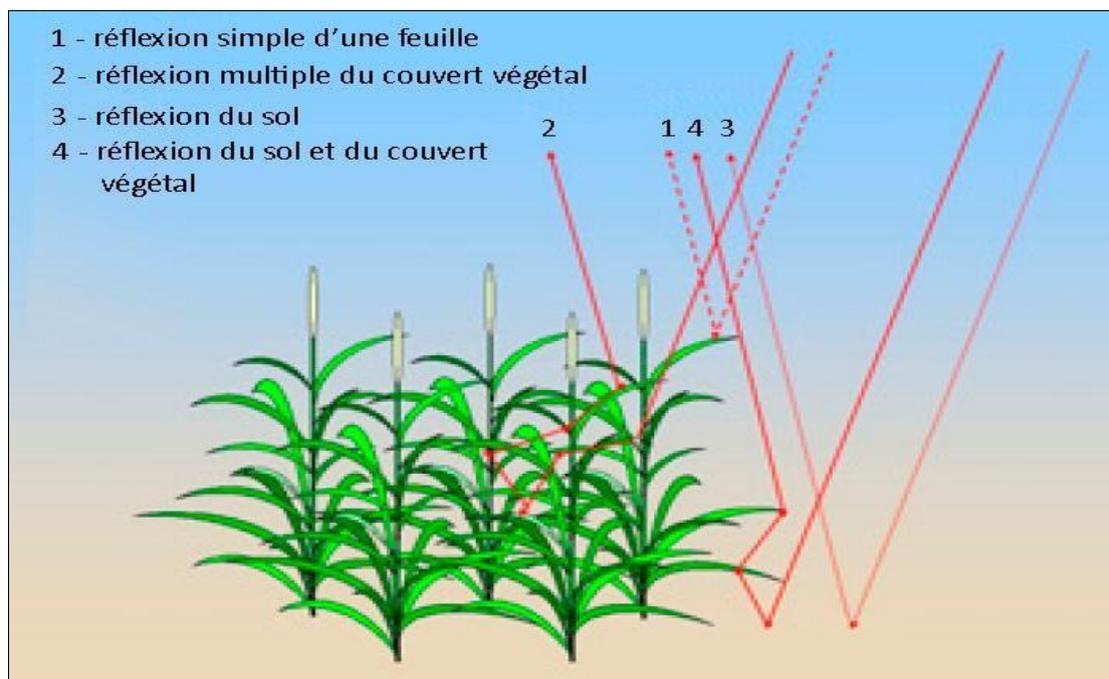


Figure n° 11 : Illustration des interactions entre le sol et la végétation, intégrées au niveau de la mesure satellitaire (**Fensholt, 2003**).

Lorsque la végétation est peu couvrante, la réponse spectrale des plantes est affectée par la réflectance des sols. Les interactions du rayonnement entre la végétation et le sol sont si complexes qu'il est très difficile de corriger l'influence perturbatrice du sol. Le signal mesuré par le capteur intègre généralement les réflectances du sol et de la végétation (Huete, 1989).

5.3.1.2. Les propriétés optiques des feuilles :

Selon UVED (2008), les propriétés optiques des feuilles sont liées à leurs caractéristiques biochimiques (teneur en pigments, structure cellulaire, teneur en eau, état physiologique, etc.) qui correspondent aux grands domaines spectraux du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (fig.10) :

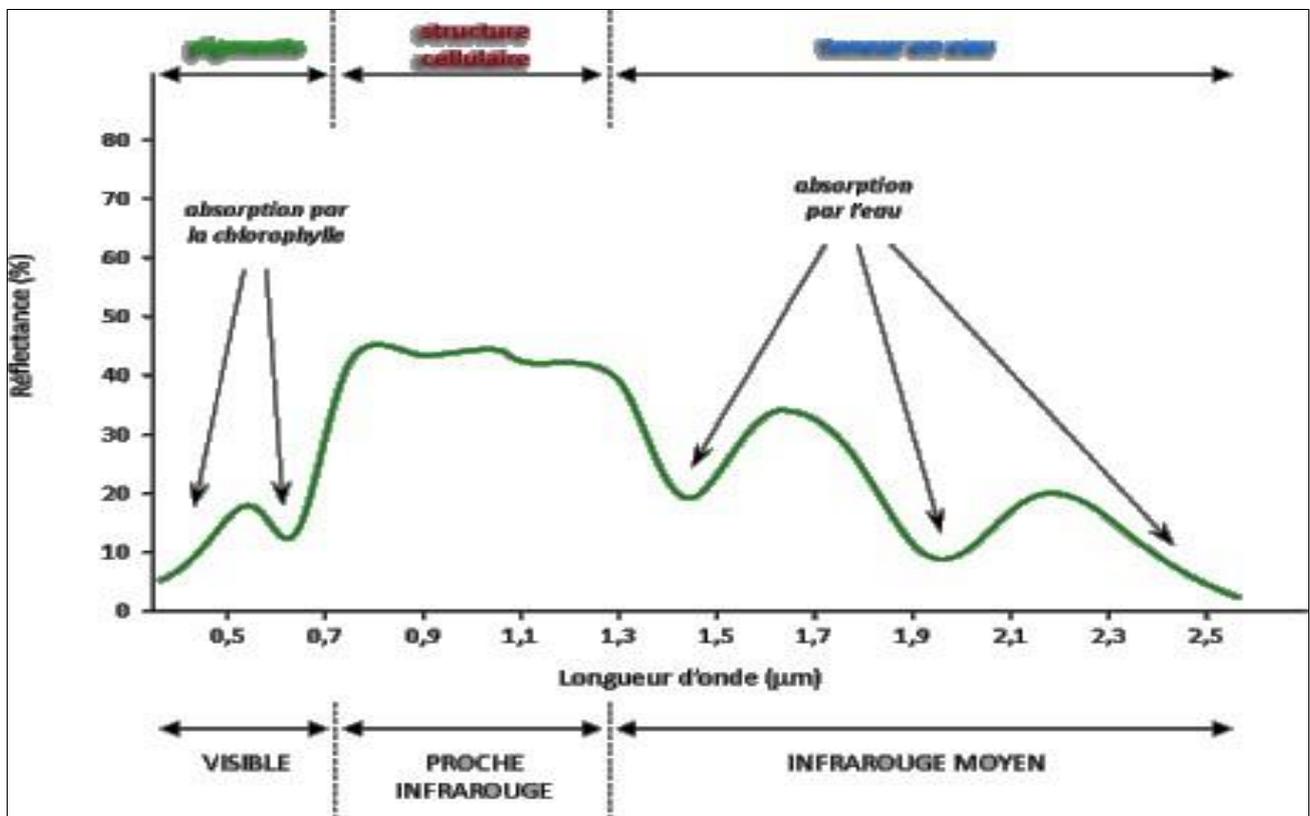


Figure n° 12 : Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen (UVED, 2008).

5.3.1.3. Les pigments foliaires

La présence des pigments foliaires dans les végétaux est responsable de la forte absorption du rayonnement visible, avec un maximum relatif de réflectance autour du vert (550 nm).

5.3.1.4. La structure cellulaire des feuilles

La structure anatomique des feuilles joue un rôle très important dans la signature spectrale de la végétation. Les longueurs d'onde bleue et rouge sont absorbées par la chlorophylle, les vertes sont très faiblement réfléchies par la feuille, le rayonnement PIR est fortement réfléchi par le parenchyme lacuneux (Adapté d'après **Jensen, 2000**), il est d'autant mieux réfléchi que ce dernier est bien développé (fig.11).

La réflectance dans les bandes rouges et proche infrarouge est directement liée à la biomasse végétale. Il est donc possible de déterminer radiométriquement cette biomasse en utilisant l'information contenue dans ces deux bandes spectrales, en utilisant des indices de végétation.

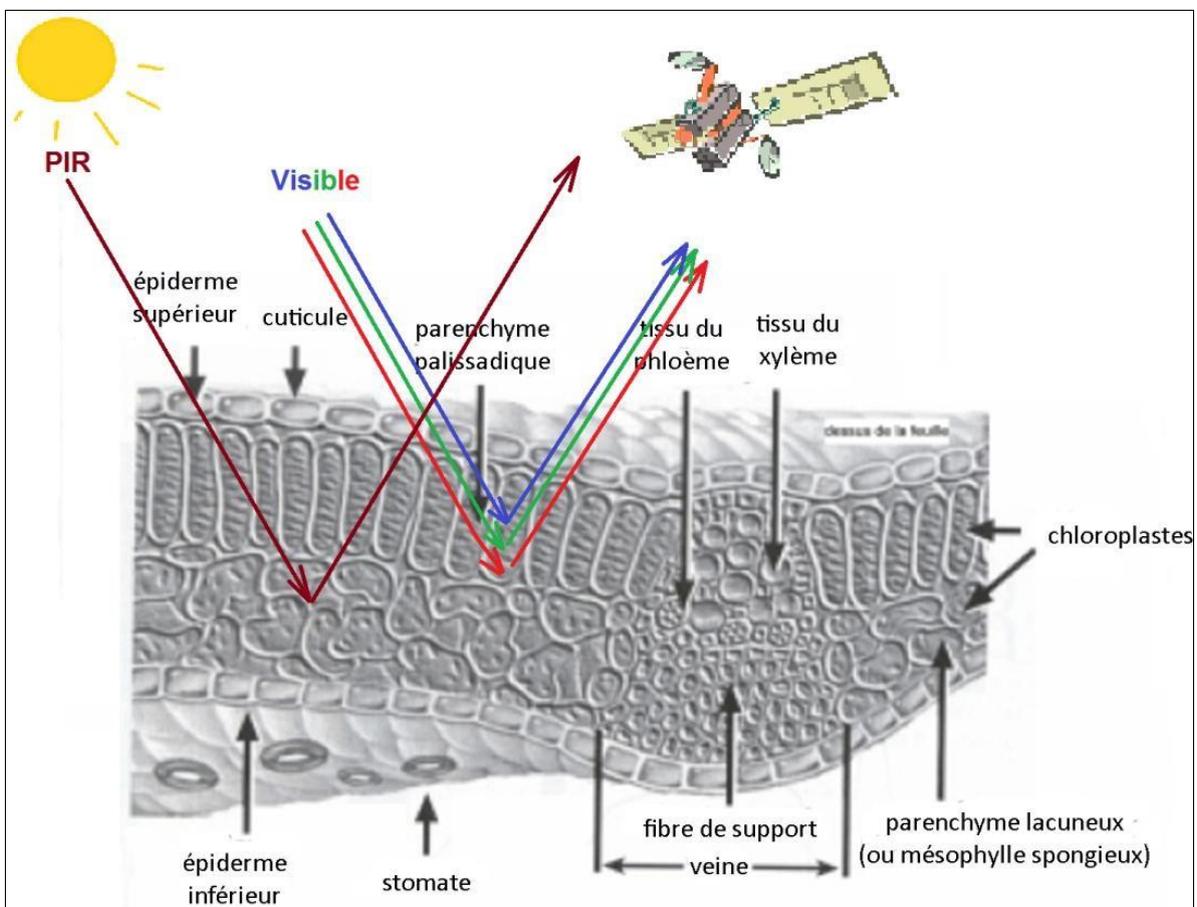


Figure n°13 : Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale.

5.3.1.5. L'influence de la teneur en eau :

Plus la teneur en eau est forte, plus la réflectance de la végétation diminue, en particulier aux longueurs d'onde 1450 nm et 1900 nm (bandes d'absorption de l'eau). Ce domaine de longueur d'onde est très utile en télédétection des couverts végétaux, il permet notamment de détecter les plantes en état de stress hydrique.

Limite :

A côté des facteurs propres aux couverts végétaux, d'autres types de facteurs externes aux ceux-ci, vont également avoir une influence sur la réponse spectrale de la végétation. Il s'agit en particulier de l'angle solaire (position et hauteur du soleil), l'angle de visée (plus l'angle de visée est important, plus la proportion de sol nu visible diminue) et l'atmosphère (teneur en poussières et aérosols).

5.3.2. Autres types de variations de la signature spectrale :

La réflectance de la végétation varie non seulement en fonction des types de végétation (fig.12), mais également selon l'état physiologique d'une plante (fig.13).

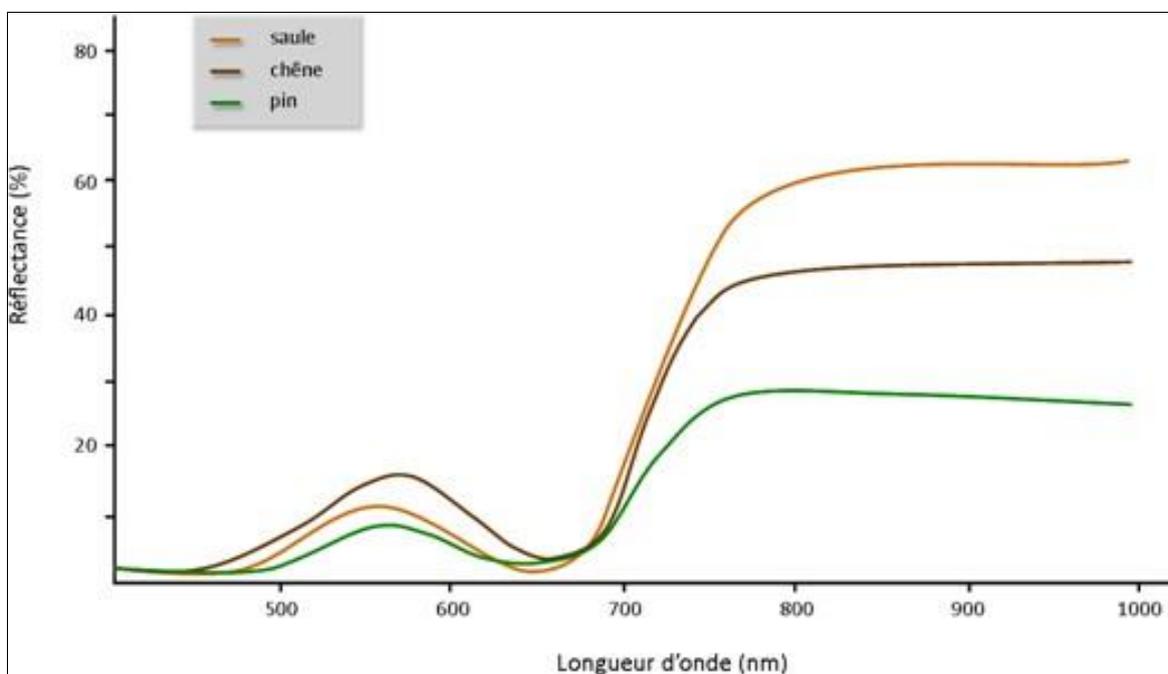


Figure n°14 : Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation (UVED, 2008).

La signature spectrale de la végétation dans le visible ne varie pratiquement pas quel que soit le type de végétal. On note des différences sensibles dans le proche infrarouge, liées à la structure du parenchyme lacuneux, où les résineux ont une réflectance moins importante que les feuillus.

Les changements physiologiques qui accompagnent la croissance d'une plante, depuis la phase de maturation jusqu'à sa sénescence, influent fortement sur la signature spectrale de la végétation (fig.14).

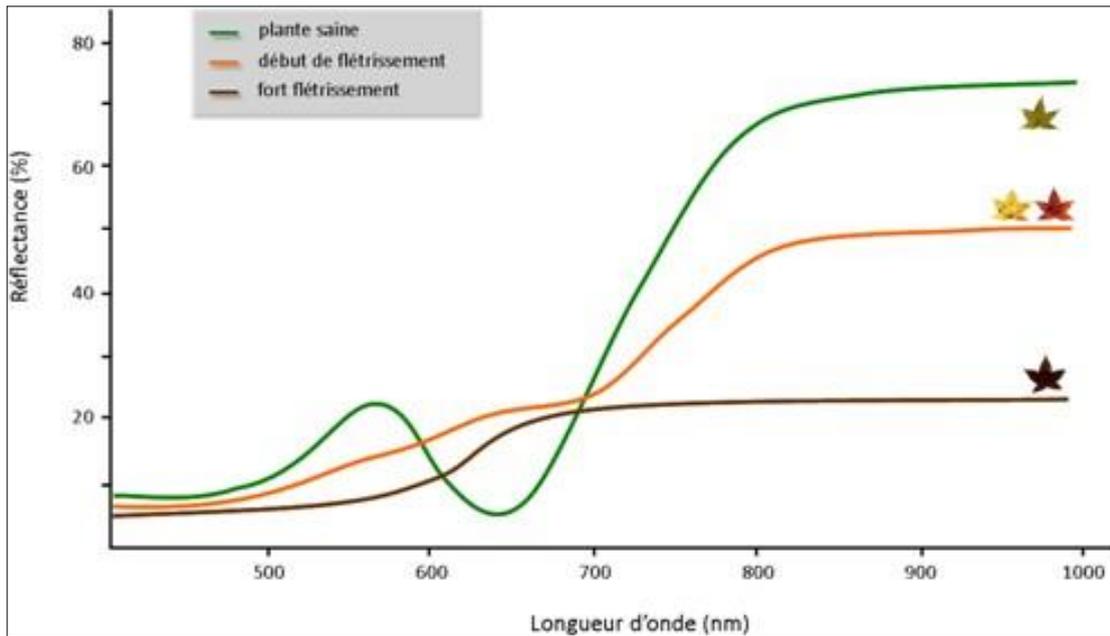


Figure n° 15 : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation (UVED, 2008).

On observe une sensible augmentation de la réflectance dans les grandes longueurs d'onde du visible (jaune - rouge), résultat de la réflectance des pigments foliaires, et une diminution de la réflectance dans le proche infrarouge (état de plasmolyse, entraînant une déstructuration des couches cellulaires).

