

Université des Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale **قسم :** بيولوجيا و علم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Intitulé :

Estimation par télédétection du biovolume végétal pour le calcul de l'indice de combustibilité : comparaison entre les différents indices de végétation, cas de la forêt de Chettabah (Constantine)

Présenté et soutenu par : *HAMDI Roufeida et BOULHENDI Aymen*

Le : septembre 2020

Jury d'évaluation :

| | |
|---|--------------------------------|
| Président du jury : BENDERRADJI Mohamed El Habib | Prof. UFM-Constantine 1 |
| Rapporteur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik | MCB UFM-Constantine 1 |
| Examineurs : ALATOU Djamel | Prof. UFM-Constantine 1 |
| Examineurs : GANA Mohamed | MAB UFM-Constantine 1 |

*Année universitaire
2019 – 2020*

Dédicaces

et

Remerciements

Remerciements

La réalisation d'un mémoire de fin d'étude est certes un travail personnel mais pas un travail achevé sans aide ni conseils, c'est l'aboutissement d'un parcours accompli en plusieurs mois qu'on n'aurait pas pu le réaliser seules. C'est pourquoi on tient à exprimer toutes nos gratitudes et nos remerciements.

Nous souhaitons avant tout remercier notre encadreur Dr ARFA A.M.T. d'avoir dirigé notre travail avec beaucoup d'efforts et de patience. Ses qualités pédagogiques remarquables nous ont permis de profiter de ses connaissances et ont contribué à l'avancement de notre travail en ne négligeant ni ses conseils avisés et précieux ni ses critiques constructives.

On tient également à remercier les membres du Jury de l'intérêt qu'ils témoignent à ce travail en acceptant de participer au jury et plus particulièrement :

Pr BENDERRADJI M.E.H d'avoir accepté de présider le jury de soutenance, Pr ALATOU D. et Dr GANA M. d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement nos parents pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et financier, qui nous a permis de réaliser les études qu'on voulait et par conséquent ce mémoire.

Finalement nous voudrions exprimer nos sincères reconnaissances envers nos amies pour leur soutien moral et intellectuel tout au long de nos démarches et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce cheminement.

DEDICACE

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU
De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste
travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

Les parents les plus chers au monde, papa et maman

Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et
leurs prières tout au long de mes études, que Dieu les garde et les
protège.

A ma petite sœur Anfel

Une sœur comme on ne peut trouver nulle part ailleurs, Puisse Allah
te protéger, garder et renforcer notre fraternité. Je te souhaite
tout le bonheur du monde.

A mon très cher frère Dayaa Eddine

Mon cher petit frère présent dans tous mes moments d'examens par
son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je te souhaite un
avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je
t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et
d'amour

A ma Grande mère chérie

Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui
prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les deux
vies.

A mon binôme et mon amie Roufeida

Pour tous les moments que nous avons passés ensemble, que ce soit
pendant ce projet ou pendant notre parcours universitaire,

A tous ceux qui m'aiment et que j'aime

AYMEN

DEDICACE

Du profond de mon cœur je dédie ce travail à tous ceux qui
me sont chères

A la mémoire de mon père

Ce travail est dédié à mon père décédé trop tôt qui m'a
toujours poussé et motivé dans mes études, j'espère que du
monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste
comme preuve de reconnaissance de la part de sa fille

A ma chère mère

Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.
Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la
reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te
remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu
m'as toujours entourée.

A mes chères sœurs : Sara, Marwa et Mikka

Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien
moral. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de
bonheur, de santé et de réussite.

A mes chères amies : Yasmin, Biba, Lilia et Nani

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.
Merci d'être toujours là pour moi.

A toi mon binôme et mon ami : Aymen

Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout
au long de ce projet.

ROUFEIDA

Liste des abréviations

| | |
|----------------|---|
| ARVI : | Atmospherically Resistant Vegetation Index |
| BV : | Bio Volume |
| CCT : | Centre Canadian de la Terre |
| DVI : | Difference Vegetation Index |
| ENVI : | Environnement For Visualing Images |
| EVI : | Enhanced Vegetation Index |
| IC : | Indice de Combustibilité |
| IV : | Indice de Végétation |
| LAI : | Leaf Area Index |
| MSAVI : | Modified Soil Adjusted Vegetation Index |
| MSI : | Moisture Stress Index |
| NDVI : | Normalized Difference Vegetation Index |
| NDWI : | Normalized Difference Water Index |
| NGRDI : | Normalised Green-Red Difference Index |
| PIR : | Proche Infra-rouge |
| PVI : | Perpendicular Végétation Index |
| R : | Coefficient de corrélation |
| RVI : | Ratio Végétation Index |
| SAVI : | Soil Adjusted Végétation Index |
| SPOT : | Satellite Pour l'Observation de la Terre |
| SR : | Simple Ratio |
| TM: | Thématique Mapper |
| TSAVI : | Transformed Soil Adjusted Vegetation Index |
| USGS : | United States Geological Survey |
| UVED : | Université Virtuelle Environnement et Développement durable |
| VIG : | Végétation Green Index |

***Table des
illustrations***

Table des illustrations

Liste des cartes

| | |
|---|----|
| Carte 01 : Ratio Végétation Index (RVI) de la forêt domaniale de Chettabah..... | 16 |
| Carte 02 : Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) de la forêt domaniale de Chettabah... | 17 |
| Carte 03 : Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) de la forêt domaniale de Chettabah..... | 17 |
| Carte 04 : Vegetation Index Green (VIG) de la forêt domaniale de Chettabah..... | 18 |
| Carte 05 : Difference Vegetation Index (DVI) de la forêt domaniale de Chettabah..... | 18 |
| Carte 06 : BV de la forêt domaniale de Chettabah estimé à partir du VIG..... | 26 |
| Carte 07 : BV de la forêt domaniale de Chettabah estimé à partir du terrain (Bouaninba, 2010)..... | 26 |
| Carte 08 : IC de la forêt domaniale de Chettabah estimé à partir du VIG..... | 28 |
| Carte 09 : IC de la forêt domaniale de Chettabah estimé à partir du terrain (Bouaninba, 2010)..... | 28 |
| Carte 10 : Classes d'IC de la forêt domaniale de Chettabah estimé à partir du VIG..... | 29 |
| Carte 11 : Classes d'IC de la forêt domaniale de Chettabah estimé sur terrain (Bouaninba, 2010)..... | 29 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 01 : Exemples représentatifs du biovolume combustible et de sa répartition éventuelle en fonction des différentes strates..... | 03 |
| Figure 02 : Réflectance de diverses bandes en fonction de la santé de la végétation..... | 05 |
| Figure 03 : La localisation géographique de la forêt domaniale de Chettabah..... | 10 |
| Figure 04 : Végétation de la forêt domaniale de Chettabah..... | 11 |
| Figure 05 : Relevés de terrain du biovolume végétal de la forêt domaniale de Chettabah..... | 13 |
| Figure 06 : Comparaison entre l'RVI et le biovolume végétal estimé sur terrain..... | 19 |
| Figure 07 : Courbe de tendance de RVI en fonction du biovolume végétal..... | 20 |
| Figure 08 : Comparaison entre l'NDVI et le biovolume végétal estimé sur terrain..... | 20 |
| Figure 09 : Courbe de tendance de NDVI en fonction du biovolume végétal..... | 21 |
| Figure 10 : Comparaison entre l'SAVI et le biovolume végétal estimé sur terrain..... | 21 |

| | |
|--|-----------|
| Figure 11 : Courbe de tendance de SAVI en fonction du biovolume végétal..... | 22 |
| Figure 12 : Comparaison entre l’VIG et le biovolume végétal estimé sur terrain..... | 23 |
| Figure 13 : Courbe de tendance de VIG en fonction du biovolume végétal..... | 23 |
| Figure 14 : Comparaison entre l’DVI et le biovolume végétal estimé sur terrain..... | 24 |
| Figure 15 : Courbe de tendance de DVI en fonction du biovolume végétal..... | 24 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----------|
| Tableau 01 : Les grandes familles des indices de végétation..... | 06 |
| Tableau 02 : Comparaison entre les valeurs du BV de terrain et celui du VIG..... | 27 |
| Tableau 03 : Comparaison entre les valeurs de l’IC de terrain et celui du VIG..... | 27 |
| Tableau 04 : Comparaison entre les surfaces des classes d’IC (Terrain) et d’IC (VIG)..... | 30 |