Remarque : On va parler de comportement spectral de la végétation au lieu de signature spectrale pour bien montrer que la réflectance de la végétation n'est pas constante.

6. Analyse d'une image

L'étude de la dynamique du couvert végétal est axée sur la bonne représentation des unités principales sur une image. Leur variation hétérogène spatiale, spectrale et temporelle exige de les présenter de façon homogène pour mieux interpréter les objets d'une image et tout un processus de changement observé. Cette représentation dite « classification » est utilisée pour la production de cartes thématiques où elle offre une analyse plus détaillée de l'image. Elle peut être effectuée sur un ou plusieurs canaux d'une image pour séparer les divers éléments d'une image en fonction de leurs caractéristiques de rétro diffusion ou de signature spectrale. En traitement numérique des images, on distingue :

6.1. Classification non supervisée :

C'est classer les données d'image numérique, par traitement informatique basé uniquement sur les

statistiques d'image sans recours à des échantillons d'entraînement. Cette classification produit un regroupement naturel des pixels de l'image que l'on nomme "regroupement spectral" ou "classe", (les régions de l'image ayant une même signature spectrale ont un type d'utilisation du sol similaire). L'analyste doit ensuite déterminer l'identité de ces regroupements spectraux. Les principaux algorithmes de classification non dirigée sont : le regroupement par moyenne-K (**K-means**), le regroupement par ISODATA (**Girard, 1989**).

6.2. Classification supervisée :

Procédure utilisée pour l'identification de zones «spectralement similaires » d'une image. On identifie d'abord des sites d'entraînement dont on extrait la signature spectrale et à partir desquels on extrapole pour le reste de l'image. Selon **Duminil (2007)**, ces sites d'entraînement servent de base pour les calculs des algorithmes de classification.

6.3. Indices de végétation:

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

Les indices de végétation, comme tous les autres indices, reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Ils 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 (la biomasse, l'indice de surface foliaire...etc).

6.3.1. Principe:

Le calcul des indices s'appuie essentiellement sur les écarts de réflectance constatés dans les différentes bandes spectrales, ainsi que sur la variabilité des réflectances au sein d'une même bande spectrale, qui traduisent des surfaces de nature différente. Par conséquent, on utilise principalement les différences des propriétés optiques de la végétation dans le rouge et le proche infrarouge.

Les réflectances dans le proche infrarouge augmentent avec la présence de la végétation (forte réflexion par le parenchyme lacuneux), tandis que celles dans le rouge diminuent (pic d'absorption de la chlorophylle).

6.3.2. Principaux indices de végétation :

De très nombreux indices de végétation ont été construits et utilisés depuis maintenant une quarantaine d'années (**Bannari et al., 1995**). Ils prennent la forme soit d'expressions très basiques (simple différence ou simple ratio), soit de formules beaucoup plus complexes.

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), etc.

Le tableau ci-dessous (tableau II) résume quelques uns des indices de végétation les plus couramment utilisés (Caloz et Puech, 1996; Gilabert et al., 2002; Girard et Girard, 1999).

Exemple :

L'indice de végétation par différence normalisé ou indice de Tucker (NDVI en anglais) (Rouse et Haas, 1973 ; Tucker, 1979), le plus connu et le plus utilisé. Son expression est la suivante :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R}) / (\text{PIR}+\text{R}) \dots\dots (\text{Rouse et al., 1974}).$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quelque soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence qui est très sensible aux variations d'éclairement.

Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

6.4. Autres indices :

Comme pour la végétation, il existe aussi des indices spécifiques pour les sols nus, comme l'indice de brillance. Celui-ci est construit à partir des bandes rouges et proche infrarouge selon l'expression :

$$\text{IBc}^2 = \text{V}^2 + \text{R}^2 + \text{PIR}^2 \dots\dots (\text{Manière et al., 1993}).$$

Il permet de faire clairement la distinction entre les surfaces végétalisées et les sols nus.

Les indices cités antérieurement ont été utilisés dans des applications très nombreuses et variées depuis l'apparition de la télédétection spatiale. Leur usage pour des estimations quantitatives soulève un certain nombre de questions qui peuvent limiter sérieusement leur utilité réelle s'ils ne sont pas correctement interprétés. Ils dépendent de nombreux paramètres (éclairage solaire, angles de visée, etc.) et sont perturbés par plusieurs facteurs (sensibilité aux effets atmosphériques, aux types de sols et à leur taux d'humidité) ce qui implique une très grande prudence quant à leur interprétation.

Tableau II : Indices de végétation définis à partir de données de télédétection.

Les indices simples	
$DVI = \rho_{PIR} - \rho_R$	Bacour <i>et al.</i> (2006)
$RVI = \frac{\rho_{PIR}}{\rho_R}$	Krieger <i>et al.</i> (1969) ; Jordan (1969)
$NDVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R}$	Rouse and Haas (1973) ; Tucker (1979)
Les indices de stress hydrique	
$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{PIR}}$	Hunt and Rock (1989)
$NDWI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{PIR} + \rho_{MIR}}$	Gao (1996)
Les indices prenant en compte l'influence des sols	
$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)$	Richardson and Wiegand (1977)
$SAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Huete (1988)
$TSAVI = \frac{a(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{PIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$	Baret <i>et al.</i> (1989)
$MSAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Qi <i>et al.</i> (1994)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$ARVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{rb}}{\rho_{PIR} + \rho_{rb}}$	Kaufman and Tanré (1992)
$GEMI = \eta(1 - 0.25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0.25}{1 - \rho_{rouge}}$	Pinty et Verstraete (1992)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$EVI = G \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$	Huete <i>et al.</i> (1999)
Les indices prenant en compte les températures de surface	
$TDVI = \frac{T_S - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$	Sandholt <i>et al.</i> (2002)

Source : Caloz et Puech, 1996; Gilabert et al., 2002; Girard et Girard, 1999.

Présentation de la zone d'étude :

1- Contexte régional et local de la zone d'étude

Nesmoth est une commune de l'ouest de l'Algérie appartenant à la daïra de Hachem wilaya de Mascara. Elle est située à 35 km de la ville de Mascara sur les monts de Saïda, c'est une commune rurale ayant des altitudes allant jusqu'à 1 200 m et couverte des forêts de chêne-liège et de cèdre de l'Atlas. Elle s'étend sur une superficie de 95 km² et compte une population de 6827 habitants(en 31/12/2018). La Densité de la population est de 69 habitants par km².

Elle s'inscrit entre les coordonnées géographiques suivantes : (X : latitude, Y : longitude)

X min = E 0° 21' 13,70", X max = E 0° 29' 33,69",

Y min = N35° 06' 17',30" Y max = N35° 21' 52,25";

Elle est limitée géographiquement par :

- Au Nord par la commune de Sidi Kada
- A l'Est, par la commune de Zelmata;
- A l'Ouest, par les communes de sidi Boussaid, Makda et Aouf;
- Au Sud, par la commune de Gharrous;

Les figures 16 suivant nous donnent les limites administratives de la zone d'étude (la commune de Nesmoth).

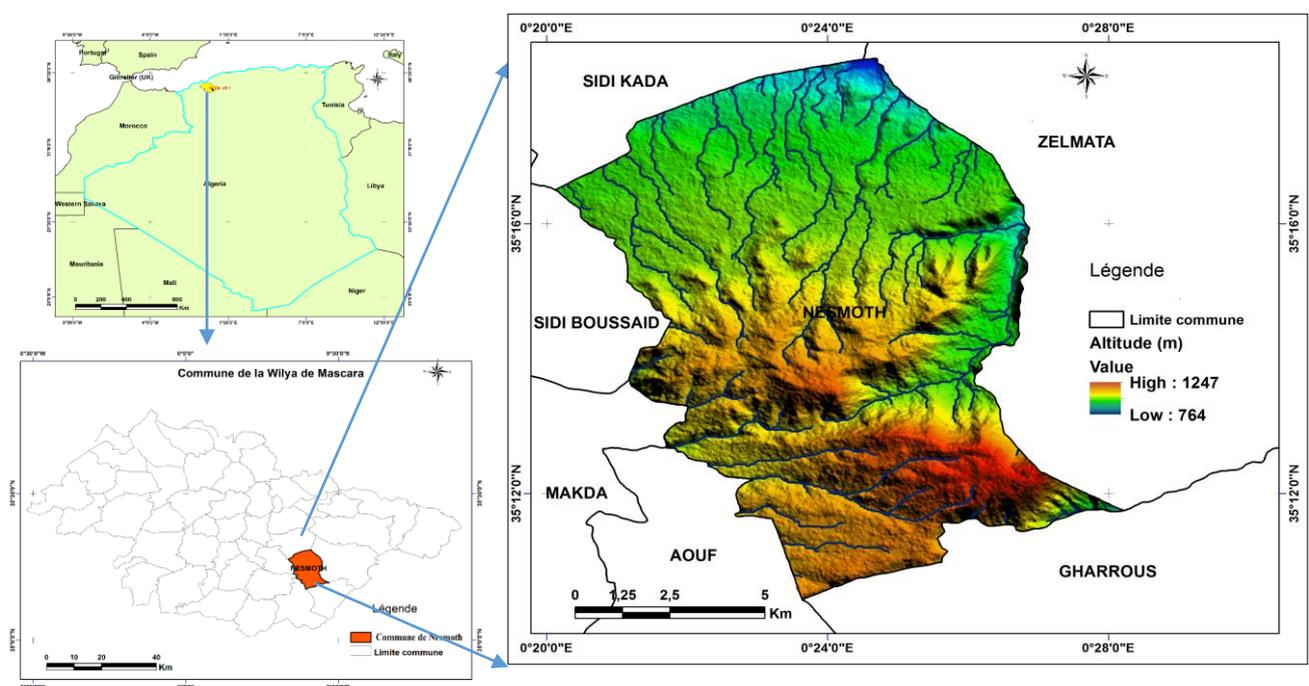


Figure n°16 : Localisation de la commune de Nesmoth dans la wilaya de Mascara. (Dr.Anteur)

2- Cadre géomorphologique

Le territoire de la commune de Nesmoth s'étend sur 95 Km², Il se présente d'une forme géomorphologiques plate.

La commune de Nesmoth est divisée en deux (02) zones distinctes du fait de l'eterogeneité du relief.

- a. Dans le Sud les monts de Saida .
- b. Au Nord une partie de la plaine de Ghriss . La figure 17 est constituée des unités topographiques hétérogènes.

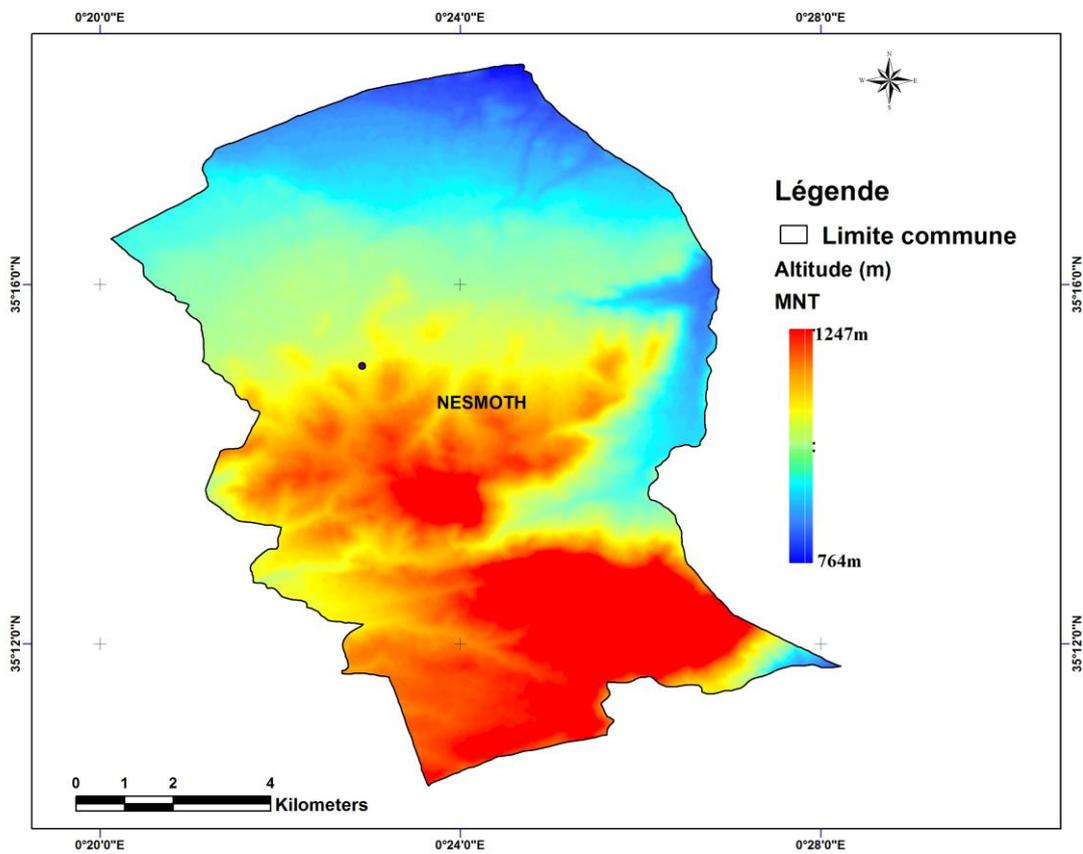


Figure n° 17 : Le modèle numérique de terrain de la commune de Nesmoth.
 (Source MNT, ASGTM, 12 mètres de résolution) (Dr.Anteur)

2.1 – Altitude

C'est une donnée intéressante pour caractériser une station car elle fait la synthèse de plusieurs phénomènes tels que la température, la pluviométrie ou l'ensoleillement.

Quand nous parlons des effets de l'altitude, il faut prendre aussi en considération les effets du versant et certaines situations de confinement qui ont un effet vis-à-vis du vent, du brouillard, mais peuvent aussi se comporter comme des « trous à gelées ».

Quand l'altitude augmente, les précipitations deviennent plus importantes mais les températures diminuent (d'environ 0,6°C/100 m) .C'est pourquoi elle constitue un facteur limitant pour le développement d'une essence.

D'après la carte hypsométrique de commune de Nesmoth son altitude est comprise entre 764 et 1247 mètres, Les altitudes minimales sont localisées au Nord et Nord-Est de l'ordre de 610 à 810 mètres tandis que les altitudes maximales entre 910 à 1138 mètre au Sud Ouest et Sud-est de la zone d'étude.

Carte hypsométrique de commune de Nesmoth est qui est jointe à ce travail a été construite la à une valeur intégrale qui fournit des renseignements précis, elle constituée des unités topographiques hétérogènes.

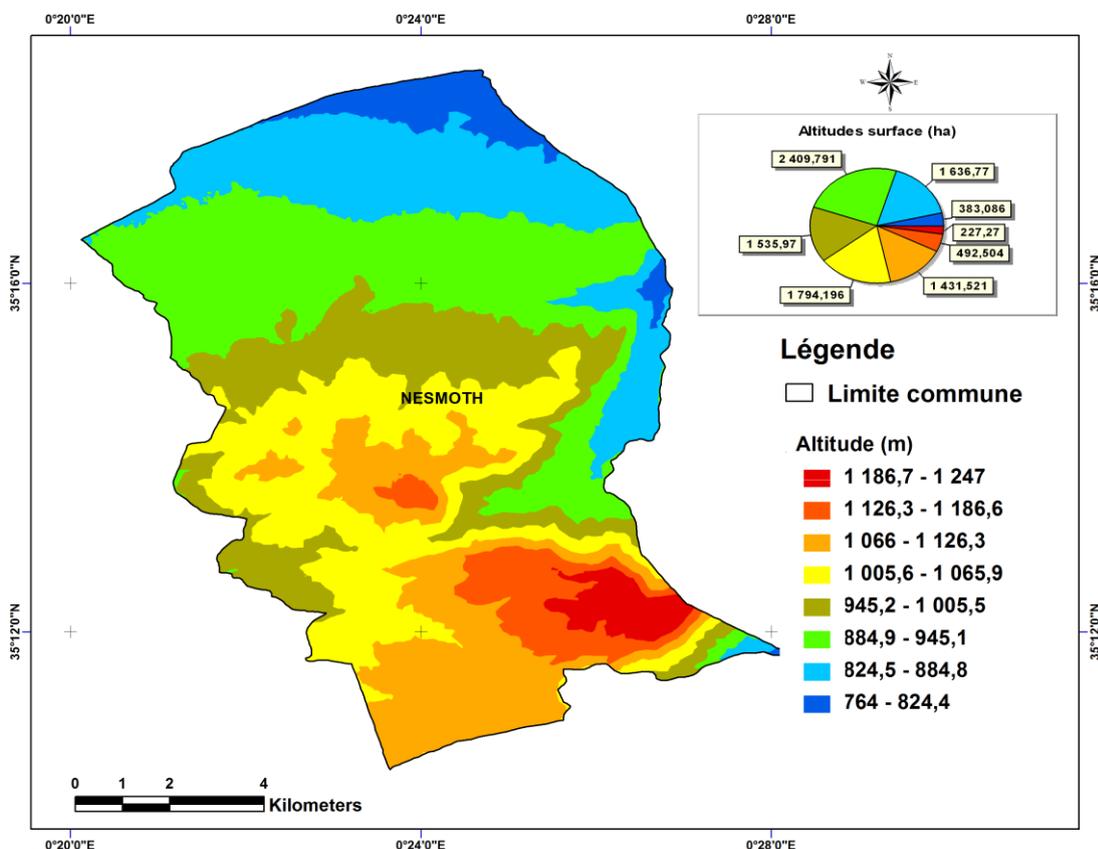


Figure n° 18 : Carte hypsométrique de la commune de Nesmoth. (Dr.Anteur)

(Source MNT, ASGTM, 12 mètres de résolution) (Dr.Anteur)

2.2- Le pente :

La réalisation de la carte des pentes a pour but d'illustrer une des principales caractéristiques physiques du territoire d'étude et de fournir donc des indications de base fondamentales pour la détermination de la vocation et de l'affectation future des terres.