Sommaire

Sommaire

| | |
|---|----|
| Liste des abréviations | |
| Table des illustrations | |
| Introduction | 01 |
| Chapitre I : Synthèse bibliographique | |
| 1. La télédétection | 02 |
| 2. Les applications de la télédétection en foresterie | 02 |
| 3. Notion de biovolume végétal (BV) | 03 |
| 4. L'indice de Combustibilité (IC) | 04 |
| 5. Les indices de végétations | 05 |
| 5-1. Principe des indices de végétation | 05 |
| 5-2. Différents types d'indice de végétation | 06 |
| 5-2-1. Ratio Végétation Index (RVI) | 07 |
| 5-2-2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)..... | 07 |
| 5-2-3. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)..... | 08 |
| 5-2-4. Normalized Green–Red Difference Index (NGRDI)..... | 09 |
| 5-2-5. Difference Vegetation Index (DVI)..... | 09 |
| Chapitre II : Matériels et Méthodes | |
| 1. Localisation et présentation de la zone d'étude..... | 10 |
| 2. Approche méthodologique..... | 12 |
| 2-1. Sélection et acquisition de l'image satellitaire..... | 12 |
| 2-2. Prétraitement et calibration de l'image satellitaire..... | 12 |
| 2-3. Calcul des 5 indices de végétation..... | 13 |
| 2-4. Comparaison entre les valeurs d'indice de végétation et le biovolume végétal de terrain..... | 13 |
| 2-5. Calcul de l'indice de combustibilité à partir du biovolume végétal estimé..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 2-6. Comparaison entre l'indice de combustibilité calculé par télédétection et celui calculé à partir des relevés de terrain..... | 14 |
| 3. Matériels utilisés..... | 14 |
| 3-1. Image Landsat 5 TM..... | 14 |
| 3-2. Les logiciels..... | 15 |
| 3-2-1. Excel..... | 15 |
| 3-2-2. ENVI..... | 15 |
| 3-2-3. ArcGIS..... | 15 |

Chapitre III : Résultats et discussions

| | |
|---|----|
| 1. Calcul des indices de végétation..... | 16 |
| 2. Comparaison entre les valeurs d'indice de végétation et le biovolume végétal de terrain..... | 19 |
| 2-1. Ratio Végétation Index (RVI)..... | 19 |
| 2-2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)..... | 20 |
| 2-3. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)..... | 21 |
| 2-4. Vegetation Index Green (VIG)..... | 22 |
| 2-5. Difference Vegetation Index (DVI)..... | 23 |
| 3. Estimation du biovolume végétal à partir des valeurs de l'indice de végétation VIG..... | 25 |
| 4. Calcul de l'indice de combustibilité IC à partir du biovolume végétal estimé par VIG..... | 27 |
| 5. Comparaison entre les classes d'IC de terrain et les classes d'IC estimé par VIG..... | 29 |
| Conclusion..... | 31 |
| Références bibliographiques..... | 33 |
| Résumés | |

Introduction

Introduction

Parmi toutes les agressions que subit la forêt méditerranéenne en général et la forêt algérienne en particulier, l'incendie est le plus dévastateur. Par sa destruction massive des peuplements, il dégrade les sols, déforme les paysages et compromet la pérennité de la forêt. En Algérie, la surface parcourue annuellement par le feu varie entre 20 000 et 30 000 hectares. Il en résulte de très lourdes charges pour la société toute entière, pour l'Etat et les collectivités locales en particulier (Missoumi et Tadjerouni, 2003).

Les indices de végétation sont très utilisés pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux, comme la biomasse, l'indice de surface foliaire, la fraction de rayonnement photosynthétique actif et même pour calculer l'indice de combustibilité (UVED, 2008).

Dans les systèmes actuels d'estimation du risque d'incendie de forêt, le type de végétation ainsi que son biovolume représentent des facteurs importants de prédisposition au feu. La végétation est l'élément essentiel des incendies car elle constitue le matériel combustible.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à l'estimation du biovolume végétal, nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité, à partir des différents indices de végétation : NDVI, RVI, DVI, SAVI, et VIG.

Afin de valider nos résultats, nous avons choisis, comme site de référence, la forêt domaniale de Chettabah située dans la wilaya de Constantine, qui dispose de données sur le biovolume végétal, calculé à partir de relevés de terrains et de l'indice de combustibilité réalisées par Bouaninba (2010).

Le présent manuscrit est organisé en trois principaux chapitres, en plus de l'introduction, la conclusion et les perspectives :

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique sur la télédétection dans laquelle nous avons mis en exergue l'historique de la télédétection et ses utilisations dans le domaine de la foresterie, le biovolume végétal, les indices de végétation et l'indice de combustibilité.
- Le chapitre 2 présente la méthodologie de travail, où nous avons présenté les méthodes d'obtention des images satellitaires, le calcul des indices de végétation, du biovolume végétal et de l'indice de combustibilité.
- Le troisième chapitre a été consacré à la présentation et la discussion des principaux résultats obtenus.

Chapitre I
Synthèse
bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. La télédétection

En théorie, la télédétection est née de la fusion de deux inventions anciennes : la montgolfière et la photographie. En réalité, la télédétection moderne a fait son apparition aux Etats-Unis dans les années soixante, lorsque des capteurs nouveaux viennent compléter la traditionnelle photographie aérienne, qui a connu un essor considérable au cours du XX^e siècle. Aujourd'hui, les images de télédétection constituent une source d'informations importantes pour plusieurs applications (climatologie, météorologie, urbanisme, environnement, géologie, cartographie, végétation, etc.) (El-merabet, 2013).

La télédétection correspond à « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Thomas, 2007). Elle a pour objectif de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations. (Boucekara et Darabid, 2013).

2. Les applications de la télédétection en foresterie

L'usage de données de télédétection pour la gestion des forêts remonte aux années 70 avec le lancement des premiers satellites de la famille Landsat. Depuis lors, avec le lancement de plusieurs autres familles de satellites comme SPOT, Terra, Quick-Bird ou encore Ikonos, un large panel de techniques ont été développées et utilisées régulièrement par les professionnels. Pour chaque projet de ce genre, il est nécessaire de choisir, la combinaison entre type de données et techniques de classification (Lassieur, 2006).

Les applications de la télédétection en foresterie d'après le centre canadien de télédétection (2008) sont comme suit :

- ✓ la mise à jour du couvert forestier ;
- ✓ la surveillance de la diminution des ressources forestières ;
- ✓ la mesure des propriétés biophysiques des forêts ;
- ✓ la collecte d'informations sur les récoltes forestières ;
- ✓ la mise à jour des inventaires pour la demande de coupe ;
- ✓ les types de forêts et l'identification des espèces ;

- ✓ la densité de végétation ;
- ✓ les mesures de biomasse ;
- ✓ la surveillance de la qualité et la santé des forêts ;
- ✓ la surveillance de la diversité des forêts de la Terre ;
- ✓ l'identification des dommages subis par les forêts ;
- ✓ la cartographie des zones en feu ou brûlées.

3. Notion de biovolume végétal (BV)

Le biovolume végétal représente le volume total de matériel végétal d'un peuplement donné susceptible de brûler lors d'un feu éventuel. Ce biovolume correspond à un parallélépipède dans lequel la végétation serait enfermée en tenant compte du recouvrement de tous les types de combustibles dans toutes les strates. Si la végétation remplit entièrement le parallélépipède, le biovolume est égal à 50 (nombre maximum obtenu en faisant la somme des différents recouvrements par types de peuplement) ; dès que le recouvrement de la végétation diminue, le biovolume décroît. La figure 1 donne quelques exemples du biovolume et de sa répartition spatiale en fonction de différentes dispositions des strates (Trabaud, 1971).