La carte des pentes constitue un des éléments de base pour l'analyse des caractéristiques physiques qui déterminent l'aptitude des diverses zones. En effet, la potentialité et les limites d'utilisation du territoire dépendent dans leur majeure partie de la pente puisque celle-ci contribue à la détermination des possibilités d'érosion en relation avec d'autres facteurs tels que mécanisation des cultures, les modalités d'irrigation, les possibilités de pâturage, l'installation et le développement de la végétation de reforestation. Cette carte a été réalisée à partir du modèle numérique de terrain (MNT)

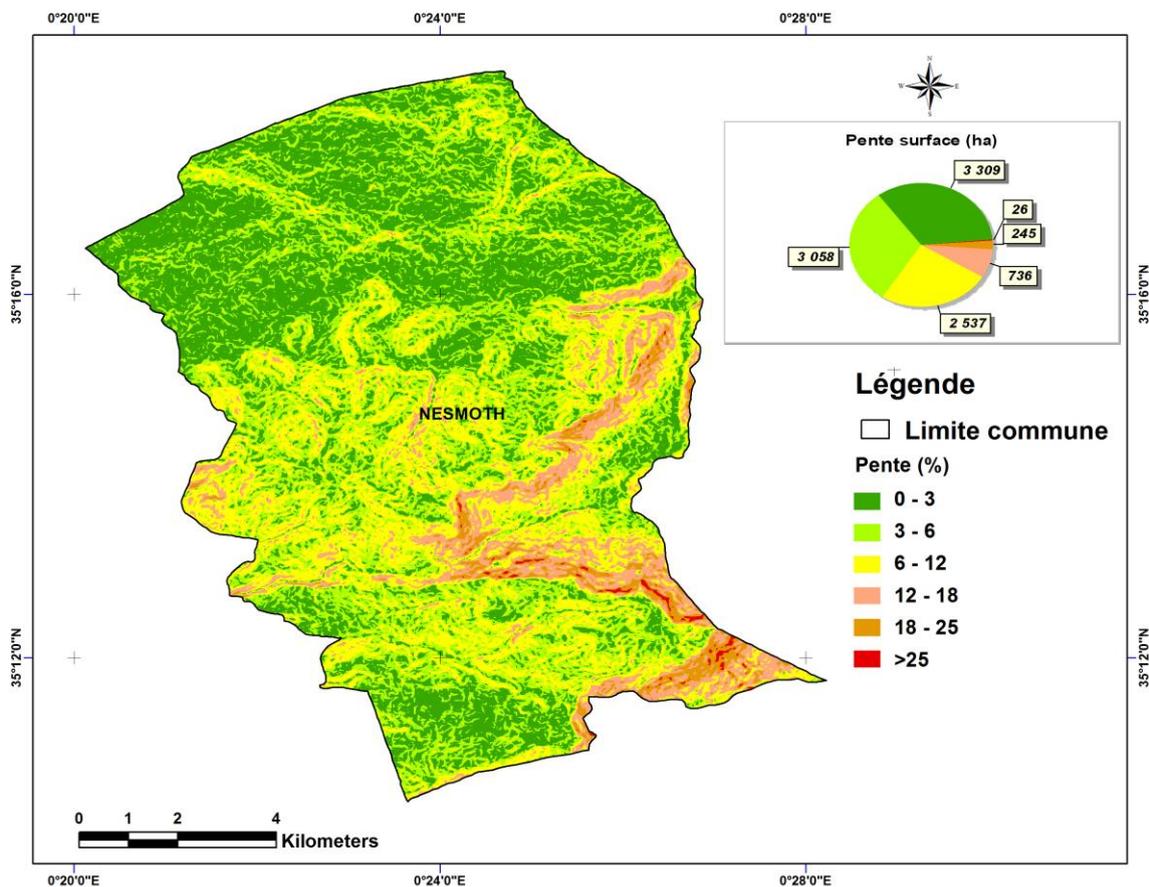


Figure n° 19 : La répartition des classes des pentes de la commune de Nesmoth.

(Source MNT, ASGTM, 12 mètres de résolution) (Dr.Anteur)

Généralement les pentes entre 0-3 % et 3-6 % caractérise l'ensemble des terrains ou la topographie est généralement plane. Ce sont les fonds de vallées, les plaines et les plateaux.

Les pentes entre 6-12% caractérisent le plus souvent les zones de piémonts qui sont le prolongement des massifs montagneux.

Les pentes de 12% et plus sont des prolongements de massifs montagneux, des hauts pieds monts, le risque d'érosion dans ces zones est très important.

2.3- L'exposition

L'exposition c'est l'angle que fait la structure par rapport à une direction donnée (Nord géographique). Cette orientation des versants a un effet sur la végétation par l'intermédiaire de l'ensoleillement et l'humidité. La carte d'exposition a été réalisée à partir du modèle numérique de terrain (MNT). Ce paramètre joue un rôle favorable sur l'exposition nord des versants (couvert végétal dense ou clair) et sur l'exposition sud le couvert est plus claire que la végétation de l'exposition nord .

On peut dire que la zone d'étude est orientée sur les quatre directions en égalités .l'exposition Nord peut avoir une importante d'humidité vue qu'elle reçoit l'air de la mer .Tandis que la partie orientée vers le sud et Est reçoit une quantité importante d'ensoleillement .Ces deux facteurs (ensoleillement; humidité) sont parmi les paramètres déterminant le type de végétation de la zone d'étude

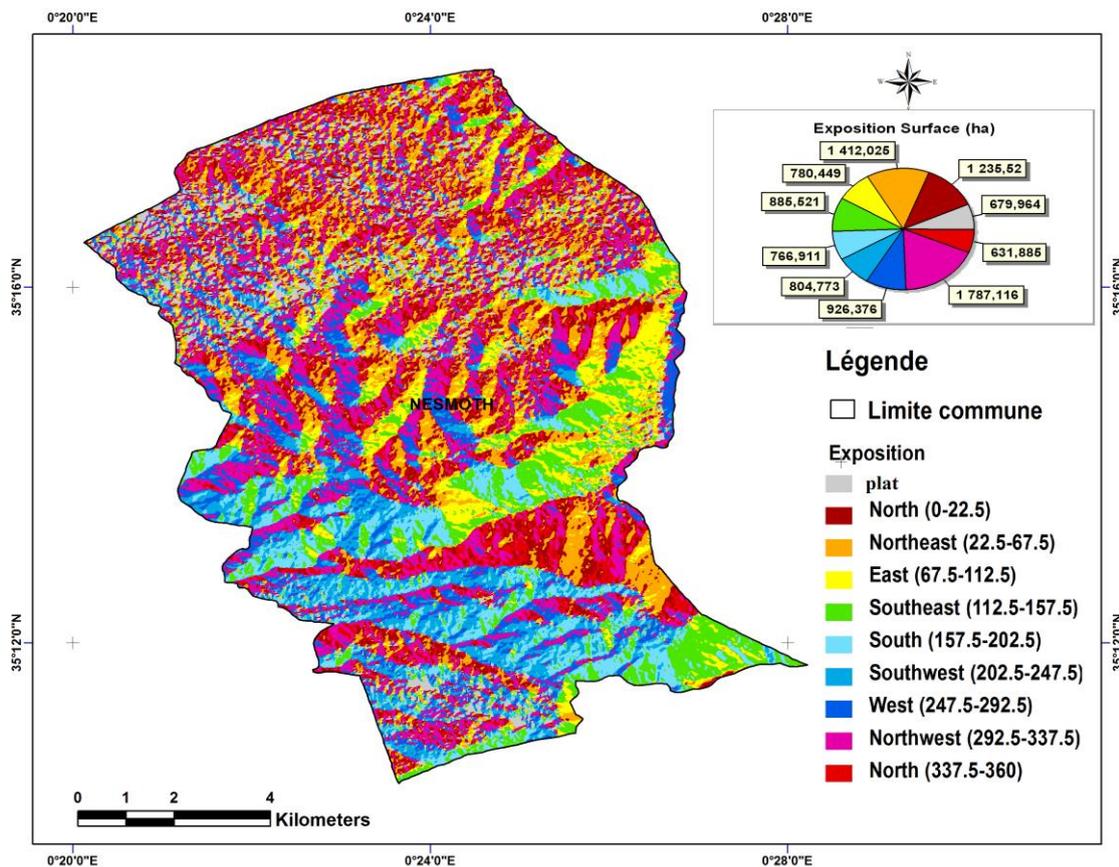


Figure n° 20 : La carte d'expositions de la commune de Nesmoth.

(Source MNT, ASGTM, 12 mètres de résolution) (Dr.Anteur)

2.4. Hydrologie

Un réseau hydrographie important parcourt la commune comme chaabat Courgaz, chaabat Yakouir, chaabat Saada et chaabat Tachta.

L'oued Froha est le plus important dans la commune qui se ramifie en oued Makda et chala barakane. Aux bas-fonds de la commune se trouvent huit sources : Ain Bab Ali, Ain Tacheta, AIN Griben, Ain Fréhate, Ain Sidi Refes, Ain Sidi Aouf, Ain Salamouche, Ain SafSaf. L'eau de ces sources est potable, alimentant les postes forestiers.

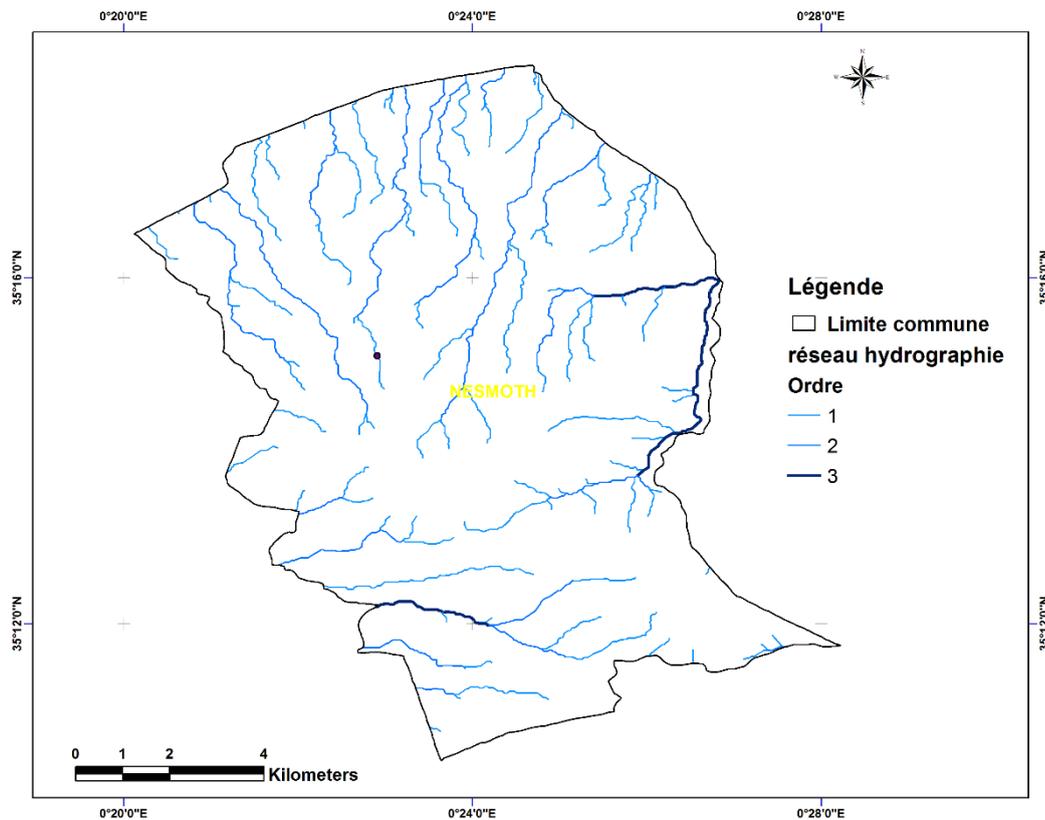


Figure n° 21 : Carte du chevelu hydrographique de la commune de Nesmoth, (Dr.Anteur)

2.5- Géologie et Pédologie

Le calcaire dolomitique constitue le substrat le plus fréquent dans la commune de Nesmoth. Ce substrat appartient au Crétacé inférieur présentant une certaine stabilité et résistance à l'érosion même en forte pente. Une grande partie des peuplements pousse sur un sol argilo-siliceux qui est assez profond et assez fertile. Dans les altitudes, le sol est caillouteux et rocheux ou siliceux, peu profond et peu fertile (C.F.W.M,1992).

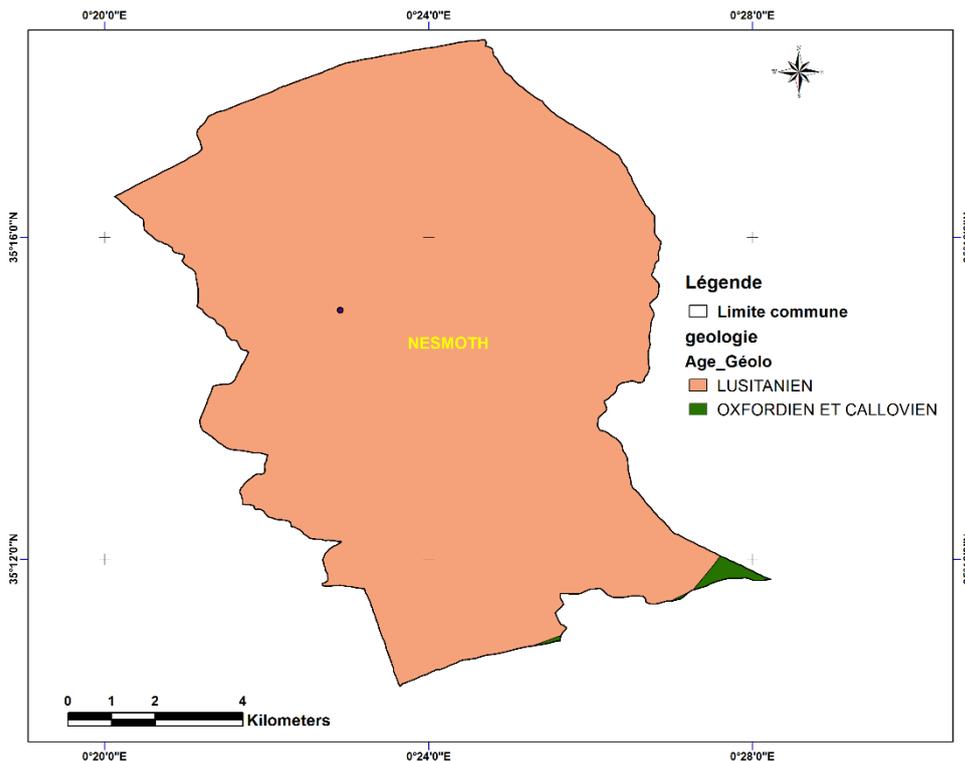


Figure n° 22 : Carte géologique de la commune de Nesmoth (Dr.Anteur)

3. Le climat

L'étude du climat est très essentielle pour suivre l'évolution de la végétation de n'importe quelle forêt. Il intervient fortement dans la formation et l'évolution du sol par les réserves hydriques qu'ils procurent aux végétaux. Durant les années humides ou secs, le climat agit directement sur le mode de fonctionnement des écosystèmes forestiers. Une année pluvieuse est synonyme d'une bonne vigueur des arbres et une productivité optimale des peuplements. Une année sèche et chaude consomme les réserves du sol et prive les arbres du carbone nécessaire à la photosynthèse et parfois anticipe le débourrement.

Pour caractériser le climat de notre zone d'étude étude, nous avons utilisé les données climatiques récentes de la station de Ghriss que nous avons comparé aux données ancienne (Seltzer, 1946)(Tab.1).

Tableau n° 1 : Caractéristiques de la station de référence et période d'observation :

Station	Latitude	Longitude	Altitude	Situation	Période d'observation
Ghriss	35°14'53"N	0°09'41"E	580m	Ouest de La wilaya	1982 - 2015

3.1-Paramètres climatiques

3.1.1-Précipitation

La répartition annuelle de la pluviométrie enregistrée dans la forêt durant la période de référence est représentée dans la figure 3.