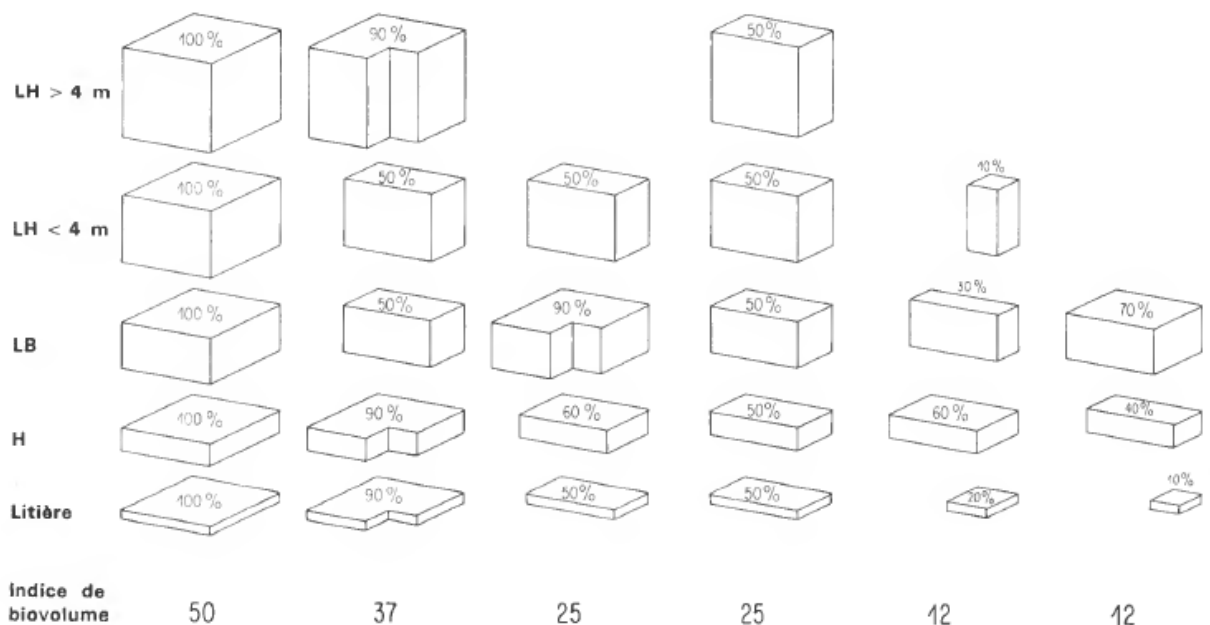


Figure 1 : Exemples représentatifs du biovolume combustible et de sa répartition éventuelle en fonction des différentes strates (les nombres placés sous les parallélépipèdes correspondent au biovolume tel qu'il peut être lu dans les siglages des formations) (Trabaud, 1971).

4. L'indice de Combustibilité (IC)

Les principaux critères qui interviennent dans l'apparition d'un feu de forêt, sont la structure spatiale du combustible (recouvrement horizontal et stratification verticale) et le type d'espèces dominantes. Les espèces dominantes qui caractérisent les formations en raison de leur importance constitutive influent sur l'inflammabilité et la combustibilité des peuplements intrinsèques (Trabaud, 1980).

La végétation est caractérisée par sa combustibilité qui représente son aptitude à propager le feu en se consumant. Elle traduit donc sa façon de se consumer, en libérant des quantités de chaleur plus ou moins importantes. La combustibilité dépend de la structure et des espèces dominantes de la forêt. Elle est corrélée à la quantité de biomasse combustible (BV) lié à la structure du combustible et sa composition. Pour évaluer l'indice de combustibilité (IC) nous utilisons une méthode mise au point par Alexandrian (1982) en France au CEMAGREF, exprimé par la relation suivante :

$$IC = 39 + 0,23 BV (E1 + E2 - 7,18)$$

BV : représente le biovolume de la formation végétale.

E1 : représente les notes de combustibilité pour les ligneux hauts les plus dominantes.

E2 : représente les notes de combustibilité pour les ligneux bas ou les herbacées les plus dominantes.

L'indice de combustibilité peut atteindre théoriquement 140 (Alexandrian, 1982). Il est codé en 5 classes :

- 1 : Faible : $IC < 40$.
- 2 : Modéré : $40 \leq IC < 50$.
- 3 : Moyen : $50 \leq IC < 60$.
- 4 : Elevé : $60 \leq IC < 70$.
- 5 : Très élevé : $IC > 70$.

5. Les indices de végétations

Une des tâches importantes assignées aux satellites civils de télédétection est la caractérisation de l'abondance et des variations de la biomasse terrestre. La télédétection de la végétation dans le domaine optique repose sur la forte absorption du rayonnement rouge par les végétaux verts, alors qu'ils réfléchissent la lumière solaire dans les longueurs d'onde correspondant au proche-infrarouge. Des relations ont été mises en évidence entre la quantité de biomasse aérienne ou le taux de couverture de la végétation et différents rapports ou combinaisons linéaires des données de ces canaux (rouge et proche-infrarouge) (Escadafal et Huet, 1990).

5-1. Principe des indices de végétation

Les indices de végétation permettent de relier des valeurs de réflectance à des caractéristiques physicochimiques des plantes. Dans le cas de la détection des colorations anormales des plantes, les indices de végétation utilisés servent à estimer la biomasse foliaire, la teneur en chlorophylles, la teneur en anthocyanes et le ratio des caroténoïdes et des chlorophylles, en distinguant ceux calculés à partir de données multispectrales et hyperspectrales. La plupart des indices de végétation sont obtenus par des combinaisons arithmétiques de bandes spectrales dans le visible et le proche-infrarouge (Figure 2). Les plus performants sont ceux calculés à partir de données acquises par des capteurs hyperspectraux et/ou obtenus par différence normalisée des bandes spectrales (Albetis De La Cruz, 2018).

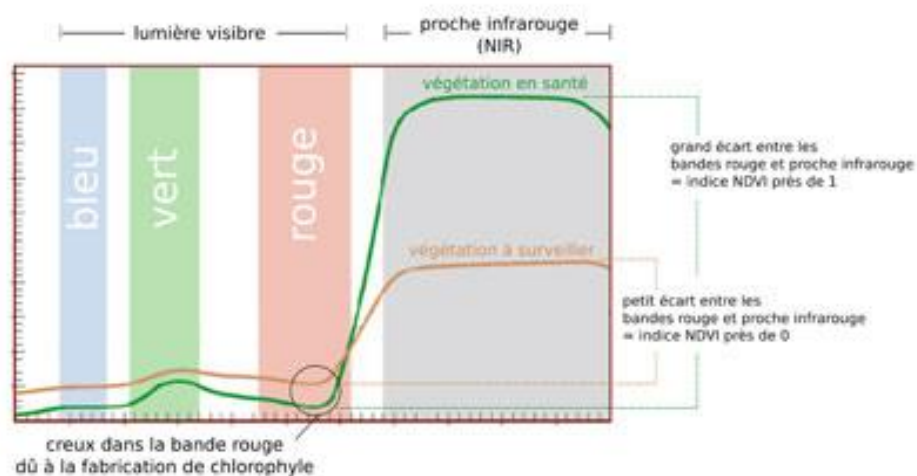


Figure 2 : Réflectance de diverses bandes en fonction de la santé de la végétation

(La terre.ca.2016)

5-2. Différents types d'indice 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 (Institut-Numérique, 2014). Le tableau ci-dessous résume quelques-uns des indices de végétation les plus couramment utilisés :

Tableau 1 : Les grandes familles des indices de végétation (synthétisé d'après : (Bacour *et al.*, 2006) (Krieger *et al.*, 1969) (Tucker, 1979) (Gao, 1996) (Hunt et Rock, 1989) (Richardson et Wiegand, 1977) (Huete, 1988) (Baret *et al.*, 1989) (Qi *et al.*, 1994) (Kaufman et Tanré, 1992) (Pinty et Verstraete, 1992) (Huete *et al.*, 1999))

| Les indices simples | |
|--|--|
| $DVI = \rho_{PIR} - \rho_R$ | Difference Vegetation Index |
| $RVI = \frac{\rho_{PIR}}{\rho_R}$ | Ratio Vegetation Index |
| $NDVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R}$ | Normalized Difference Vegetation Index |
| Les indices prenant en compte le stress hydrique | |
| $NDWI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{PIR} + \rho_{MIR}}$ | Normalized Difference Water Index |
| $MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{PIR}}$ | Moisture Stress Index |
| Les indices prenant en compte l'influence des sols | |
| $PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)$ | Perpendicular Vegetation Index |
| $SAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L)$ | Soil Adjusted Vegetation Index |
| $TSAVI = \frac{a(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{PIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$ | Transformed Soil Adjusted Vegetation Index |
| $MSAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L)$ | Modified Soil Adjusted Vegetation Index |
| Les indices prenant en compte les effets de l'atmosphère | |
| $GEMI = \eta(1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0,25}{1 - \rho_{rouge}}$ | Global Environment Monitoring Index |
| $ARVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{rb}}{\rho_{PIR} + \rho_{rb}}$ | Atmospherically Resistant Vegetation Index |
| Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère | |
| $EVI = G \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$ | Enhanced Vegetation Index |

5-2-1. Ratio Végétation Index (RVI)

Le RVI s'exprime de façon très simple, il est égal au rapport entre les bandes du PIR et du rouge (Krieger *et al.*, 1969). Pearson et Miller (1972) ont proposé de prendre le rapport entre les bandes afin de normaliser l'effet topographique.