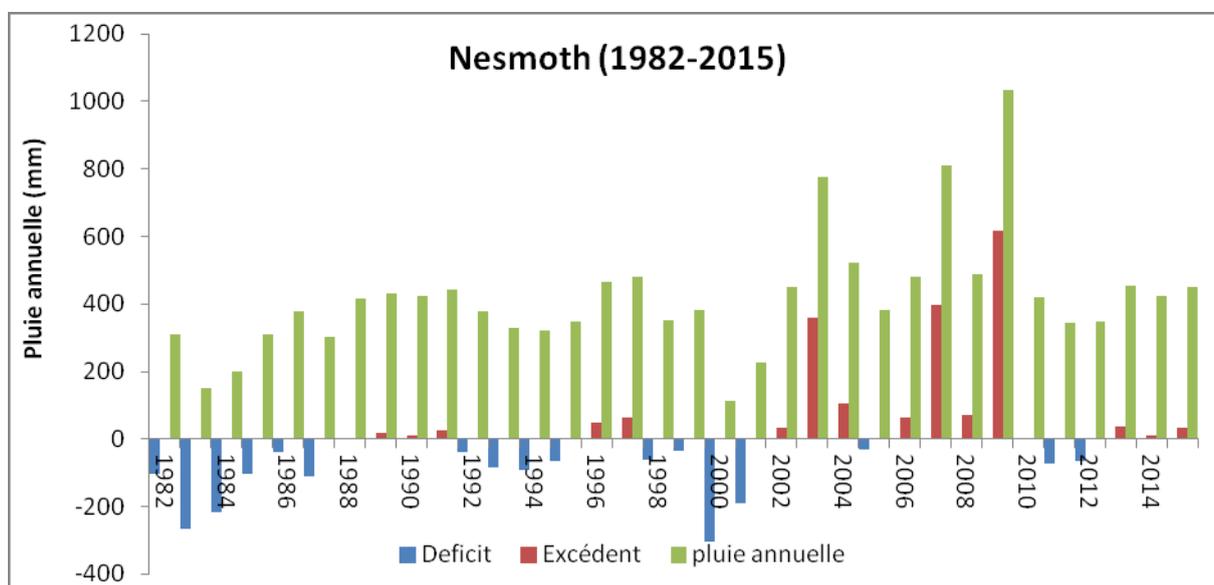


Figure n° 23 : Répartition annuelle de la pluviométrie dans la forêt de Nesmoth (1982- 2015)

La figure 3 montre que durant la période 1982-2015, la commune de Nesmoth a reçu une moyenne pluviométrique de l'ordre de 117 mm (1982-2015), les pluies extrêmes caractérisent les années 2003, 2007 et 2009 soit respectivement 379mm, 810,7 mm et 533 mm. Les années excédentaires concernent principalement toute la série 2002-2009 à l'exception de l'année 2005 avec une moyenne de + 236 mm ce qui atteste une période de pluviométrie favorable au développement du couvert végétal. Par contre les années déficitaires marquent exceptionnellement les années 1983, 1984, 2000 et 2001 soit respectivement 150 mm, 200 mm, 111 mm et 226 m. Les années déficitaires concernent principalement toutes les successions suivantes : 1982-1987, 1992-1995 et 1998-2001, soit respectivement avec une moyenne de -140mm, -70,75 mm et -145,25mm.

3.1.1.1-Répartition mensuelle des précipitations :

La répartition mensuelle de la pluviométrie enregistrée dans les deux périodes de référence (1927-1938 ; 1982-2015) est représentée dans le tableau 2:

Tableau n° 2 : Précipitation moyennes mensuelles (mm) pendant les périodes de référence

Période	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
1927-1938	91	74	63	48	51	19	2	2	26	43	86	84	489
1982-2015	53	50	43	51	35	25	5	5	18	41	49	41	315

L'analyse du tableau met en évidence l'irrégularité de la répartition des précipitations au niveau de la commune de Nesmoth. La quantité des pluies reçue dans l'ancienne période est de 739 mm et dans la nouvelle période est 117 mm. Nous remarquons une nette diminution des précipitations de 174.

Nous remarquons aussi pour les deux périodes que l'humidité caractérise le mois de Janvier, 91mm pour l'ancienne période et 70mm pour la période récent. Les mois secs presque sans pluies se situent dans les mois de Juillet et Aout pour les deux périodes, 2mm pour l'ancienne période et 7mm pour la période récent (Fig.24).

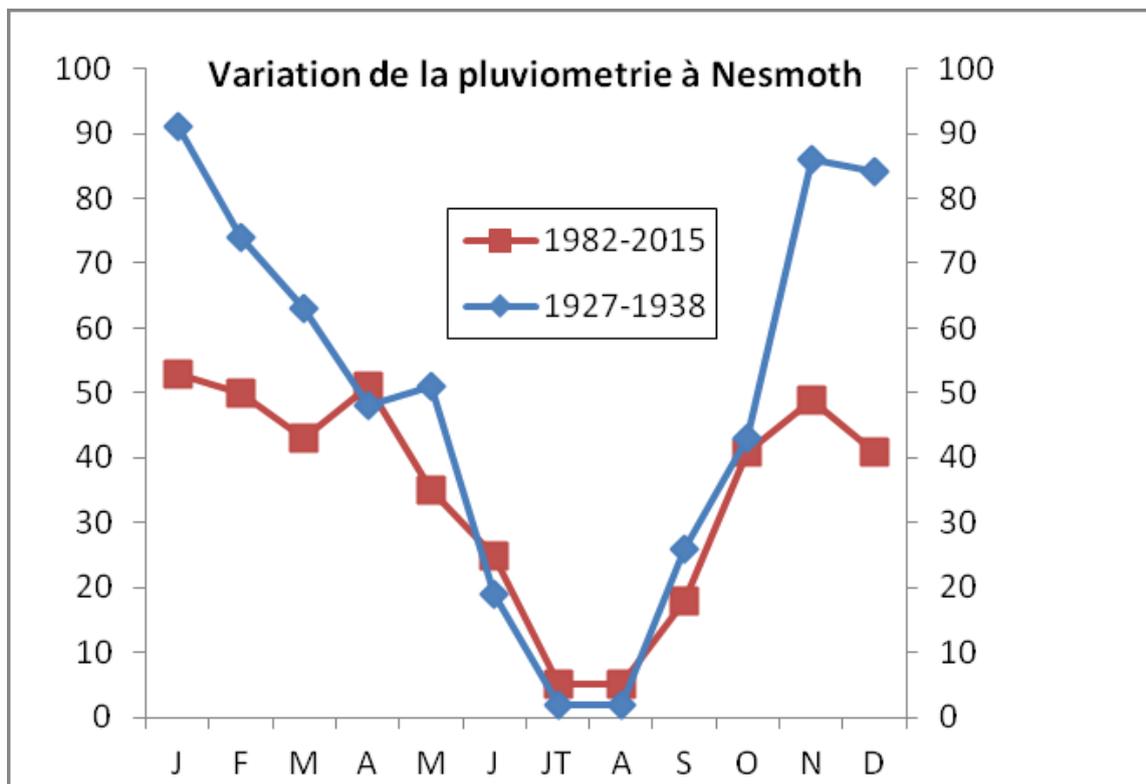


Figure n°24 : Variation mensuelle des précipitations (ancienne et nouvelle période)

I.5.1.3-Température

Elle constitue aussi un facteur important lié à la photosynthèse et la production de la matière organique et la croissance meristématique primaire et secondaire.

1- Moyenne des minimas du mois le plus froid:

Le tableau n°3, résume la répartition de températures moyennes minimales pendant les deux périodes.

Tableau n° 3 : Températures minimales moyennes (°C)

Période	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
1927-1938	3,1	4,3	5,7	7,9	11,1	14,8	18,4	18,9	16	11,8	6,9	3,9	10,2
1982_2015	4	3,9	6,2	8,9	11,3	15,3	19,4	20	16,5	12,7	8,4	5	10,9

D'après le tableau 7, nous remarquons que le mois le plus froid est enregistré en janvier (3,1°C) pour la première période (1927-1938) et 3,9°C pour la nouvelle période (1982-2015) enregistré en février. A partir de cela on peut déduire que la période froide est toujours hivernale (Décembre,

Janvier, Février)(Fig. 25)

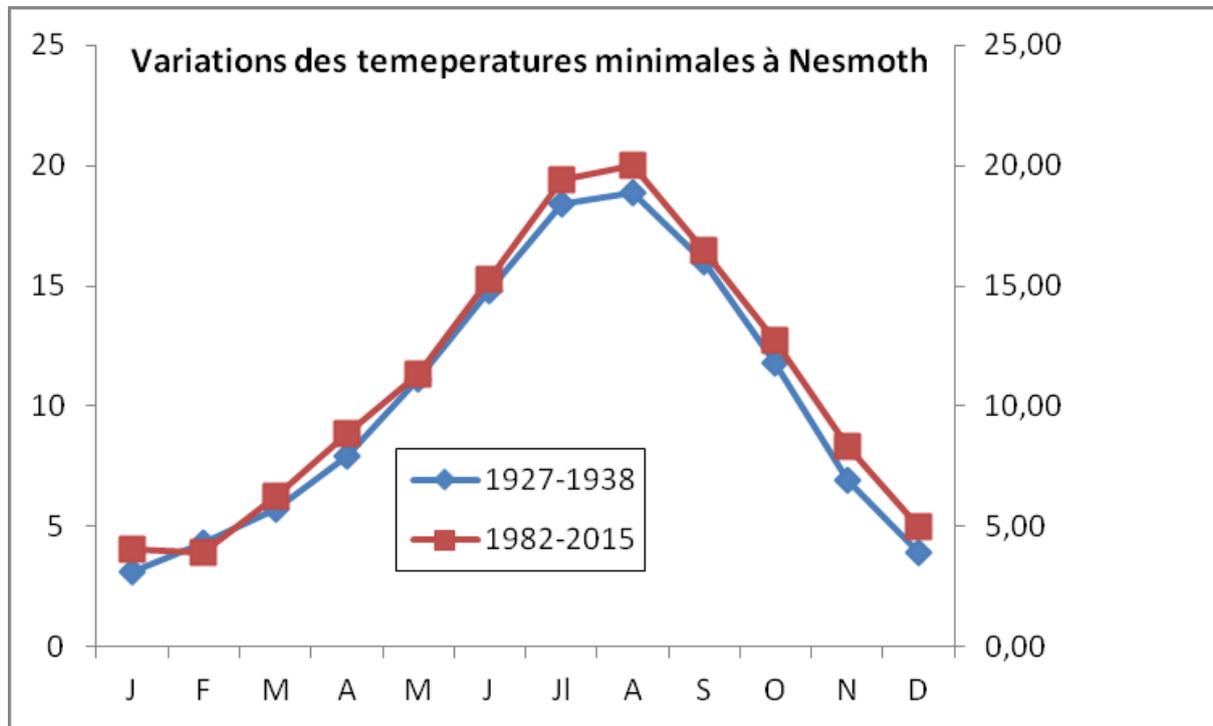


Figure n° 25 : Variations des températures mensuelles minimales dans la commune de Nesmoth

2- Moyenne des maxima du mois le plus chaud « M »:

Le tableau n° 4, présente la répartition de températures moyennes minimales pendant les deux périodes.

Tableau n° 4 : Températures maximales moyennes (°C)

Périodes	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
1927-1938	11,4	13,6	15,7	18,9	22,9	27,1	32,2	33	28	22	15,5	11,7	21
1982-2015	13,7	13,5	17	21,3	24,9	29,7	34,6	34,7	29,5	25,3	17,6	14,9	23,90

Il sorte de ce tableau que les maximas sont enregistrés au mois d'Aout pour les deux périodes avec une moyenne maximale de 33°C et 34,7°C.

Les moyennes annuelles pour les deux périodes sont de l'ordre de 21°C et 23,90°C. Le calcul du « M » et les précipitations, nous conduit à définir la saison estivale, qui correspond aux mois plus chauds (Juin, Juillet et Aout (Fig.26)).

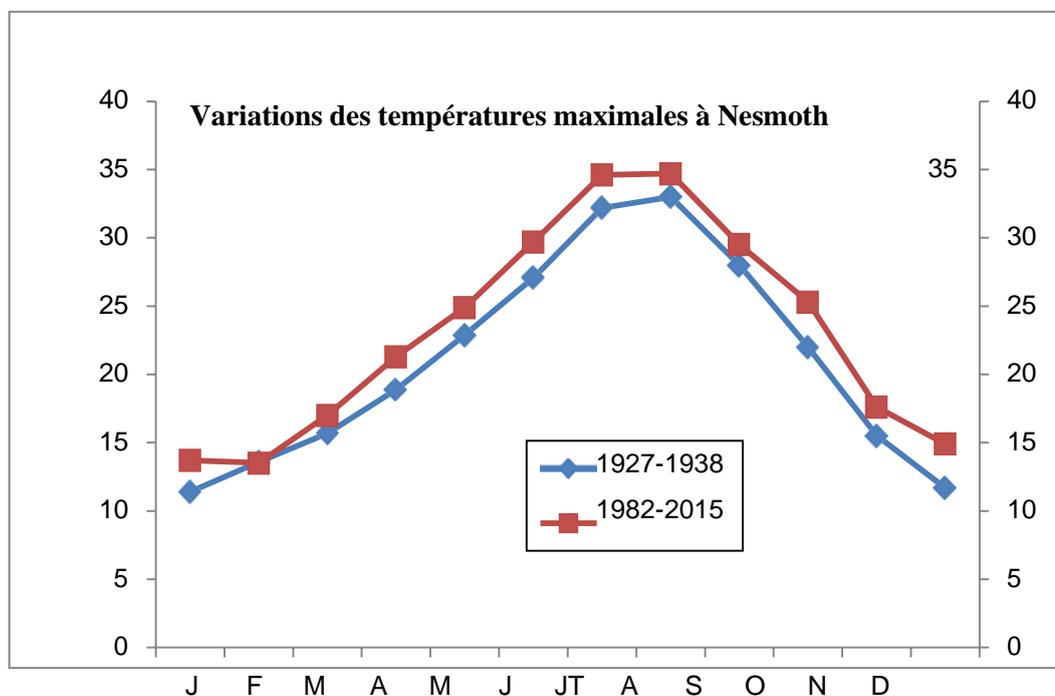


Figure n° 26: Variations des températures mensuelles maximales dans la commune de Nesmoth

3- Températures moyennes mensuelles et annuelles:

Les températures moyennes mensuelles et annuelles sont consignées dans le tableau 5.

Tableau n° 05 : Températures moyennes mensuelles et annuelles T (°C).

Périodes	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
1927-1938	7,3	9	10,7	13,4	17	21	25,3	26	22	16,9	11,2	7,8	15,6
1982_2015	8,9	8,7	11,6	15,1	18,1	22,5	27	27,4	23	19	13	9,9	17

Dans la nouvelle période, les températures moyennes annuelles dans la forêt sont de l'ordre de 17°C. Par contre, dans l'ancienne période sont de l'ordre de 17,6 °C. Le mois le plus froid n'est pas le même pour les deux périodes : Février (8,7 °C) pour la période récente et Janvier (7,3°C) pour l'ancienne . Le mois d'Aout reste en général le mois le plus chaud pour les deux périodes (26°C et 27,4°C).

I.5.2- Autre facteurs climatiques :

- Les gelées : on compte environ 40 jours par an à compter du mois de Novembre jusqu'à la fin de Février. Ces dégâts sont considérables sur les jeunes plants de la régénération naturelle ou du reboisement.

-La Neige : il neige très peu à Nesmoth, soit une ou deux fois par an. C'est un apport d'eau très bénéfique au sol.

I.5.3- Synthèses climatiques

6. Indice de continentalité

Pour caractériser le type de climat selon l'amplitude thermique (M-m), nous avons utilisé la classification de (Debrach; 1953) (Tab.6).

Tableau n° 6: Indice de continentalité de la forêt de Nesmoth

Forêt	périodes	m (°C)	M (°C)	(M-m) (°C)	Type de climat
Nesmoth	1927-1938	3,1	33	29,9	Semi continental
	1982-2015	3,9	34,7	30,8	

En se référant à la classification de (Debrach; 1953), la forêt de Nesmoth à un climat de type semi-continental.

7. Indice de sécheresse estivale

Cet indice utilise le rapport entre les valeurs moyennes des précipitations estivales en P.E. en mm et la moyenne des maxima du mois le plus chaud M(°C), (Emberger,1942) :

$$I. e= P.E/M$$

Le tableau n° 7 suivant indique les indices calculés:

Tableau n° 7: Valeurs des indices de sécheresse estivale de la forêt de Nesmoth

forêt	périodes	Pluviosité estivale P.E (mm)	Valeur de M (°C)	Indice de sécheresse « I.e.» ²
Nesmoth	Pa	23	33	0,69
	Pr	11,66	34,7	0,33

Nous concluons que la sécheresse est importante dans cette forêt puisque les valeurs sont inférieures à 5.

8. Etage de végétation ou zonation altitudinale

L'étage de végétation de notre forêt est indiqué dans le tableau 08.

Tableau n° 8 : Etage de végétation du chêne liège de la forêt de Nesmoth :

Commune	Périodes	m (°C)	T (°C)	Altitude moyenne (m)	Etage de végétation
Nesmoth	1927- 1938	3,1	15,6	950	Thermo- méditerranéen
	1982- 2015	3,9	17		

Le chêne liège de

la forêt

de Nesmoth s'intègre effectivement dans l'étage de végétation thermo-méditerranéen ($m > 3^{\circ}\text{C}$, $T \geq 16^{\circ}\text{C}$ et $\text{alt.} > 600\text{m}$).

9. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

La répartition de la pluie et des températures moyennes annuelles sont montrés dans la figure (Fig.27).

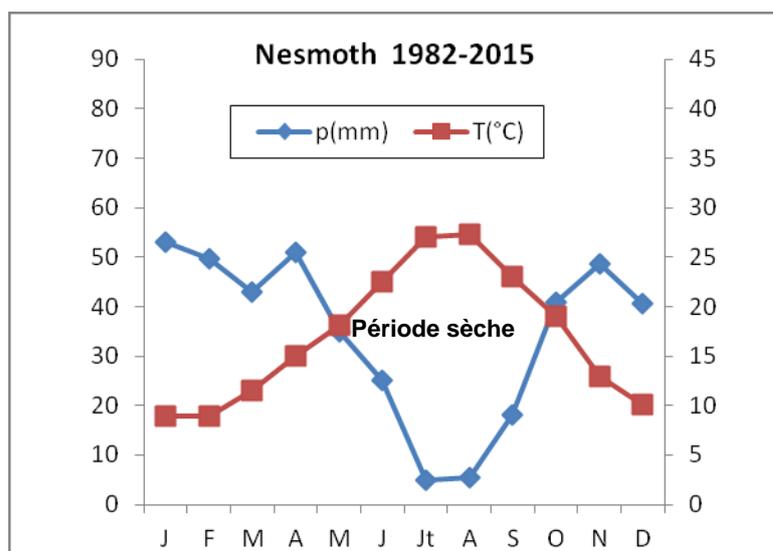
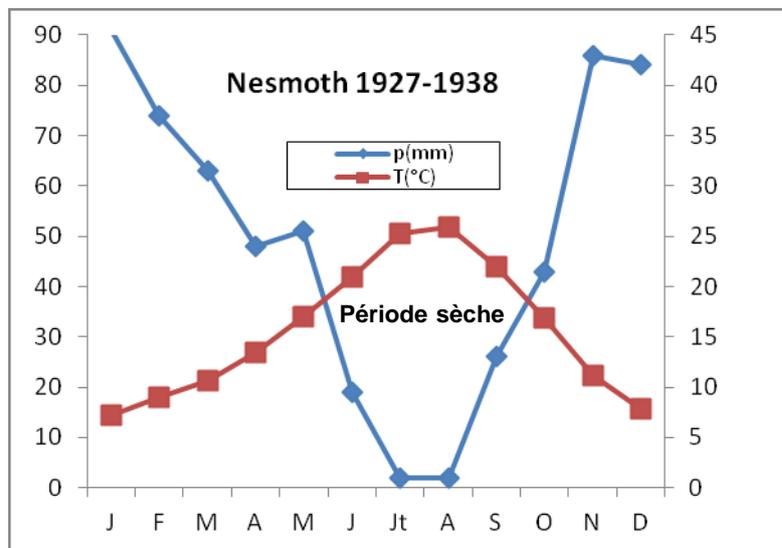


Figure n° 27: Diagramme ombrothermiques la la commune de de Nesmoth

La figure 27 montre que pour les deux périodes, la période sèche dure 5 mois et même plus, à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre voire Octobre.