Le RVI correspond à la pente de la droite reliant l'origine (0,0) au point représentant la végétation dans l'espace spectral à deux dimensions (rouge (R) – proche infrarouge (PIR)). Le RVI varie entre $[0, +\infty [$. Une végétation dense générera des valeurs allant jusque 10, le sol des valeurs proche ou supérieures à 1 tandis que nuages, eau et neige (plus forte réflectance dans le visible que dans le PIR) auront des valeurs inférieures à 1. Les indices de type RVI ont eu un grand succès et un grand nombre furent créés mais seule la version présentée ci-dessous a subsisté dans les études récentes, notamment sous le nom de « simple ratio, SR » (Ledant, 2006).

$$\text{RVI} = \rho\text{PIR} / \rho\text{R}$$

ρPRI : réflectance dans la bande proche-infrarouge ;

ρR : réflectance dans la bande rouge.

L'inconvénient de cet indice est qu'il est très sensible aux variations atmosphériques, ainsi qu'à la contribution spectrale des sols. En outre, lorsque la végétation est très dense, la réflectance dans la bande rouge devient très faible, ce qui entraîne une saturation des valeurs de l'indice RVI (UVED, 2008).

5-2-2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Le concept de l'NDVI repose sur le fait qu'un couvert végétal absorbe l'énergie dans la bande du rouge par la chlorophylle de la plante et réfléchit beaucoup dans la bande du proche-infrarouge (Robin, 2002). L'élément intéressant avec l'utilisation de ces bandes est qu'elles permettent un contraste élevé au niveau des propriétés optiques entre la roche et la végétation. Ce contraste est utile pour l'estimation de la proportion de végétation (Baret *et al.*, 1995).

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

ρPRI : réflectance dans la bande proche-infrarouge ;

ρR : réflectance dans la bande rouge.

En théorie, les valeurs de l'NDVI pour la végétation tendent vers 1 tandis que celles des zones non végétales tendent vers -1. Ainsi, plus la proportion de végétation décroît, plus les valeurs de réflectance du rouge tendent à décroître linéairement, faisant en sorte que la relation entre les recouvrements végétaux en pourcentage et les valeurs de l'NDVI est linéaire (Beck *et al.*, 2006). L'utilisation de l'NDVI comme indice de végétation tend à réduire les effets d'éclairement ou de pente, c'est-à-dire, d'atténuer les effets d'ombrage occasionnés par la topographie, permettant ainsi d'analyser les recouvrements végétaux de manière quasi indépendante du relief. L'NDVI a de plus démontré une sensibilité intéressante aux couverts peu denses (Calloz et Collet, 2001).

5-2-3. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

Dans la littérature, l'indice SAVI est défini avec un facteur correctif L. Le SAVI correspond à la pente d'une droite qui joint un point de végétation et un point origine appartenant à la droite (1:1) et ayant une position fonction du facteur L.

- Lorsque L tend vers l'infinie le SAVI équivaut au DVI.
- A l'inverse, pour un L nul, le SAVI équivaut au NDVI.

$$\text{SAVI} = ((\rho_{\text{PIR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{PIR}} + \rho_{\text{R}} + L)) * (1 + L)$$

ρ_{PRI} : réflectance dans la bande proche-infrarouge ;

ρ_{R} : réflectance dans la bande rouge ;

L : facteur correctif déterminé théoriquement pour chaque type de sol

Le facteur correctif L dépend en réalité de la densité du feuillage (LAI = Leaf Area Index) et le meilleur ajustement dépendra du fait que l'utilisateur veuille analyser des faibles densités de végétation (L=1), végétations intermédiaires (L=0,5), végétations denses (L=0,25). Néanmoins, Huete (1988) affirme dans son étude que pour un L=0,5, le SAVI réduit de manière conséquente les variations induites par le sol et améliore la linéarité entre index et LAI en comparaison aux NDVI et PVI.

5-2-4. Normalized Green–Red Difference Index (NGRDI)

L'indice de différence normalisé vert-rouge (NGRDI), connu aussi sous le nom de vegetation index green (VIG), a été proposé par (Hunt *et al.*, 2005) et testé sur des photographies numériques de cultures telles que le maïs, la luzerne et le soja, qui ont été capturées par un appareil photo numérique monté au bas du fuselage d'un avion. La méthode de l'NGRDI a été utilisée pour surmonter les différences dans les paramètres d'exposition sélectionnés par l'appareil photo numérique lors de l'acquisition de la photographie aérienne du terrain (Hamuda *et al.*, 2015).

Le NGRDI est calculée à partir de la réflectance dans les parties verte et rouge du spectre, qui peut être dérivée d'images en couleurs réelles. Cet indice est conçu pour réduire les variations causées par les différences d'irradiance et d'exposition (Hunt *et al.*, 2005).

$$\text{NGRDI} = \frac{V - R}{V + R}$$

V : réflectance dans la bande verte ;

R : réflectance dans la bande rouge.

Le composant V-R est utilisé pour faire la distinction entre les plantes vertes et le sol, alors que le composant V+R est utilisé pour normaliser les variations d'intensité lumineuse entre différentes images. Les valeurs du NGRDI peuvent varier de -1,0 à 1,0, où les valeurs positives croissantes indiquent une végétation verte croissante et des valeurs négatives indiquent un sol nu (Jannoura *et al.*, 2015).

5-2-5. Difference Vegetation Index (DVI)

Cet indice est le plus élémentaire et le plus ancien, il renseigne sur une couverture suffisante ou non du sol par la végétation. Il permet une bonne discrimination des éléments du paysage qui est égal à la simple différence des bandes du proche-infrarouge et du rouge (Boucekara et Darabid, 2013). Sa formule est la suivante :

$$\text{DVI} = \rho\text{PIR} - \rho\text{R}$$

Le DVI ne donne pas une bonne indication de l'état de la végétation car il est extrêmement influencé par l'éclairage différentiel et donc par les variations topographiques. Il en résulte que le DVI est très rarement utilisé, en comparaison aux autres indices plus performants (Ledant, 2007).

Chapitre II

Matériels et méthode

Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Localisation et présentation de la zone d'étude

La zone d'étude correspond à la forêt domaniale de Chettabah, elle est située au Sud-ouest de la commune de Constantine, elle chevauche sur deux communes : Ain Smara et Ibn Ziad. Elle est comprise entre les parallèles $36^{\circ}17'41,76''$ et $36^{\circ}21'33,47''$ de latitude Nord, $6^{\circ}26'3,60''$ et $6^{\circ}32'5,61''$ de longitude Est (Bouaninba, 2010) (Figure 03).

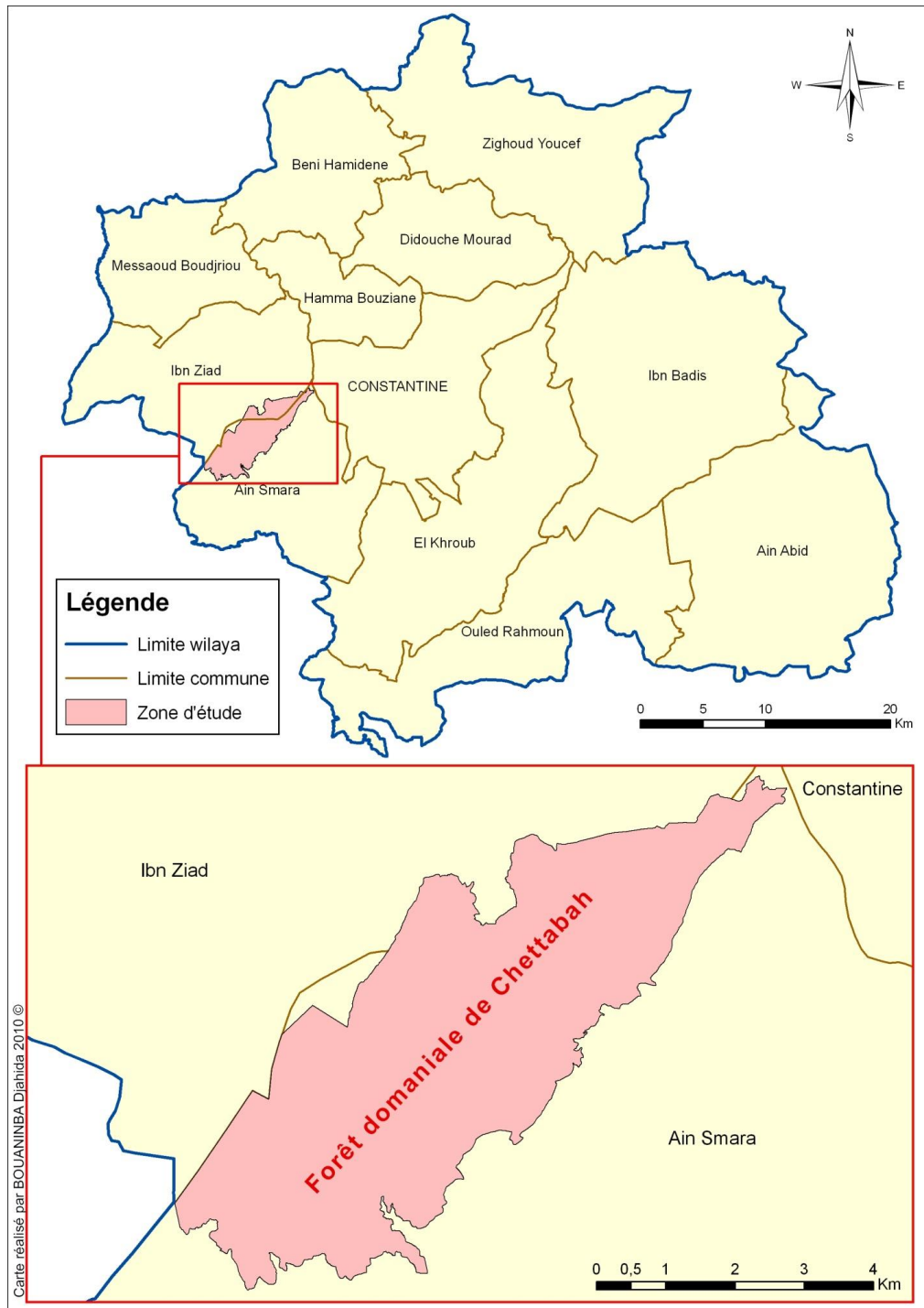


Figure 03 : Localisation géographique de la forêt domaniale de Chettabah (Bouaninba, 2010)

La forêt de Chettabah est une forêt qui appartient au domaine de l'état, sur les 2409,99 ha que compte la forêt, 322 ha ont été nationalisés dans le cadre de la révolution agraire. Elle est gérée par les services de la conservation des forêts de la wilaya de Constantine.

Le massif forestier de Chettabah n'occupe que 76,62% des 2409,99 ha du domaine forestier soit une surface de 1846,63 ha. La végétation de la forêt domaniale de Chettabah est composée essentiellement de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et de chêne vert (*Quercus ilex*) couvrant respectivement une superficie de 999,74 ha et 711,51 ha (Figure 4).

La strate arbustive comprend les espèces suivantes : *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea angustifolia*, *Phillyrea media*, *Juniperus oxycedrus*, *Crataegus azarolus*, *Cistus villosus*, *Ampelodesma mauritanica*, *Astragalus armatus*, *Asparagus acutifolius*, *Calycotome spinosa* (Bouaninba, 2010).

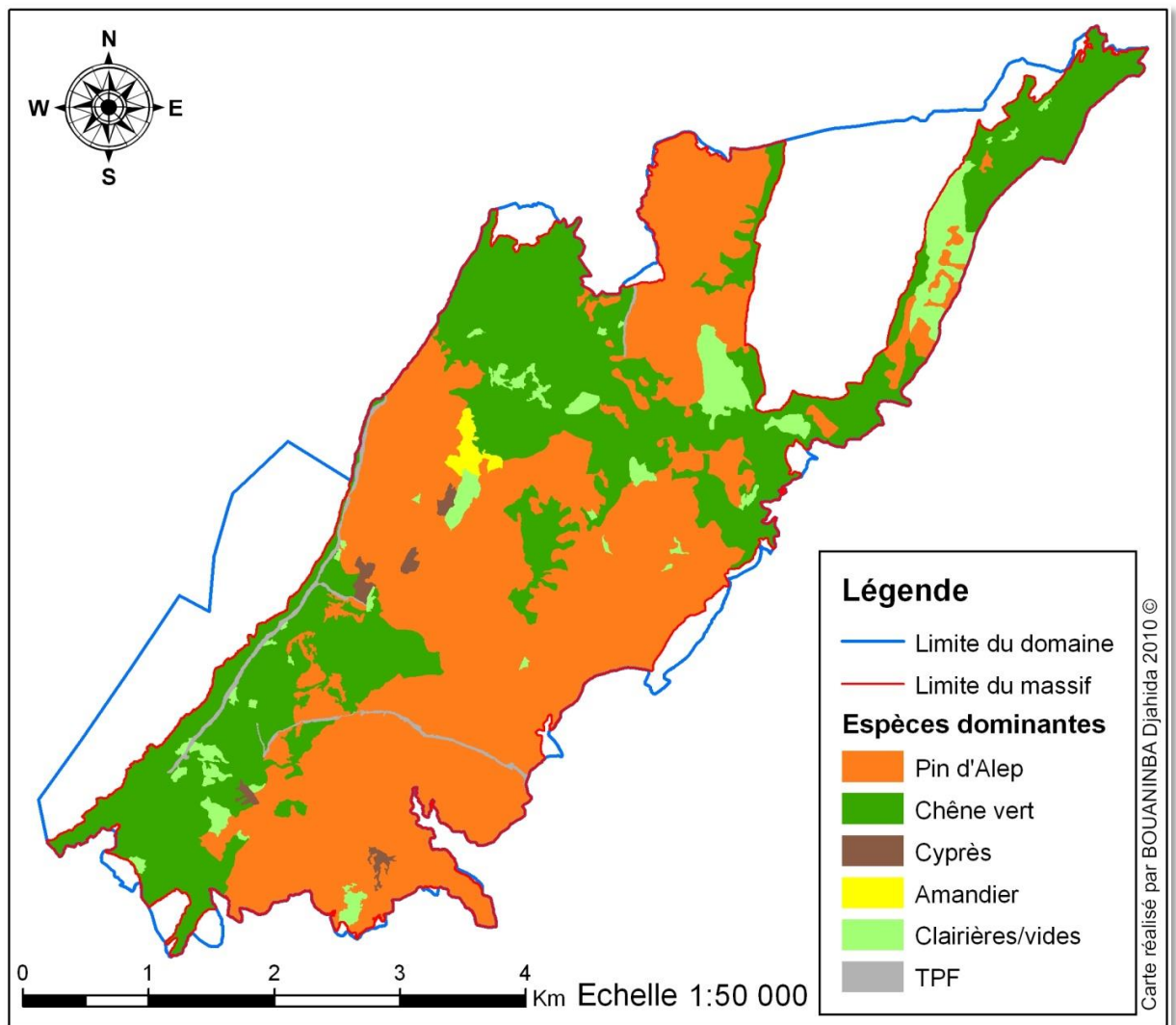
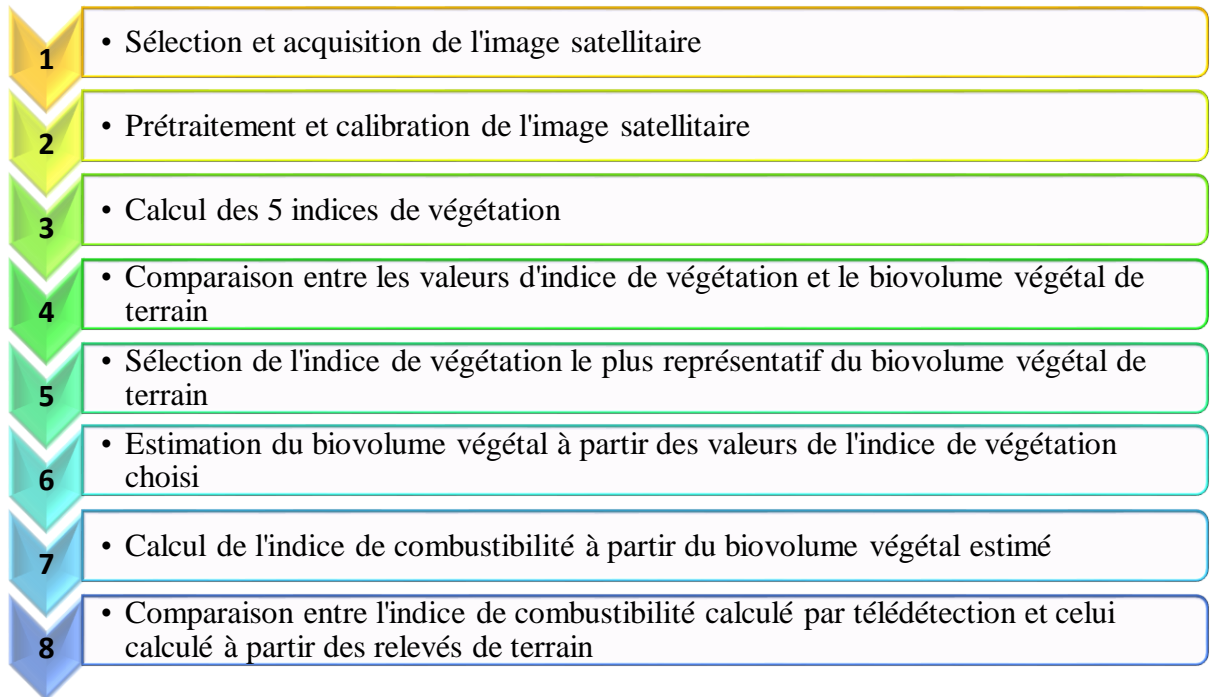