10.Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger nous a permis de positionner l'étage bioclimatique de notre zone d'étude (Tab.09) :

Tableau n° 09: Valeur de « Q2 » et étages bioclimatiques

Commune	périodes	P (mm)	M(°C)	m (°C)	Q2	Etage bioclimatique	Sous étage	Variante thermique
Nesmoth	1927-1938	589	33	3,1	67,6	Sub-humide	Inférieur	Frais
	1982_2015	415	34,7	3,9	46,1	Semi-aride	supérieur	tempéré

La figure 28 ci –dessous positionne le Q2 calculé :

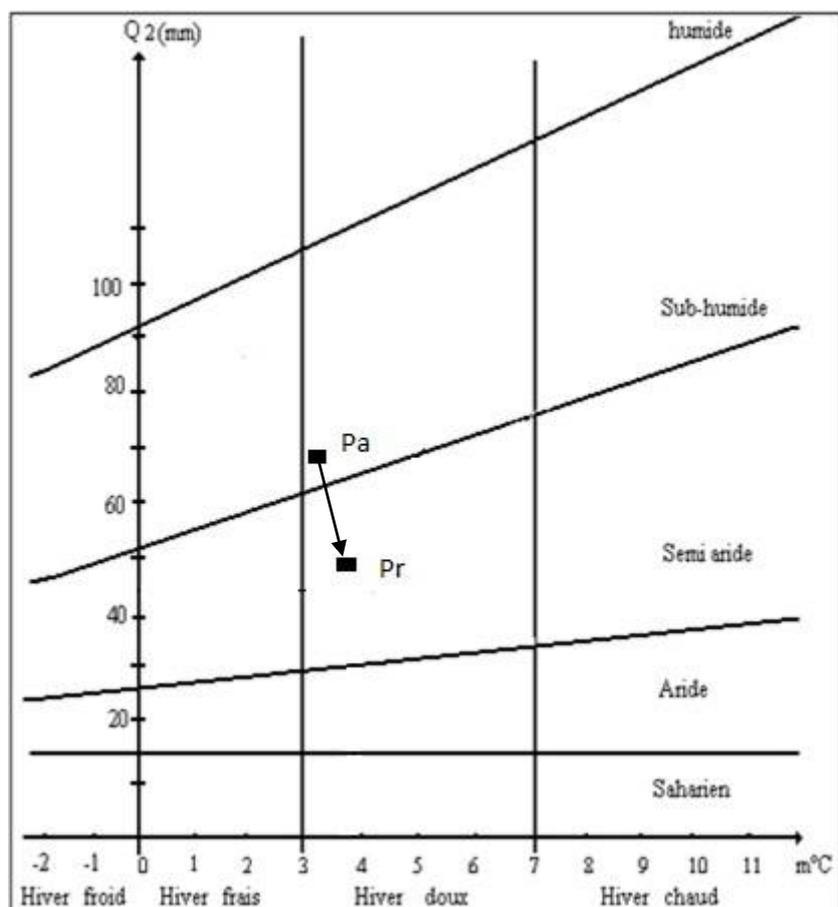


Figure n° 28 : Quotient pluviothermique et climatogramme d'Emberger de la forêt de Nesmoth au cours de la période ancienne (Pa) et récente (Pr).

Il ressort de ce climatogramme que notre zone d'étude se distingue de deux types de bioclimat :

Durant la période ancienne cette forêt jouissait d'un climat sub-humide inférieur avec une pluviosité qui dépasse les 739 mm. A l'heure actuelle, le climat converge un sous étage inférieur voire semi-aride supérieur avec des quantités annuelles de pluies inférieures à 420 mm. Les précipitations ont diminué de 29,5% et températures ont augmenté.

4. Description forestière

La forêt Nesmoth, a été soumise ausenatus consulte depuis 1868. Elle était composait initialement de peuplements naturels de thuya, de chêne vert et de chêne-liège traités en futaie et en taillis (**Boudy,1955**).

Durant l'année 1979, une opération de repeuplement à base de chêne liège et de cèdre de l'Atlas a été réalisée puis renouvelée en 1960 à base de l'*Eucalyptus camaldulensis* sur 250 ha. En 1971-1977, une surface de 650 ha a été plantée en pin d'Alep sur une grande partie des impacts occupaient initialement par le chêne liège et le chêne vert (**CFWM, 2017**). Le tableau 12 redresse la situation forestière de la suberaie de Nesmoth

Tableau n°10 : Formations végétales de la forêt de Nesmoth (CFWM,2017)

Essence	Surface (ha)	Taux/surfaces Forestière
Pin d'Alep	703	11,1%
Eucalyptus camaldulensis	260	4,12%
Chêne liège	330	5,25%
Thuya de Berberie	1182	18,82%
Chêne vert	240	3,75%
Formations basses	3586	56,91%
Total	6301	100%

A l'exception des peuplements de pin d'Alep, des Eucalyptus et dans de rares endroits pour le chêne vert ; 75% de la forêt se trouve dans un état de dégradation avancé, caractérisé par un couvert bas et très clairsemé. La subéraie qui occupait auparavant 33% de la forêt ne renferme actuellement que 5% seulement.

4.1- Production subericole :

Les premières mises en valeur des arbres ont commencé en 1883 avec la mise en valeur d'environ 2017 sujets. Ces travaux ne sont devenus périodiques entre 1911 et 1929. Environ 13 campagnes d'exploitation ont fournis 1734 qx de liège.

Le liège marchand a donné seulement 5839qx entre 1901 et 1940, soit 235 kg par an.

Entre 1979 et 1989, seulement deux campagnes de récolte ont été réalisées et ont donné seulement 1100 qx et 1384 qx (B.N.E.F,1982).

On constate que cette forêt est pour le moment loin de remplir une quelconque fonction économique ou sociale.

4.2. Incendies répétés

En manque de chiffres réels, la forêt de Nesmoth a connu plusieurs incendies. On cite les années suivantes :

Durant la période coloniale : les années 1885, 1902, 1913, 1914, 1939, 1947 et 1956.

Après l'indépendance nous citons 93 ha (1970), 0 ha (1970), 1 ha (1971), 2ha (1975) et 7 ha (1978) (CFWM, 2017).

1- Objectif de travail

L'objectif poursuivi est l'élaboration d'une carte de changement final, par l'utilisation de l'outil télédétection et aussi un travail sur terrain pour l'inventaire et la validation de différentes classes pour connaître l'évolution spatiotemporelle du couvert végétale (de la commune de Nesmoth) au cours la période entre l'année 2020 et 2010.

2- Les données

•Les cartes :

- Une carte topographique de Nesmoth (échelle 1/25000) ;
- Carte Lithologique (échelle 1/500000)

•Model Numérique de Terrain :

Le MNT permet une description de la topographie du terrain et constitue une base de donnée altimétrique à partir de laquelle on peut dériver une multitude de produits : les courbes de niveau, les cartes de pentes, d'exposition ou d'inter visibilité, les vues en perspective (3D)...etc.

Dans ce travail nous avons utilisé pour élaborer les cartes thématiques (carte de pente, hypsométrique, exposition et carte des réseaux hydriques) le MNT (modèle numérique de terrain, d'une résolution de 12 m avec une projection géographique, Datum **WGS 84**, un MNT obtenu par stéréoscopie radar du satellite Terra Aster (Japon-Nasa) d'une résolution spatiale de 12 m, ce produit numérique a été téléchargé à partir du site: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>

•Les données satellitaires

Pour la réalisation de la carte de changement d'occupation du sol on a utilisé :

- Une image satellitaire du programme Aster 15m de résolution, acquise au 26-03-2010 et d'autre image de Sentinel-2 prise au 03-04-2020. Cet image est téléchargeable gratuitement à partir du site : (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

Ces images sont téléchargeables gratuitement à partir du site : <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>).

La mission Sentinel-2 fait partie du programme d'observation et de surveillance de la Terre Copernicus conduit par l'Union Européenne. L'Agence spatiale européenne (ESA) est responsable du développement des 2 satellites, des instruments et du segment sol qui produit les images. Le CNES diffuse les données de Copernicus au grand public et organise des campagnes pour que de futures applications puissent exploiter efficacement les données de Sentinel 2. Tous les 5 jours, des images gratuites sont ainsi disponibles dans 13 bandes spectrales. La résolution des images varie de 10 à 60 m selon les bandes spectrales allant du visible au moyen infra-rouge.

Tableau n° 11 : Caractéristiques des bandes spectrales Sentinel-2A ..

Résolution spatiale	Numéro de la bande	Satellite Sentinel-2A		Satellite Sentinel-2B	
		Longueur d'onde (nm)	Largeur de bande (nm)	Longueur d'onde (nm)	Largeur de bande (nm)
10m	2	496.6	98	492.1	98
	3	560.0	45	559	46
	4	664.5	38	665	39
	8	835.1	145	833	133
20m	5	703.9	19	703.8	20
	6	740.2	18	739.1	18
	7	782.5	28	779.7	28
	8a	864.8	33	864	32
	11	1613.7	143	1610.4	141
	12	2202.4	242	2185.7	238
60m	1	443.9	27	442.3	45
	9	945.0	26	943.2	27
	10	1373.5	75	1376.9	76

Tableau n° 12 : Caractéristiques des données ASTER.

Bande	Longueur d'onde	Résolution spatiale
B1	VNIR 0.52-0.6 μm	15m
B2	VNIR 0.63-0.69 μm	
B3	VNIR 0.76-0.86 μm	
B4	SWIR 1.6-1.7 μm	30m
B5	SWIR 2.145-2.185 μm	
B6	SWIR 2.185-2.225 μm	
B7	SWIR 2.235-2.285 μm	
B8	SWIR 2.95-2.365 μm	
B9	SWIR 2.36-2.43 μm	
B10	TIR 8.125-8.475 μm	90m
B11	TIR 8.475-8.825 μm	
B12	TIR 8.925-9.275 μm	
B13	TIR 10.25-10.65 μm	
B14	TIR 10.95-11.65 μm	

3- Moyen de travail

La réalisation de cette étude à besoin le micro-ordinateur, GPS (Géographique, positionnement, système) pour le relevés des coordonnées géographique, des stations repéré sur terrain et un appareil photo numérique. Tous les résultats de la détection de changement par la télédétection et les données géographiques numérisées peuvent être gérées par des logiciels de gestion de l'information géographique, pour réaliser notre travail, nous avons utilisés

Le logiciel **ENVI 5.3** spécialement conçu pour le traitement des images. Il permet ainsi de visualiser toutes sortes d'images satellitaires, Radar ou autre :

➤ Une large gamme de formats images : ALOS, IRS, SPOT, IKONOS, Landsat 7, TERRA (ASTER, MISR, MODIS), EROS, SeaWifs, ENVISAT, SPOT Végétation HDF-EOS, Radarsat , TOPSAR, AIRSAR, E-SAR, GEOTIF, AVIRIS, CASI, Sentinel-2.

➤ Des formats vecteur standard : ArcViewshapefile, Mapinfo, Microstation, DGN, AutoCAD DXF ;

Malgré la grande diversité de format utilisés et appliqués différents traitements (Géoréférencement, Comparaison, Superposition, Classification...). Ce ENVI inclut également le puissant langage de développement IDL (Interactif Data Language) qui permet d'étendre les

Fonctionnalités d'ENVI ou de créer ses propres routines et permet d'extraire rapidement l'information pertinente des images géospaciales. Il constitue le choix naturel des professionnels de part ses performances, son ouverture, sa facilité d'utilisation et la qualité de ses algorithmes spécifiques quels permettent de tenir compte et profit des avantages de chacun de ces domaines :

Traitement d'image : pré-traitement, analyse en composantes principales, NDVI pour précise et claire des éléments formant le système agraire de la zone. Pour éviter une surcharge d'informations...ect. Toutes ces fonctions sont accessibles à partir de l'information suivante :

➤ Il faudra déterminer les classes importantes et les isoler des classes d'importance secondaire voire inutiles., filtres ;

➤ Calage : géo-référencement, orthrectification, mosaïques ;

➤ Traitement et analyse de l'image multispectrale et hyperspéctrale : Roi, classifications supervisées ou non-supervisées, post-classifications, bibliothèques spectrales ;

➤ Analyse Radar : mono-bande, polarimétrique ;

➤ Support des formats raster et vecteur, analyse topographique par des outils vecteurs sont du création ou éditions de couches vecteurs, interrogations des attributs;

➤ Visualisation 2D et 3D interactive ;

- Compositions de cartes;
- Ouvert : grâce au langage IDL, Interactive Data Language (inclus dans ENVI), l'utilisation peut rapidement intégrer ses propres algorithmes de traitement ou l'accès à de nouveaux formats d'images ;

Le logiciel **ArcGIS 10.3** qui est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) . le support cartographique qui représenté au major par la topographique.

Le logiciel **RiverTools** aide pour le traitement et l'analyse de modèle Numériques de terrains (MNT). Son interface flexible et facile à utiliser permet l'importation rapide des différents types de MNT et des données relatives aux bassins versants hydrographiques. RiverTools import les MNT et vous conduit à l'extraction des réseaux hydrographique et des limites de bassin versant ainsi d'effectuer différents types de mesures. Son menu général, construit de manière logique, vous guide aux différentes étapes de traitements des MNT :

- « Prépare » une fonction qui permet de convertir une multitude de format de MNT, traité ou brut , en format propre à RiverTools.
- « Extract » une fonction qui contient les étapes à passer du MNT brut au traité, en utilisant du MNT lors que la segmentation a permis de faire une première séparation satisfaisante entre deux zones bien distinctes : les plateaux et les plaines ; Ils arrivant à la fin à l'extraction du réseau du drainage et des limites de bassins versant ainsi tous les autres produits dérivés (pente, aspect , exposition , courbe hypsométrique, etc).
- « Display » l'utilisateur trouve un ensemble de possibilités d'affichage des résultats de traitement sous sa forme de carte ou de courbe ;
- « Analyze » Rivertools contient des outils d'analyse quantitative des mesures. L'analyse de la matrice de confusion nous permettra de discuter de la pertinence de l'opération et de voir si elle simplifie le travail, en permettant de séparer, sur un critère simple, des types de recouvrement très différents de courbes liées aux bassins versant, ces résultats sont d'une grande importance à la modélisation hydrologique.

Le logiciel **Excel** pour les traitements des données climatiques et leur représentation graphique de ses derniers. Tous est pour établir un système de suivi dynamique d'occupation du sol nous permettant de réaliser une meilleure gestion de données, de détection de changement et de modélisation spatiale..

4-Reconnaissance terrain

Une campagne de deux mois a été réalisée entre le 06/01/2020 et le 12/03/2020 par deux sorties à la commune de Nesmoth. Des points GPS, repéré sur terrain, ont été décrits par des photos, pour permettre d'obtenir une typologie du milieu afin de donner une classification non supervisée de l'image qui est à notre possession. Cette mission sur le terrain est positive dans la mesure où une certaine cohérence dans la démarche scientifique et pratique, à entreprendre dans le cadre de la mise en place de la base des données nécessaire au logiciel ArcGis, il est dégagée en outre, sur la base des données préliminaires récoltées sur le terrain. La proposition de la méthodologie de la cartographie de localisation de formation végétal qui sont dominée par des groupements forestière, et des terrain agricole.

5-Méthodologie de travail

5.2- La méthode cartographie

Pour la cartographie de l'évolution spatiotemporelle du couvert végétale de notre zone d'étude, on va intégrer des données de terrain et l'imagerie satellitaire, qui offrent une vue aérienne de la composition de région.

Notre travail consiste d'utiliser deux images du satellite Aster de l'année 2010 et Sentinel-2 de l'année 2020 pour étude de l'évolution spatio-temporelle du couvert végétal. Et résulter par une carte finale du changement. A cet effet, une approche méthodologique a été conçue où dans un premier temps, une correction géométrique et radiométrique a été appliquée sur l'image afin de la géoréférencer par rapport à la carte topographique puis la réalisation de la composition colorée.

Puis, une classification non supervisée basée sur la méthode du maximum de vraisemblance a été utilisée sur les deux images. Les cartes d'occupation du sol ainsi réalisées par la classification non supervisée, ont fait ressortir les différents thèmes choisis où les grands unités se distinguent clairement, caractérisant les différentes classes d'occupation du sol de la région. En plus, faire un traitement des images par l'indice NDVI pour comparé entre les deux, Cette comparaison donne une carte de changement, Notre méthodologie du travail cartographie est présentée dans le (Figure ..).