Figure 4 : Végétation de la forêt domaniale de Chettabah (Bouaninba.2010).

2. Approche méthodologique

La démarche adoptée pour répondre aux objectifs arrêtés, afin d'estimer le biovolume végétal et calculer l'indice de combustibilité en utilisant les techniques de la télédétection, se résume comme suit :



2-1. Sélection et acquisition de l'image satellitaire

Le choix du satellite et de la date de l'image est dicté par plusieurs critères à savoir :

- ✓ couverture de la forêt domaniale de Chettabah ;
- ✓ durant l'année 2009 (pour comparer avec les données de terrain de Bouaninba) ;
- ✓ absence de couverture nuageuse ;
- ✓ durant la saison printanière (de mars à mai) pour estimer la végétation herbacée ;
- ✓ donnée disponible gratuitement ;

A partir des critères précités, notre choix s'est porté sur le satellite Landsat TM 5, dont les images sont disponibles gratuitement sur le site web Earth Explorer de l'USGS « United States Geological Survey ».

2-2. Prétraitement et calibration de l'image satellitaire

La calibration radiométrique de l'image satellitaire est indispensable pour tout traitement d'images ayant pour but (Perrote *et al.*, 2003) :

- l'accès à des propriétés quantifiées des surfaces ;
- la comparaison des résultats d'un traitement avec les données mesurées sur le terrain ;
- les comparaisons multi-dates ;
- la reproductibilité d'une méthode d'identification ou de classification.

2-3. Calcul des 5 indices de végétation

L'image calibrée a servi pour le calcul des 5 indices de végétation choisis, à savoir : l'NDVI, le SAVI, le DVI, le RVI et le VIG, dont les caractéristiques et formules ont été présentés dans le chapitre I.

2-4. Comparaison entre les valeurs d'indice de végétation et le biovolume végétal de terrain

Les 279 relevés de terrain réalisés par Bouaninba en 2009, au niveau de la forêt domaniale de Chettabah (Figure 5), pour l'estimation du biovolume végétal combustible ont servi pour comparer et valider les valeurs calculées à partir des 5 indices de végétation.

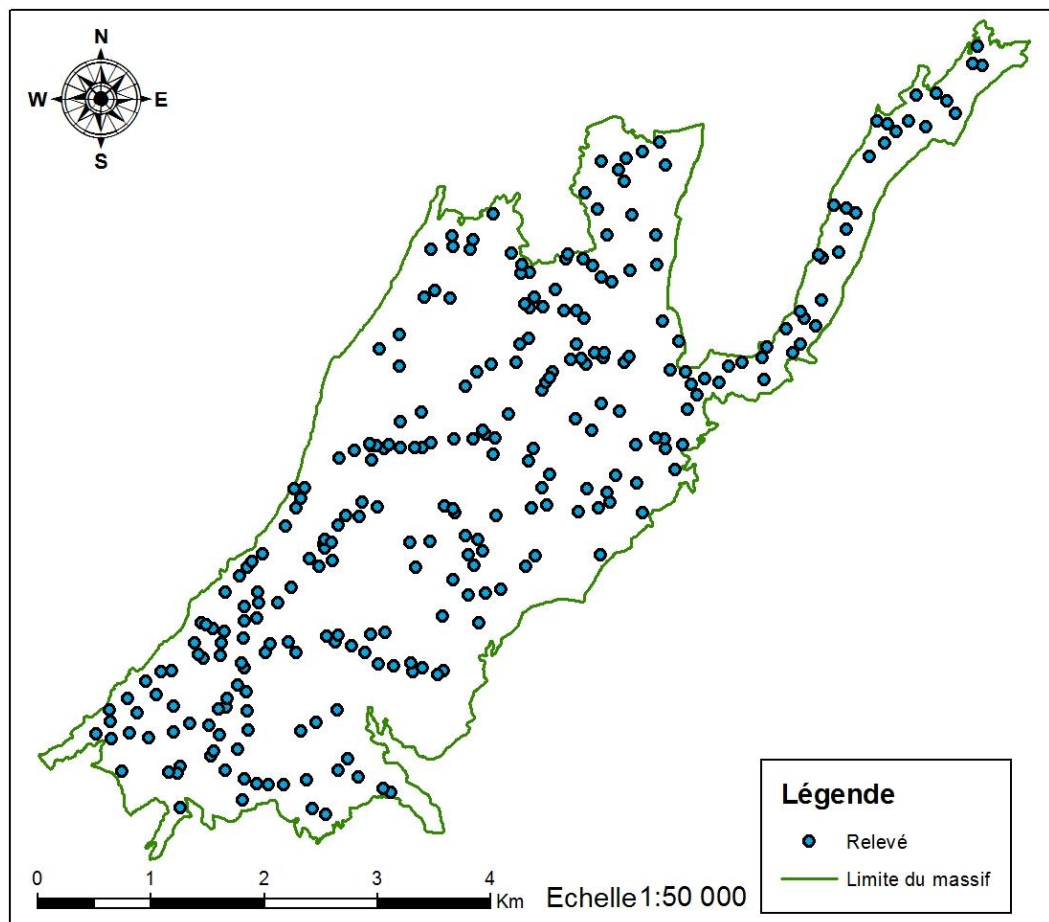


Figure 5 : Relevés de terrain du biovolume végétal de la forêt domaniale de Chettabah (Bouaninba.2010).

Grâce aux coordonnées géographiques des points de relevé, nous pouvons superposer les valeurs du biovolume végétal estimé sur terrain aux valeurs de chaque indice de végétation. Un coefficient de corrélation a été calculé entre les données de terrain et les données de chaque indice de végétation.

L'indice de végétation présentant la plus forte corrélation aux données de terrains sera pris en compte pour l'estimation du biovolume végétal combustible de la forêt domaniale de Chettabah.

2-5. Calcul de l'indice de combustibilité à partir du biovolume végétal estimé

Le biovolume végétal estimé à partir de l'indice de végétation a été utilisé pour calculer l'indice de combustibilité IC selon la formule : $IC = 39 + 0,23 BV (E_1 + E_2 - 7,18)$. Les notes d'intensité calorifique E_1 et E_2 ont été récupérées à partir des relevés de terrain de Bouaninba (2010).

2-6. Comparaison entre l'indice de combustibilité calculé par télédétection et celui calculé à partir des relevés de terrain

L'indice de combustibilité calculé à partir des données de télédétection a fait l'objet d'une comparaison avec l'indice de combustibilité calculé à partir des données de terrain réalisé par Bouaninba (2010).

3. Matériels utilisés

3-1. Image Landsat 5 TM

Le satellite Landsat TM 5 a été lancé en 1984. Il a un angle d'inclinaison de $98,3^\circ$ et une période de 98,5 minutes, effectuent de 14 à 15 révolutions par jour avec des distances à l'équateur, entre deux traces consécutives de 2.752 km, et recouvrent la même trace tous les 16 jours. Le capteur TM (Thematic Mapper) ou en français "Cartographie thématique" de Landsat 5 se caractérise par un grand nombre de bandes spectrales et offre une bonne résolution au sol. Les scènes TM couvrent chacune une surface de 172 x 185 Km.