5.2.1- Correction radiométrique

Les relations entre les rayonnements provenant des surfaces terrestres et les valeurs radiométriques enregistrées dans les images sont complexes. Parmi les effets « naturels », les différences des angles d'illumination et d'acquisition, les effets atmosphériques et l'anisotropie des surfaces terrestres sont les plus importants. Un autre type d'effets est lié aux différentes caractéristiques spectrales et à la calibrations des capteurs, aux différences dues à la conversion

analogique/numérique et à des distorsions dues à la procédure d'acquisition. L' « effet de bord » est également important : les pixels aux bordures des objets contiennent des valeurs spectrales mixtes.

Pour des images prises à des années différentes, les valeurs radiométriques obtenues pour une même zone, une même bande spectrale, à une même époque (phénologie des végétaux), sont différentes ; notamment en raison du rayonnement solaire et des perturbations atmosphériques dues principalement aux interactions entre gaz atmosphériques et particules en suspension : absorption, diffusion, réfraction entraînant une modification du signal reçu, constituant un filtre non stationnaire dans le temps.

Similairement aux corrections géométriques, les méthodes de correction radiométrique peuvent être absolues, relatives et hybrides.

Elles sont basées sur le calcul des quantités physiques du rayonnement émergent des surfaces terrestres. La procédure est composée de plusieurs étapes. En premier, les luminances spectrales mesurées par le capteur doivent être calculées par l'inversion de la fonction de calibration, à partir des comptes numériques. La relation étant linéaire dans la plupart des cas, la formule générale est décrite par la formule $L_\lambda = a_\lambda + b_\lambda \cdot Q_\lambda$ où L_λ est la radiance spectrale, a_λ et b_λ sont des coefficients déterminés pour la bande spectrale du capteur, Q_λ est le compte numérique de la bande spectrale. L'effet des différentes calibrations des capteurs est éliminé par ce calcul. Dans une étape suivante, pour éliminer la plupart des effets liés aux différences d'illumination, la réflectance apparente (mesurée au capteur) peut être calculée selon l'équation:

$$\rho_{\text{TOA}} = x = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_s(\lambda) \cdot \cos \theta_s}$$

ρ_{TOA} : est la réflectance apparente,

L_λ : est la radiance spectrale,

D : est la distance Terre-Soleil actuelle,

$E_s(\lambda)$: est l'irradiation solaire à la longueur d'onde

λ , θ_s : est l'angle zénithal solaire.

Il est important de noter que cette équation utilise une approche l'albertienne (D. Ducrot, 2005).

5.2.2- La classification

La classification regroupe les sites ayant des réponses spectrales proches, l'objectif est de simplifier la réalité d'un paysage pour pouvoir l'interpréter plus facilement. Schématiquement nous distinguons deux grands types de classifications suivant la volonté ou non de faire intervenir une connaissance à priori d'une réalité de terrain.

a- On utilise une classification non supervisée lorsque l'identité de la réalité de terrain n'est pas connue, Cette classification non supervisée permet un premier dégrossissage des grandes unités de l'image, alors nous avons utilisé un algorithme de classification non supervisée appelé agrégation ISODATA « Itérative Self-Organizing Data Analysis Technique » (Jahne, 1991).

La méthode ISODATA représente un ensemble compréhensible de procédures heuristiques qui ont été incorporées dans un algorithme de classification itératif. La plupart des étapes incorporées dans l'algorithme sont le résultat des expériences accumulées à travers des expérimentations. L'algorithme ISODATA est auto-organisateur parce qu'il nécessite relativement très peu d'entrées de la part de l'analyste.

Un algorithme ISODATA sophistiqué requiert normalement la spécification des critères suivants, de la part de l'analyste :

- **C_{mex}**: le nombre maximum de segments à identifier par l'algorithme. Toutefois, il n'est pas inhabituel que moins de C_{mex} segments soient trouvés dans la carte de classification finale, après que des éclatements et des fusions aient eu lieu.
- **T** : le pourcentage maximum de pixels dont les valeurs de classe sont autorisées à rester inchangées entre des itérations successives. L'algorithme ISODATA se termine lorsque ce nombre est atteint.
- **M** : le nombre maximum de fois que l'algorithme ISODATA classe les pixels et recalcule les vecteurs moyens des segments. L'algorithme ISODATA se termine lorsque ce nombre est atteint.
- Le nombre minimum de membres (%) dans un segment. Si un segment contient moins de membres que le minimum spécifié, il est supprimé et ses membres sont affectés à un autre segment.
- L'écart-type maximum. : Lorsque l'écart type d'un segment dépasse le maximum spécifié, et que le nombre de membres dans le segment est deux fois supérieur au minimum de membres spécifiés dans une classe, le segment est éclaté en deux segments.

- La distance minimum entre les segments. Des segments ayant une distance pondérée inférieure à cette valeur sont fusionnés.

b-Il est nécessaire ensuite de passer à la classification supervisée, il s'agit d'identifier et de localiser des classes particulières. Pour cela il faut définir des sites d'entraînements correspondant à des régions homogènes et dont on connaît la nature de groupement végétale. Les caractéristiques spectrales de ces échantillons vont ensuite être utilisées pour réaliser la classification. Le travail consiste à choisir sur l'image des zones qui serviront d'échantillon pour les classes retenues à partir des données de terrain. Pour définir correctement les sites d'entraînement, on choisit tout d'abord un territoire où est présent le type de groupement végétal que l'on souhaite mettre en évidence on utilise pour cela les trois fenêtres de l'ENVI pour naviguer sur l'image :

- Scroll window : image entière avec une très faible résolution.
- Image window : portion de l'image à la résolution maximale
- Zoom window : petite partie de l'image à une très grande résolution où l'on peut travailler pixel par pixel.

On sélectionne le territoire du site d'entraînement à partir des résultats de la classification non supervisée, de la composition colorée. Ensuite grâce à l'outil de 2D-Scatter Plot de l'ENVI, on représente par un diagramme la répartition radiométrique des pixels selon deux canaux (les deux canaux les plus appropriés pour mettre en évidence le type de groupement végétal recherché).

On sélectionne dans la fenêtre zoom des pixels homogènes qui vont constituer un ROI (région of interest).

On peut définir autant de ROI que l'on souhaite. Ces ROI pourront ensuite être combinés ou supprimés selon leurs degrés de pertinence. A chaque fois que l'on définit un nouveau ROI et qu'on lui attribue une couleur, tous les pixels présentant le même rayonnement sont sélectionnés dans la fenêtre image et dans le diagramme radiométrique. La visualisation des pixels sur le diagramme bidimensionnel des canaux R et PIR permet d'évaluer le degré d'homogénéité radiométrique du site d'entraînement (pixels regroupés ou dispersés), (Sitayeb, 2006).

Une fois le site d'entraînement est défini, on enregistre les ROI retenus pour lancer ensuite la classification.

6- Détection du changement par calcul l'indice de végétation Normalisé "NDVI"

L'utilisation des données de télédétection à travers de NDVI (indice de végétation Normalisé, **Huete, 1988**), et de la composition colorée diachronique nous a permis de mettre en évidence les différents changements dans la période entre 2010 à 2020. Ces changements

concernant les mutations de la zone, Il est important de savoir qu'on télédétection le résultat de changement dynamique est influencée par les variations conjoncturelles (saison, conditions Météorologiques).

La détection des changements est le processus d'identification des différents états d'une zone en l'observant à des dates différentes. On distingue globalement deux types de méthode de détection des changements :

- La comparaison d'image (on étudie la trajectoire radiométrique du pixel par combinaison d'images multi dates)
- La comparaison entre deux cartes de l'indice de sol NDVI.

$$\text{NDVI} = (\text{pIR}-\text{R}) / (\text{pIR}+\text{R}+)$$

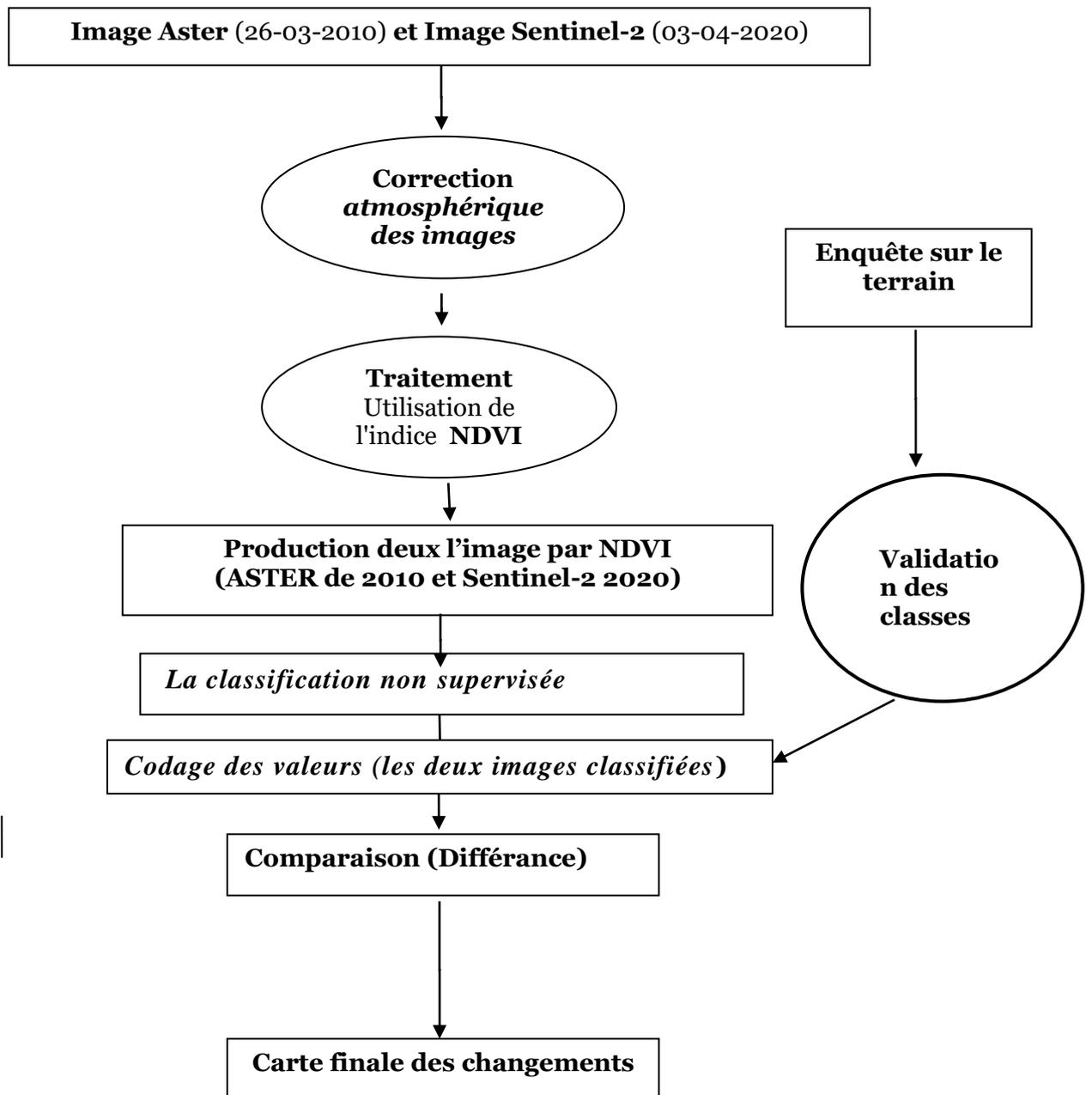


Figure 28 : Organigramme de la méthodologie de travail.

Résultats et discussion

1- la composition colorée

Elle couvrant la zone d'étude qui a été réalisée à partir des bandes du visible et le proche infrarouge de l'image Aster 2010 et l'image de Sentinel-2 (2020) par une combinaison entre trois bandes spectrales, le résultat de la composition colorée a été la mise en évidence d'une première clé d'interprétation des éléments constitutifs du milieu. Le résultat final de cette composition est représenté sur les figures 30 et 31.

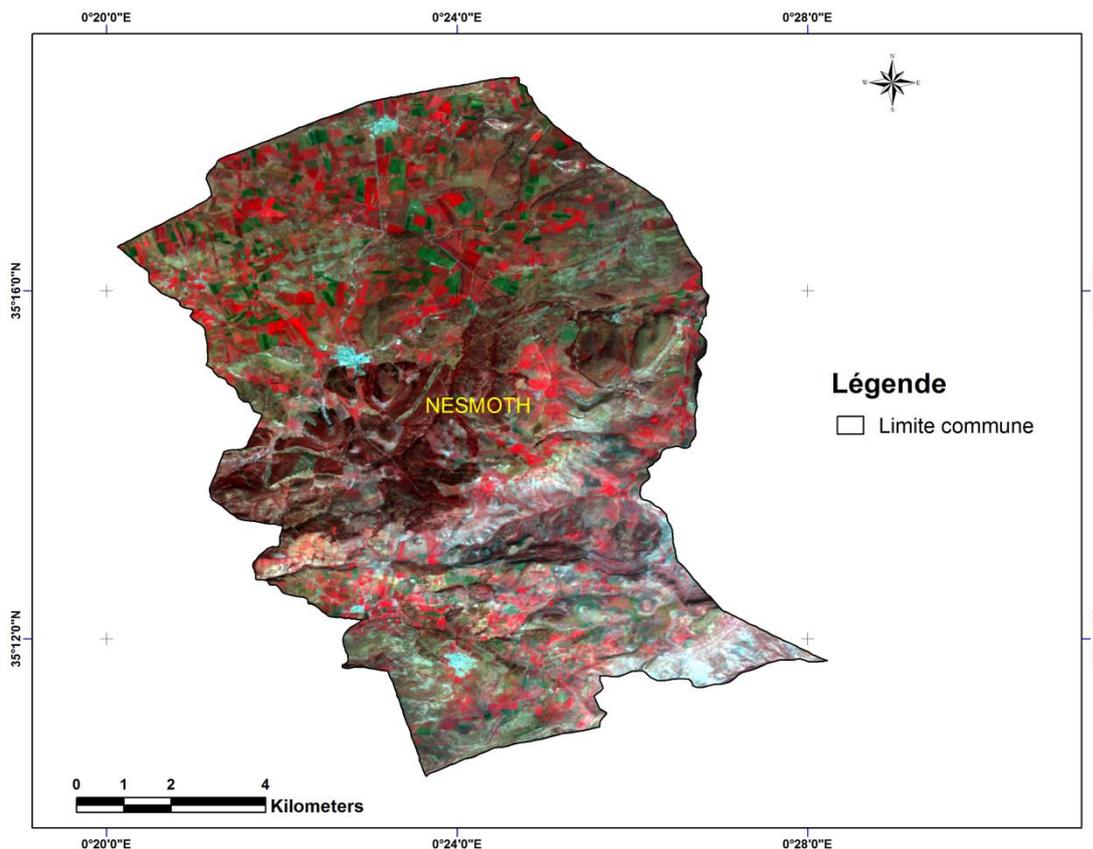


Figure n° 30: La Composition colorée de l'image Aster 2010. (Dr.Anteur)

A l'aide du logiciel ENVI 5.3, on a composés les couleurs qui paraissent d'une même couleur à l'observateur correspondant à des milieux dont les signatures spectrales sont identique, donc nous avons pu localiser les grandes formations paysagères telles que les Forêts, les maquis, les terres agricole, bâtis et routes, le sol nu et les formations végétales en générales, mais tous cela ne sont que des hypothèses de cette interprétation qui nécessite la conformation ou l'infirmité dans la mission de terrain.

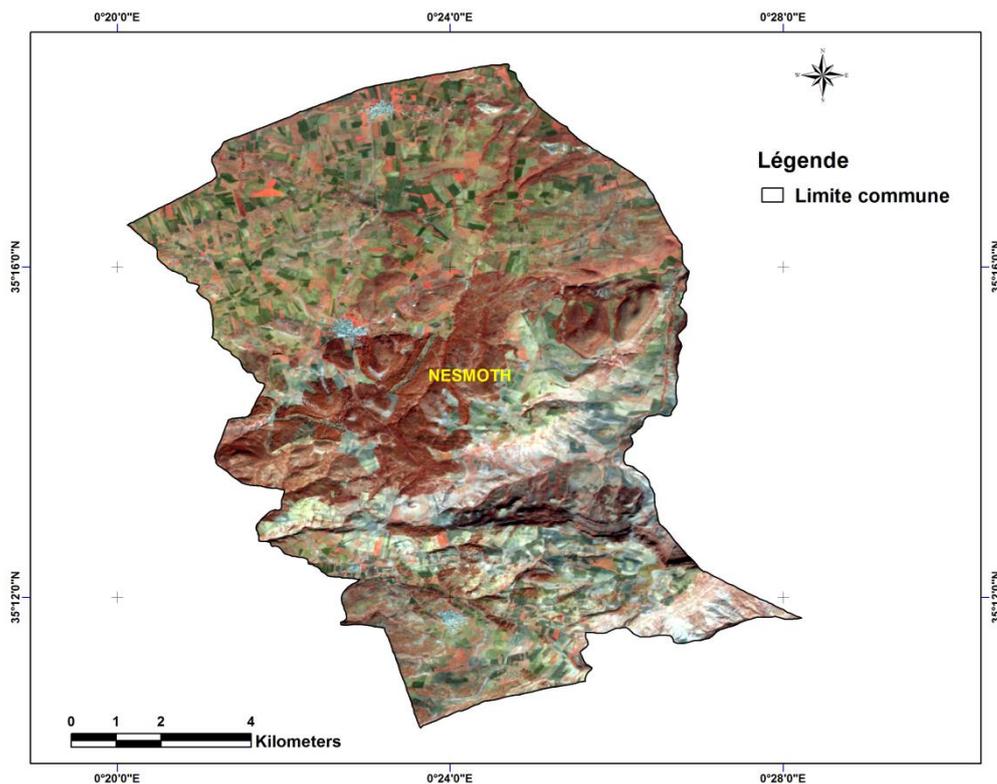


Figure n° 31 : La composition colorée de l'image Sentinel-2; 2020) (Dr.Anteur)

2- Application de l'indice de végétation Normalisé "NDVI "

On a appliqué ce l'indice de végétation Normalisé (NDVI) comme un traitement des données de la télédétection spatio-temporelle pour suivi dynamique d'occupation du sol de notre zone d'étude. La comparaison des NDVI dérivés des images traitées a permis d'obtenir la carte des changements.