Le capteur TM à bord du satellite Landsat 5 produit des images constituées de 7 bandes multi-spectrales :

- trois bandes visibles (bande 1 : bleu, bande 2 : verte, bande 3 : rouge) ;
- une bande proche infrarouge (bande 4) ;
- deux bandes moyennes infrarouges (bandes 5 et 7) ;
- une bande infrarouge thermique (bande 6).

Les bandes de 1 à 5 et 7 ont une résolution spatiale de 30 mètres, alors que pour la bande 6 elle est de 120 mètres (CCT, 2008).

3-2. Les logiciels

3-2-1. Excel

Microsoft Excel est un logiciel tableur de la suite bureautique Microsoft Office développé et distribué par l'éditeur Microsoft. Il a été utilisé pour la réalisation des graphiques et le calcul des coefficients de corrélation.

3-2-2. ENVI

L'ENVI (Environnement For Visualing Images) est un logiciel de télédétection qui fournit des outils pour la visualisation, le géoréférencement, les prétraitements, la classification et l'analyse des images satellitaires. L'ENVI 5.1 a été utilisé lors de cette étude pour la calibration de l'image et le calcul des 5 indices de végétation.

3-2-3. ArcGIS

ArcGIS est un système d'information géographique qui permet de visualiser, d'interroger, d'analyser et de mettre en page les données géographiques. Il fournit des outils interactifs pour explorer, sélectionner, afficher, éditer, analyser, symboliser et classifier les données ou pour créer automatiquement, mettre à jour ou gérer les cartes et métadonnées (Ouamara, 2013). La version 10.1 d'ArcGIS a été utilisée lors de cette étude.

Chapitre III

Résultats et

Discussion

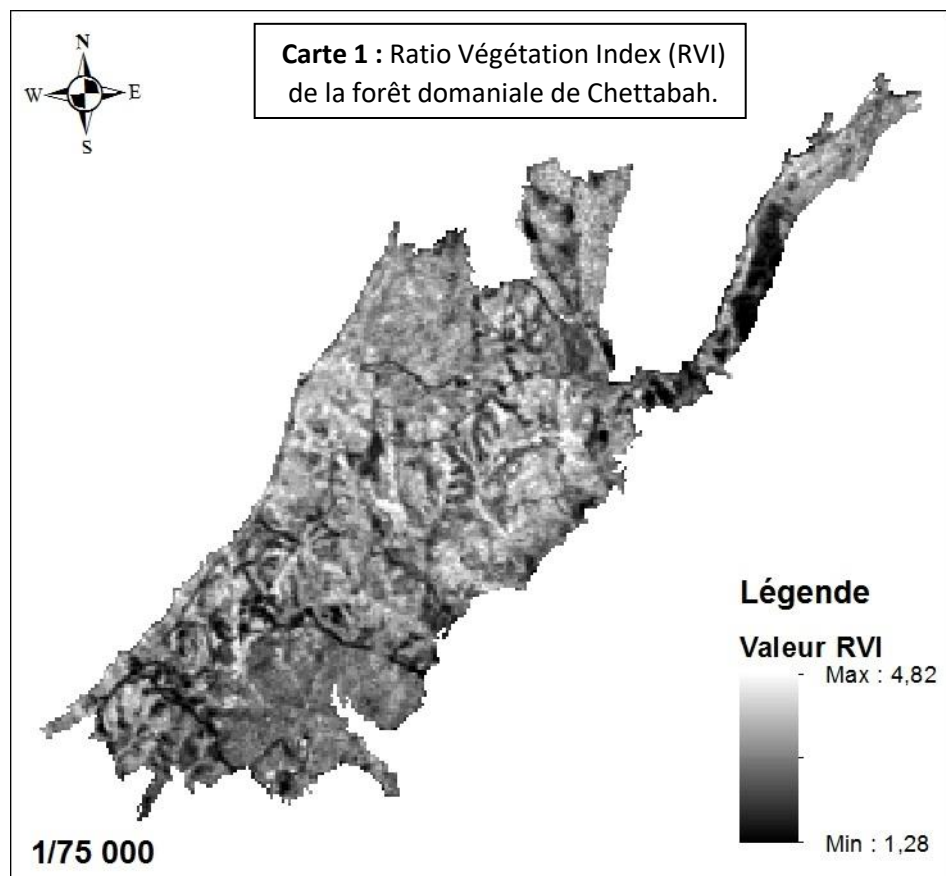
Chapitre III : Résultats et discussion

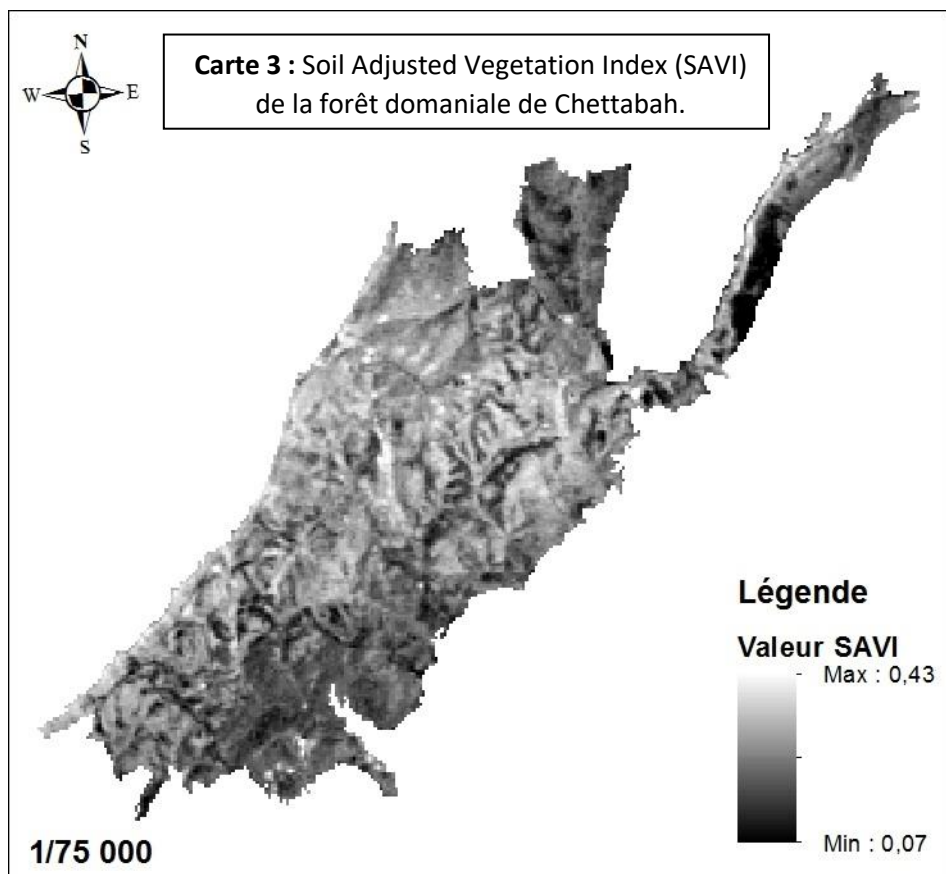
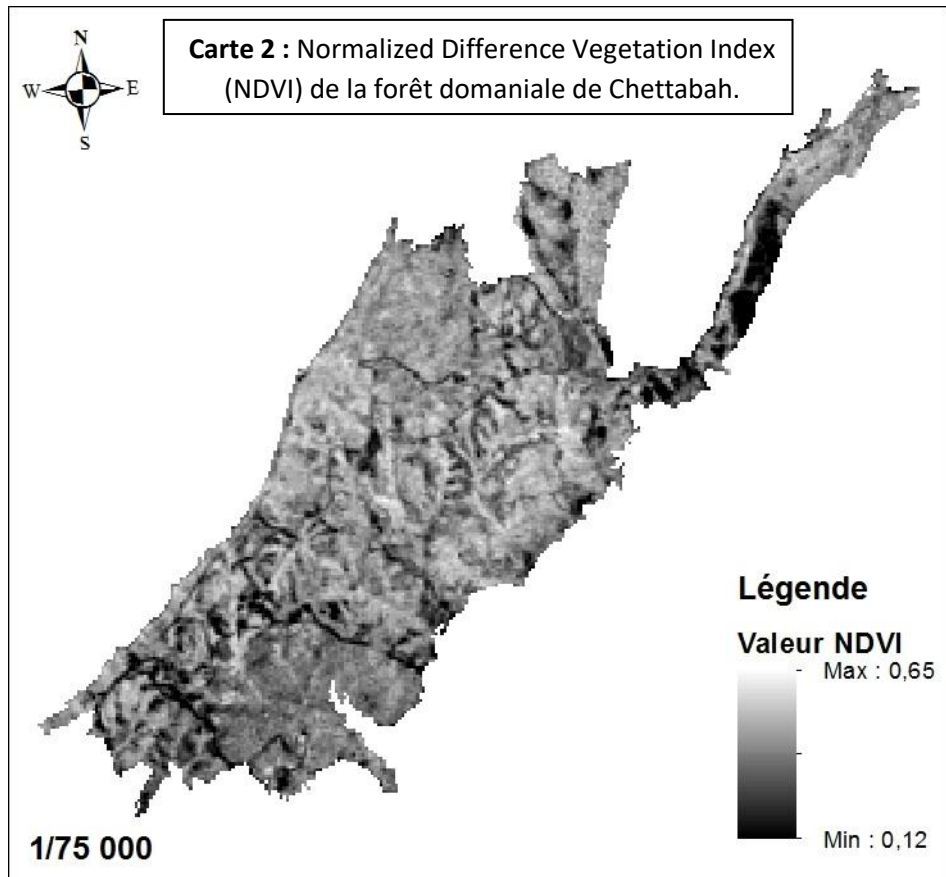
1. Calcul des indices de végétation