Nous avant constaté que la couleur rouge foncée indique une assimilation chlorophyllienne plus élevée (forte réflexion par le parenchyme lacuneux), tandis que la couleur vert claire qui présente une faible assimilation chlorophyllienne (pic d'absorption de la chlorophylle), ce qui a permis de définir une bonne observation appropriée à la zone d'étude. *Les figures 32 et 33 représentent le résultat suivant.*

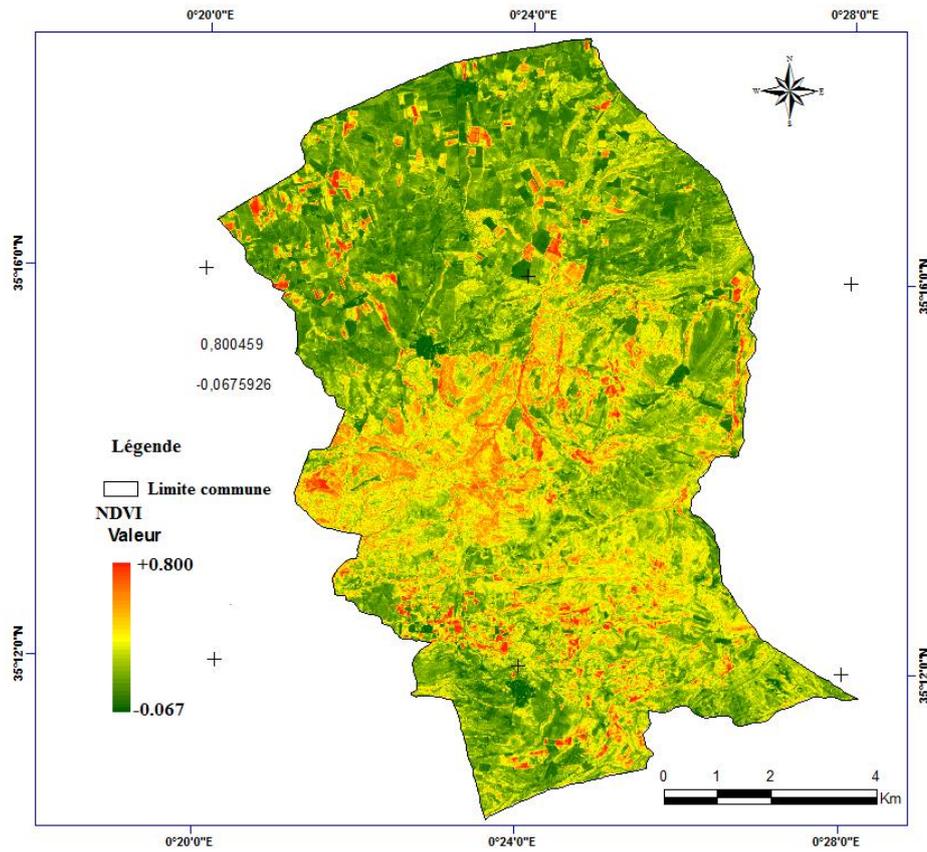


Figure n° 32 : Visualisation néocanal d'indice "NDVI" pour l'année 2010. (Dr.Anteur)

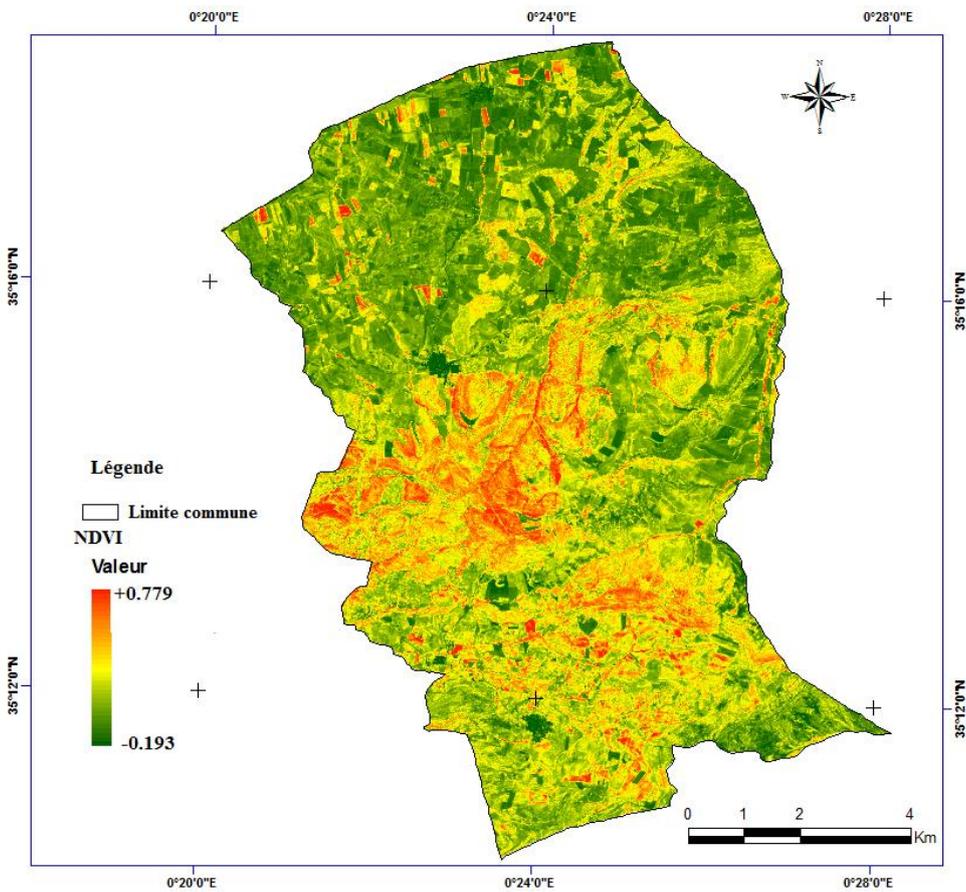


Figure n°33 : Visualisation néocanal d'indice "NDVI" pour l'année 2020. (Dr.Anteur)

L'interprétation des images de NDVI dans la partie centre de la zone étude en observe une couleur rouge qui présente des valeurs fort de l'indice de végétation qui reflète localisation des formations forestière denses. Au Sud et Sud- Ouest un moyen indice de végétation; qui résulte une intense dégradation de peuplement forestières, dans le Nord et Nord Est on trouve les terres cultivés qui présente par la couleur vert.

3-La classification des images

Comme nous l'avons dit dans le chapitre III précédent le traitement des images satellites se fait par deux méthodes de classification, quels sont la classification supervisé ou régie et La classification non supervisée ou automatique qu'elle est la méthode que nous avons utilisons.

3.1-La carte d'occupation du sol

Après le traitement des images nous avons procédé à la classification dite non supervisée sans l'intervention de la réalité de terrain. *On cherche alors à établir des groupements de vecteurs de mesure dans l'espace de représentation en utilisant des critères mathématiques ou statistiques de ressemblance des valeurs considérées comme les domaines des classes (figure 34, 35).*

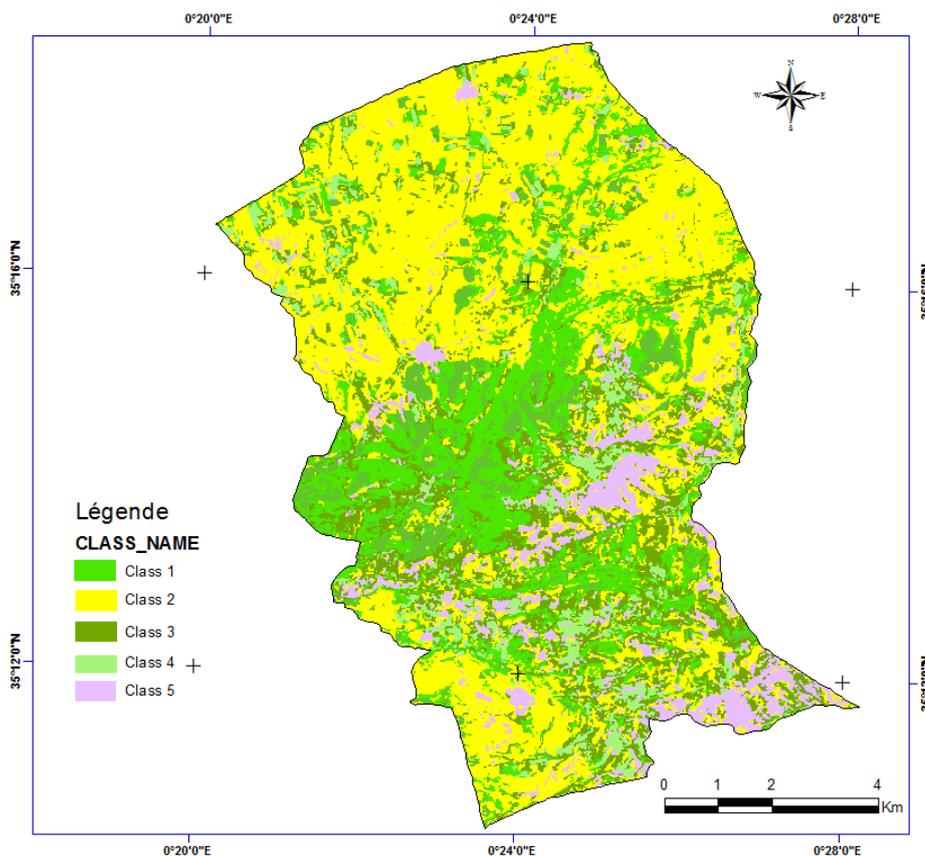


Figure n° 34: Carte d'occupation du sol de 2010. (Dr.Anteur)

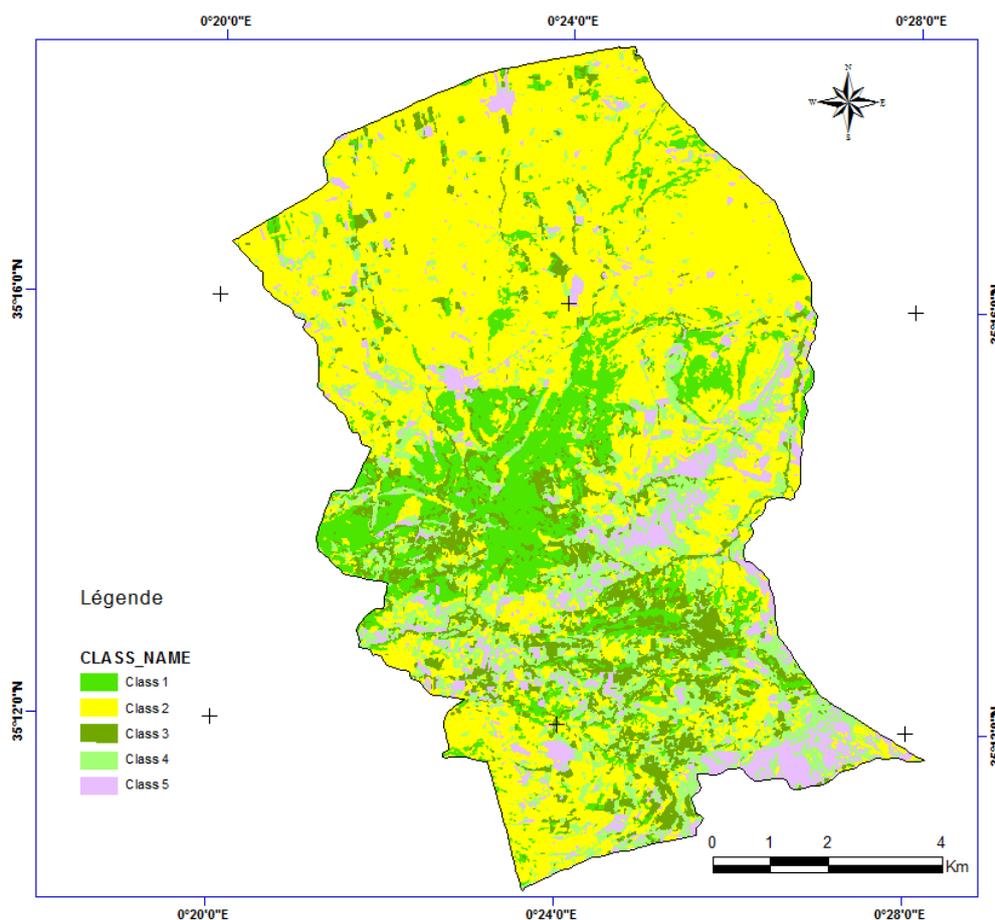


Figure n° 35: Carte d'occupation du sol de 2020. (Dr.Anteur)

3.2- L'état d'occupation du sol en 2020 :

D'après une campagne de deux mois a été réalisée entre le 06/01/2020 et le 12/03/2020 par deux sorties a la commune de Nesmoth, nous avons obtenir les résultats suivants pour faire la validation des différents classes de l image 2020.

Le couvert végétal principal dans notre zone d'étude est de végétation cultivé céréaliculture et arboriculture hectares et des espèces Forestiers qui sont composés le Pin d'Alep, le Chêne liège, l'Eucalyptus, le chêne vert, le thuya et un sujet de cèdre ainsi qu'un couvert végétal secondaire. Ce dernier est constitué des maquis sont composés à base de lentisques, genévrier, jujubier, olivier sauvage, palmier nain, et d'autres espèces en associations, etc.

Cette classification se base sur l'arrangement des pixels selon des valeurs radiométriques homogènes. Le figure 41 représente le résultat de cette classification.

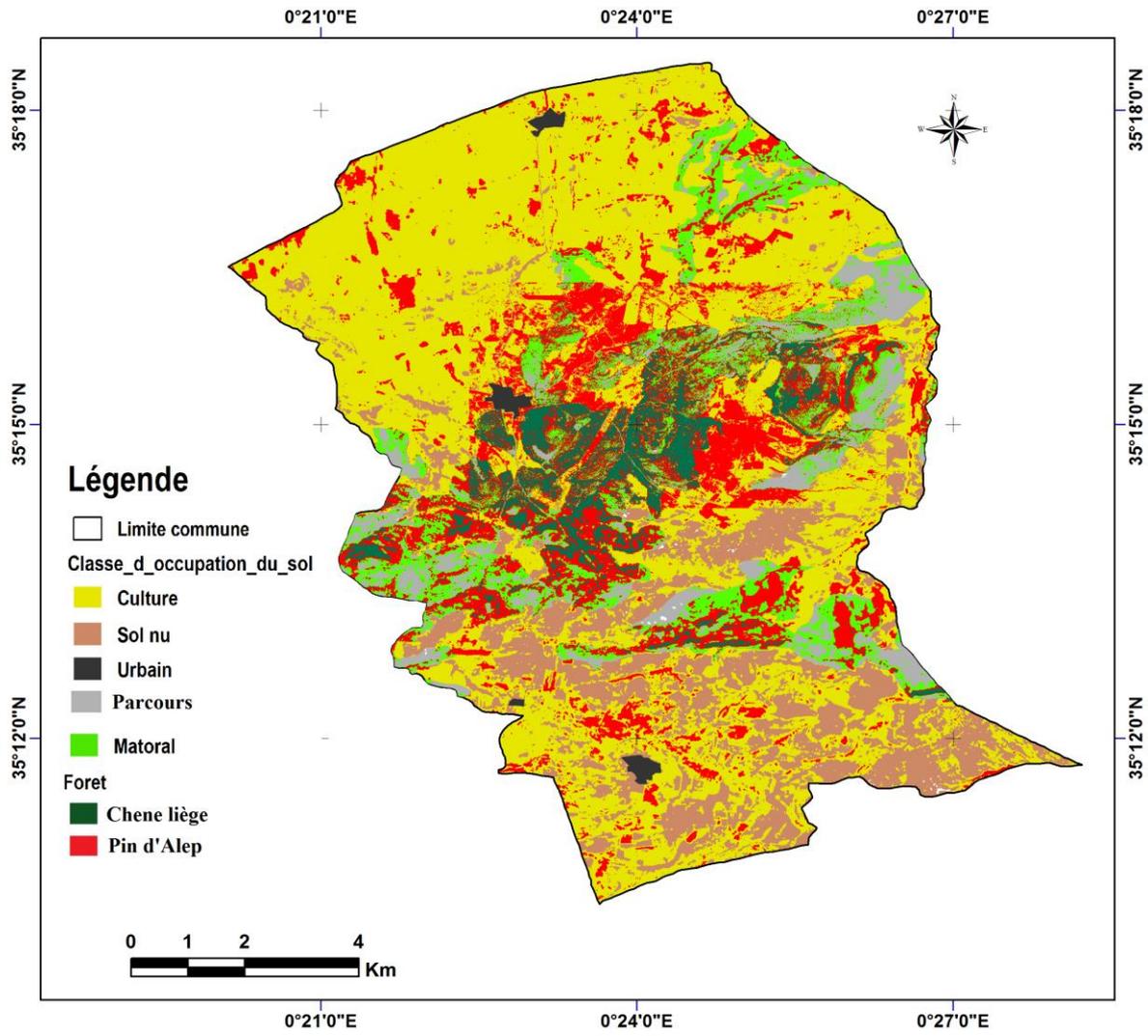


Figure n°36 : Carte d'occupation du sol de 2020. (Dr.Anteur)

Identification des classes :

Feillus dense :

Cette classe est représentée par la forêt de Nesmoth, se trouvant dans la partie Centre de la zone d'étude, ces formations sont très localisées, elles sont caractérisées essentiellement par le chêne liège (*Quercus suber L.*)



Photo n°1 : forêt de chêne liège date 06/01/2020 Dr. Anteur



Photo n°2 : exploitation du liège date 12/03/2020 Dr. Anteur

Feuillus claire :

Juste au dessous de la classe précédente, à faible densité, les espèces les plus répondeu (strate arborée) sont : le chêne liège (*Quercus suber L.*) et le Chêne kermès (*Quercus coccifera*) et le Chêne vert (*Quercus ilex*).



Photo n°3 : foret de chêne vert date 06/01/2020 Dr. Anteur

Résineux :

Formation végétale à base de Pin d'Alep (*Pinus halipensis*), couvre en majorité de la foret de nesmoth



Photo n°4 : foret de Pin d'Alep date 06/01/2020 Dr. Anteur

Maquis denses :

les maquis denses de la région en question constituent un domaine complexe, les espèces dominantes sont : Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus L.*), chêne vert (*Quercus ilex*), Genévrier (*Juniperus oxycedrus*), Olivier commun (*Olea europaea*), la Filaire (*Phillyrea angustifolia*), le Thym (*Thymus vulgaris*), le Romarin (*Rosmarinus officinalis*), les Cistes, la Lavande (*Lavandula angustifolia*), le Myrte (*Myrtus communis*) et la Bruyères arborescentes (*Erica arborea*).



Photo n°5 : Maquis denses date 12/03/2020 Dr. Anteur

Maquis ouvert :

Répartis sur la totalité de la zone Sud et Sud Est, les maquis claires sont composés essentiellement par : Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus L.*), Calicotome épineux (*Calicotome spinosa*), Jujubier (*Ziziphus lotus*), Diss (*Ampelodesma mauritanica*), Palmier nain (*Chamaerops humilis L.*), ...ect.



Photo n°6 : Maquis ouvert date 12/03/2020 Dr. Anteur

Cultures :

Les cultures (céréaliculture et culture maraîchère, arboriculture) installé dans la partie Nord dans la plain de Ghris, parmi ces cultures on trouve les céréales (blé dure, blé tendre, et l'orge) et des culture irrigué tel que des champs (de pomme de terre et de oignon) et des vergés d arboricultures (olivier et pêcher et amandier).



Photo n°7 : les cultures date 12/03/2020 Dr. Anteur

Sols nus :

Vu la saison de prise d'image, cette classe englobe les sols nus en toutes catégories, sol nu en jachère, dégradé ainsi que les Badlands.



Photo n°8 : sol nu date 06/01/2020 Dr. Anteur

5- Résultat de la détection des changements

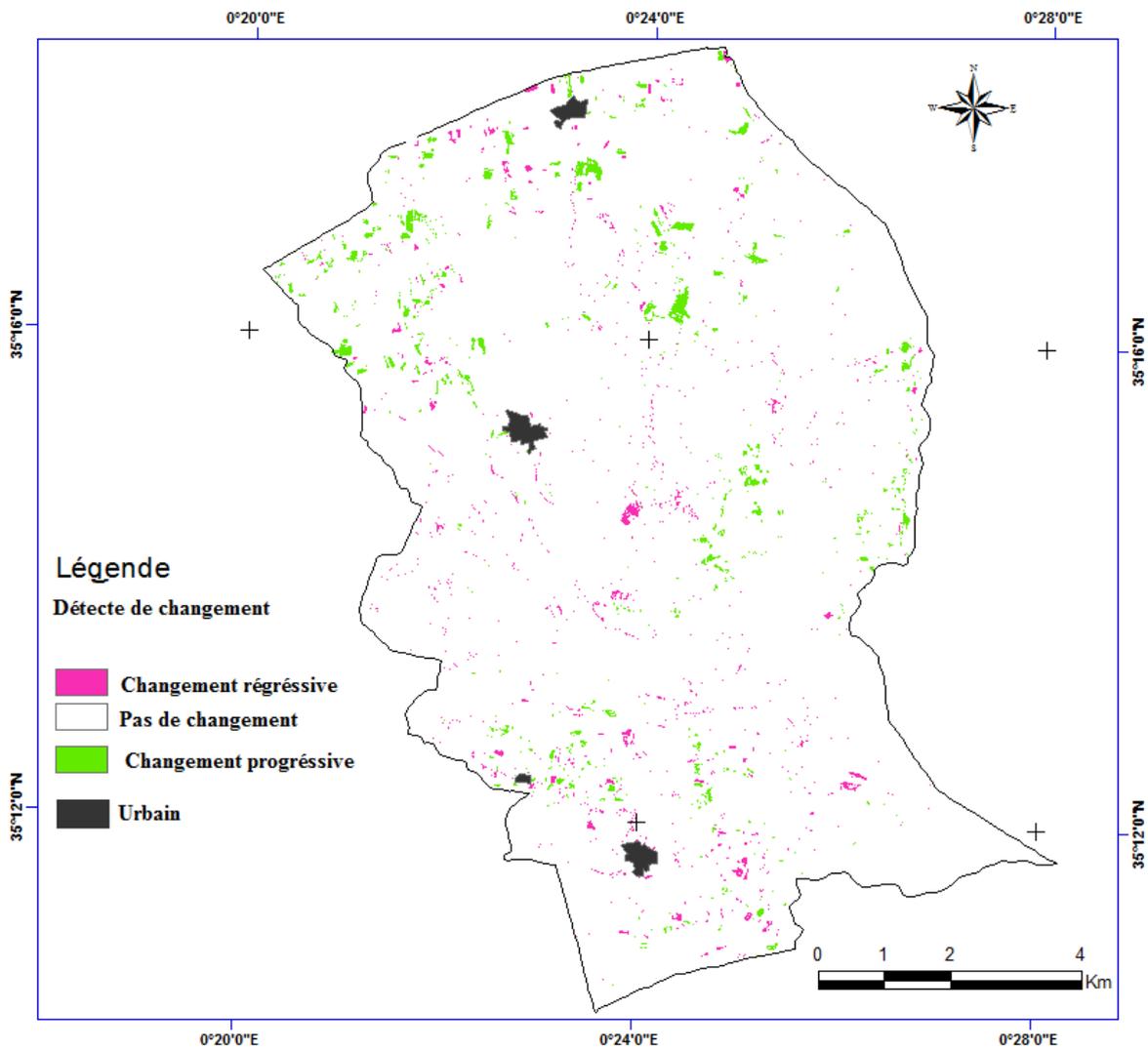


Figure 37 : Carte de détection des changements d'occupation du sol entre 2010 et 2020.

(Dr.Anteur)

Conclusion générale :

Sur le plan biologique, le couvert végétal principal dans notre zone d'étude est de végétation cultivée céréaliculture et arboriculture et des espèces Forestiers qui sont composés le Pin d'Alep, le Chêne liège, l'Eucalyptus, le chêne vert, le thuya et un sujet de cèdre ainsi qu'un couvert végétal secondaire. Ce dernier est constitué des maquis sont composés à base de lentisques, genévrier, jujubier, olivier sauvage, palmier nain, et d'autres espèces en associations, etc.

Sur le plan géomatique, l'apport de la télédétection spatiale peut être résumé dans la mise en évidence de la tendance générale de la dynamique de l'occupation des sols. Par ailleurs, la détection des changements est un processus d'identification des différences d'état d'une zone donnée, en l'observant à des dates différentes, afin de comprendre au sens large, l'évolution temporelle de cette zone

D'une façon générale, la région d'étude a subi une transformation importante liée essentiellement aux activités agricoles et à la pression démographique. Les changements spatio-temporels qui ont lieu entre les deux images s'observent clairement.

Les résultats de cette analyse nous a permis d'identifier cinq classes d'occupation, qui sont :

Feuillus dense, Feuillus claire , Résineux, Maquis denses, Maquis ouvert, Cultures et Sols nus .

L'observation d'une modification bien accentuée de l'espace naturel par une extension de terrains incultes avec l'un accroissement des zones d'arboriculture fruitière et une réduction des zones de culture annuelle et des zones forestière. Les valeurs moyennes annuelles calculées de cet indice montrent une régression des superficies des classes : la classe 1 de 1798 ha à 1384,87 ; classe3 : 1223 à 1040,17 ; classe4 : 1968 à 1445,01 et la classe 5 de 774 à 741,79Ha. En revanche, la classe 2 (sols nus ou dégradés) connaît une tendance à l'évolution de la superficie des terre agricole au profit des forêts, le cas de la classe 2 ; la superficie à progressé de 4132,09 eu 5283,25. Donc, un changement remarquable durant 10 ans, avec un taux 5,5%, soit 2,63% un changement régressive et 2,37% vers un changement progressive par le changement des la destination des terre forestière vers des terres agricole pour l'arboriculture. L'augmentation de l'arboriculture fruitière est justifiée lors de nos enquêtes sur terrain par les témoignages des habitants qui confirment avoir entamé une opération d'implantation d'olivier, prunier, vignoble, etc subventionnée par l'Etat.

La carte du changement élaboré a permis de mettre en exergue les différents changements spatio-temporels du couvert végétal entre 2010 et 2020. Elle montre une évolution au niveau des différentes unités d'occupation du sol, car le décroissement des forêts indique que la population locale pratiqué la notion du défrichement sur les versants et le surpâturage, par contre la réduction des zones de cultures annuelle se explique par l'accroissement des zones de terrain incultes. Durant cette période, les surfaces denses ont régressé en faveur des surfaces moyennes et faibles. Ce recul est marqué par une forte dégradation du milieu suite à une importante activité anthropique

(Déforestation, surpâturage, etc.) et par les conditions climatiques sévères (sécheresse). La pression de l'homme est intense sur les ressources naturelles dans les monts de Saïda et particulièrement sur la commune de Nesmoth, des écosystèmes forestiers qui se trouvent enclavés à l'intérieur des terres agricoles et des agglomérations rurales ce qui a accéléré sa dégradation entraînant, la transformation de ces futaies en maquis dégradés ou en simple terrain de parcours, la destruction des habitats de la faune et l'exposition du sol au phénomène de l'érosion.

Les différentes pressions sur la forêt Domaniale de Nesmoth ont réduit la superficie de sa couverture forestière et ont affaibli son rôle de protection et de production particulièrement pour son liège considéré comme étant de bonne qualité.

Ce changement est confirmé dans le temps et dans l'espace, par le passage de la forêt dense à moyennement dense à la forêt dégradée et/ou matorral, quant à l'agriculture son expression n'a pas beaucoup changé, contrairement à l'activité pastorale qui gagne du terrain. Cette tendance révèle une forte régression des forêts aux profits des sols nus et dégradés. Ainsi, les superficies des sols nus ont évolué de plus de 25%. En revanche, les superficies des espaces végétaux ont enregistré respectivement une baisse d'occupation d'ordre moins de 20%

En effet, l'étude de l'activité chlorophyllienne des plantes à travers le NDVI montre aussi un changement de l'état florissant des plantes. Il a subi un recul surtout. Il existe aussi une grande différence entre les valeurs maximales et minimales, ce qui signifie qu'il y a une large superficie qui est formée par des plantes très dégradées dont les valeurs NDVI s'approchent beaucoup de celles du sol nu.

L'application des techniques de télédétection, doit permettre d'effectuer une analyse des changements intervenus au cours d'un intervalle de temps donné, la quantification des pertes en ressources naturelles et la recherche des éléments de causalité, en vue de lutter efficacement contre la régression de l'espace végétal.

Références Bibliographiques

- JULIAN C., BARB ALATA, ION IONESCU et IOAN NOAJE (1997)** - Étude de L'évolution du milieu naturel du delta du Danube, Télédétection des milieux urbains et périurbains. Ed. Aupelf-UREF. 1997, p.337-346
- C.F.W.M., 1992**- Fiche technique sur le pin d'Alep du canton Terziza de la forêt domaniale de Nesmoth. Circonscription de Tighenif. District de Nesmoth, aout 1992, 6p.
- C.F.W.M., 1997**- Fiche descriptive de la forêt de Nador. Circonscription des forêts de Teghenif, 2p.
- C.F.W.M.,2017**- Fiche technique de la forêt de Nesmoth. 2p.
- Debrach J., 1953**-Note sur le climat du Maroc occidental. Maroc médical 32(342).pp.1122-1134
- Ammari M., 2011**. Etude de la dimension fractale du front dans un système désordonné binaire. Application aux feux de forêt. Thèse Magister. *Univ Oran*. Algérie, 90 p.
- Anteur, Dj.** Intégration des données écologiques pour déterminisme du facteur écologique eau, cas de sites test choisie dans l'Ahaggar. Algerie. Thèse Magister Univ de Mascara 2006.
- Anteur, Dj.** Intégration des données multi-sources dans un Système d'Informations Géographiques (SIG) pour le diagnostic du milieu et l'aménagement hydro- agricole de la région steppique ouest-algérienne. Thèse de doctorat, Univ AbdelhamidIbn Badis De Mostaganem
- Thabet. S., 2008**. Etude bioclimatique et Analyse des tendances climatiques en Algérie orientale entre 1885 et 2008 – Réflexion en termes de conséquences sur la végétation. Thèse doctorat. Département de biologie végétale. Université Mentouri Constantine. Algérie.
- NASA, 2011** : http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_1.html).
- Le Houerou H.N., 1969**. La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues d'Algérie, Lybie et Maroc). *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunis*, 42(5): 561p
- Le Houerou H.N., 1980**. L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne. *Rev. For. Méd.* II (1-2) : pp : 31 – 35 et 115 – 174.
- Ferchichi A., 1999**. Les parcours de la Tunisie présaharienne : Potentialités, état de désertification et problématique d'aménagement. *Options Méditerranéennes* 1999 ; 39 : 137-41.
- Gausse H., 1952**. Le dynamisme des biocénoses végétales. Colloques internationaux CNRS XXXIII, Ecologie, (Année biologique, Ser ; III, 27 (2)) : 9-22.
- Tarhouni, M., Ouled Belgacem, A., Neffati, M. et Chaieb, M., 2007**. Dynamique

des groupements végétaux dans une aire protégée de Tunisie méridionale. Cahiers Agriculture, 16 (1), 7.

Saidi N., 1984. Dynamique de la végétation du maquis dans les chaînes de Dj Zerouela et de Dj Bou-Zegra (Atlas tellien), mémoire ingénieur, ENSA, El Harrach, Algérie, 131 p + Annexes.

MICLE., 1997. Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Environnement, Secrétariat d'Etat Chargé de l'Environnement (Décembre 1997). Elaboration de la stratégie nationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. 27p.

DGF., 2004. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Direction Générale des Forêts. Programme d'Action National sur la lutte contre la Désertification. 104 p.

Merlet. N., 2007. Cartographie dynamique de la propagation des incendies de forêts à l'usage des acteurs de la lutte et de l'aménagement, approche basée sur le couplage de données d'observations aériennes et sol, et intégration opérationnelle sous SIG. Mem. Mas. Université de Toulouse - Le Mirail. 102p.

bdelguerfi A et Ramdane M. S. A., 2003. FEM/PNUD, Projet ALG/97/G31, Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité, TOME VII, Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie, bilans des expertises. 157 p, 2003.

Aidoud A., 1998. Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. Conférences 3. Laboratoire d'Écologie Végétale. Université de Rennes 1. 50 p.

Ammar Khoudja M., 1986. Etude de la dynamique de la végétation du maquis dans la région de MECHTRAS (Grande Kabylie), mémoire ingénieur, ENSA, El Harrach, Algérie, 71 p.

Arfa Azzedine M. T., 2008. Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion, Mémoire magistère, Univ. Mentouri Constantine, 124pp.

Bannari A, Morin D, Huete A.R. et Bonn F., 1995. A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews, n°13, 95-120.

Benabdeli K., 1996. Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers faces à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya. Algérie occidentale. Thèse de doctorat Es-sciences. UDL., 356p.

Benabid A., 2002. Le Rif et le Moyen-Atlas (Maroc): Biodiversité, Menaces, Preservation. Mountains High Summit Conference for Africa. UNEP/Nairobi, May 2002.

FAO., 2002. Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Algérie, 60 p.

FAO., 2010. Evaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport principal. ÉTUDE FAO: FORÊTS 163. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 2010. 377 p.

FAO., 2011. Evaluation des ressources forestières mondiales 2010, Rapport national « Algérie », Département des forêts, FRA2010/003, Rome, 57 p.

Manière R., Bassisty E., Celles J. C et Melzi S., 1993. Utilisation de la télédétection spatiale (données XS de Spot) pour la cartographie de l'occupation du sol en zones arides méditerranéennes : exemple d'Aïn Oussera(Algérie). Cah. Orstom, ser. Pédol., vol. XXVIII, 1, 67-80.

Rouse, J.W. et Haas, R.H., 1973. Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. Third ERTS Symposium, 1, 309-317. - Washington DC: NASA.

Rouse J. W., Hass R. H., Shell J. A., Deering D. W., Harlan J. C., 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 p.

Girard M. C., et Girard, C. M., 1989. Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales. (2 ed.), Paris, Masson, 260 p.

Girard M.C. et Girard C.M., 1999. Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 p. + CD-ROM.

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

UVED., 2008. ENVCAL - Suivi de l'environnement par télédétection, Cours en ligne. Université Paris I, Panthéon-Sorbonne.

Huete A.R., 1989. Soil influences in remotely sensed vegetation canopy spectra. Theory and application of optical remote sensing, 107-141. - G. Asrar Ed., New York.

Jensen J.R., 2000. Remote sensing of the environment: *an Earth resource perspective*. Upper Saddle River : NJ: Prentice Hall. 544p.