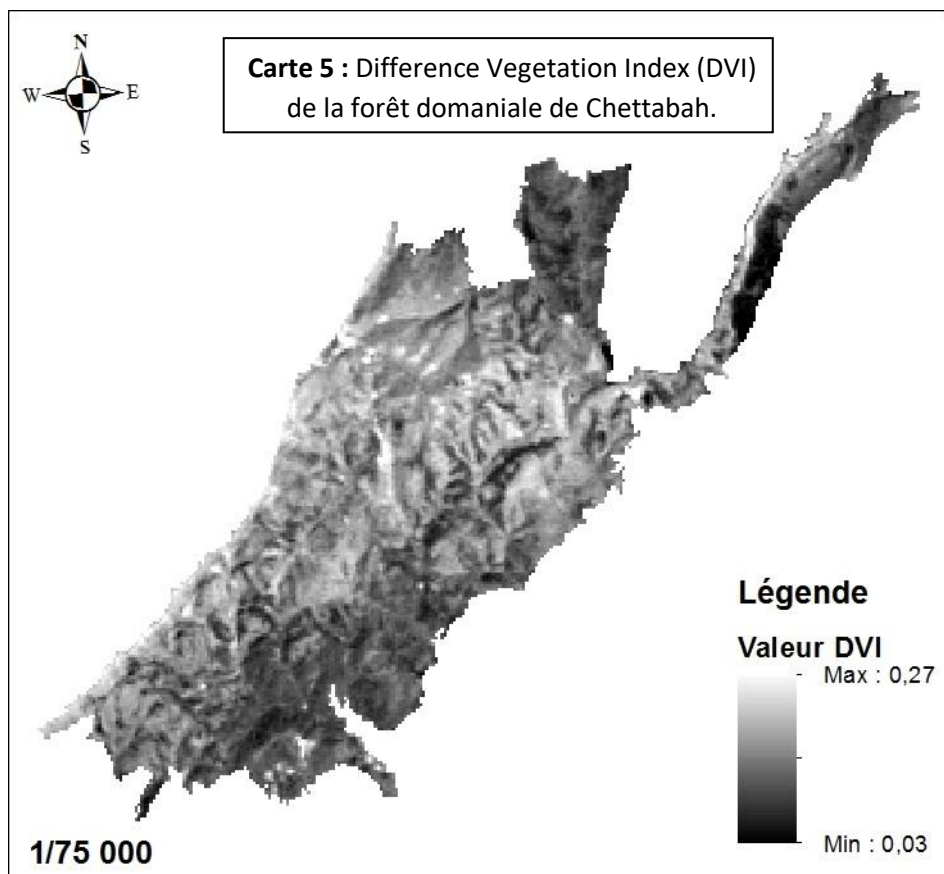
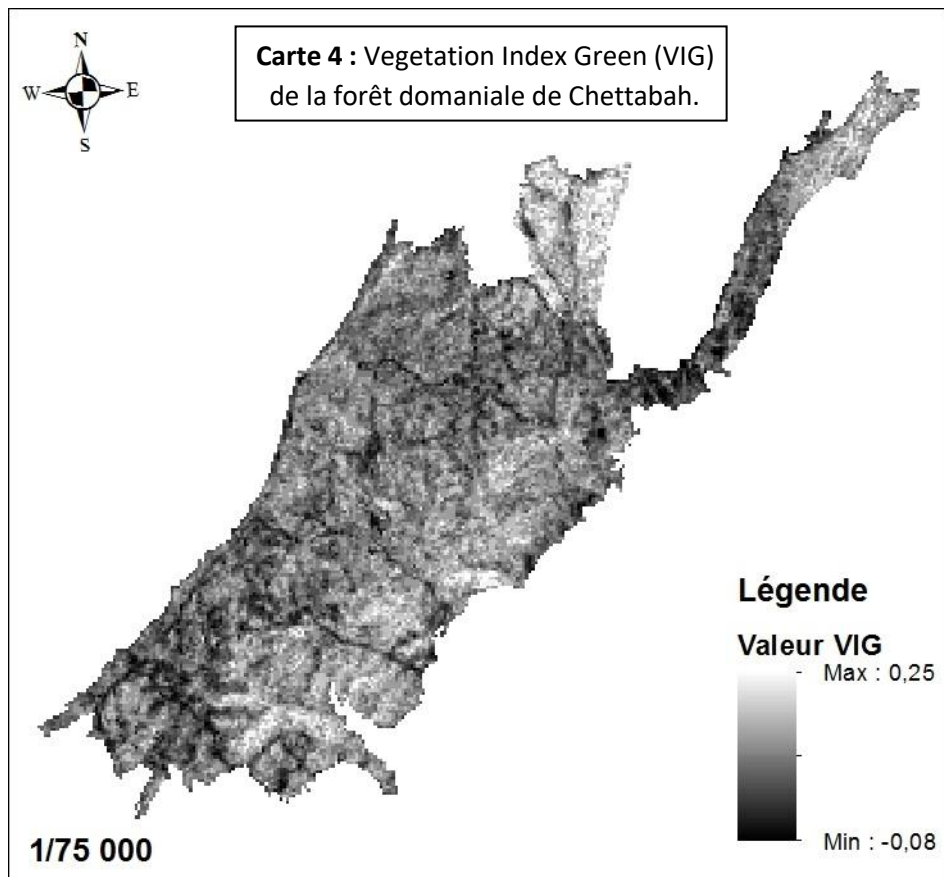
L'image satellite qui a servie pour le calcul des 5 indices de végétation porte la référence ID : LT05_L1TP_194035_20090315_20180309_01_T1. Elle est issue du satellite Landsat TM 5, localisé dans la trajectoire (path) 194 et rangée (row) 35 qui couvre la zone de la forêt domaniale de Chettabah. La date de prise de vue est le 15 mars 2009, qui correspond à l'année des relevés de terrain de Bouaninba.

La limite du massif forestier de la forêt de Chettabah a été utilisée comme masque pour découper l'image satellite.

Les résultats du calcul des indices de végétation sont présentés dans les cartes 1, 2, 3, 4 et 5, avec respectivement : RVI, NDVI, SAVI, VIG et DVI.







2. Comparaison entre les valeurs d'indice de végétation et le biovolume végétal de terrain

2-1. Ratio Végétation Index (RVI)

Les valeurs du RVI, calculées à partir de l'image satellite, ont été comparées aux valeurs du biovolume végétal estimé au niveau des 279 relevés de terrain.

Pour les 279 points de relevés, les valeurs du RVI sont comprises entre 1,28 et 4,21 avec une moyenne de 2,81. Les valeurs proches de 1 représentent le sol, alors que celles supérieures à 1 représentent la végétation, où les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts les plus denses (Figure 6).

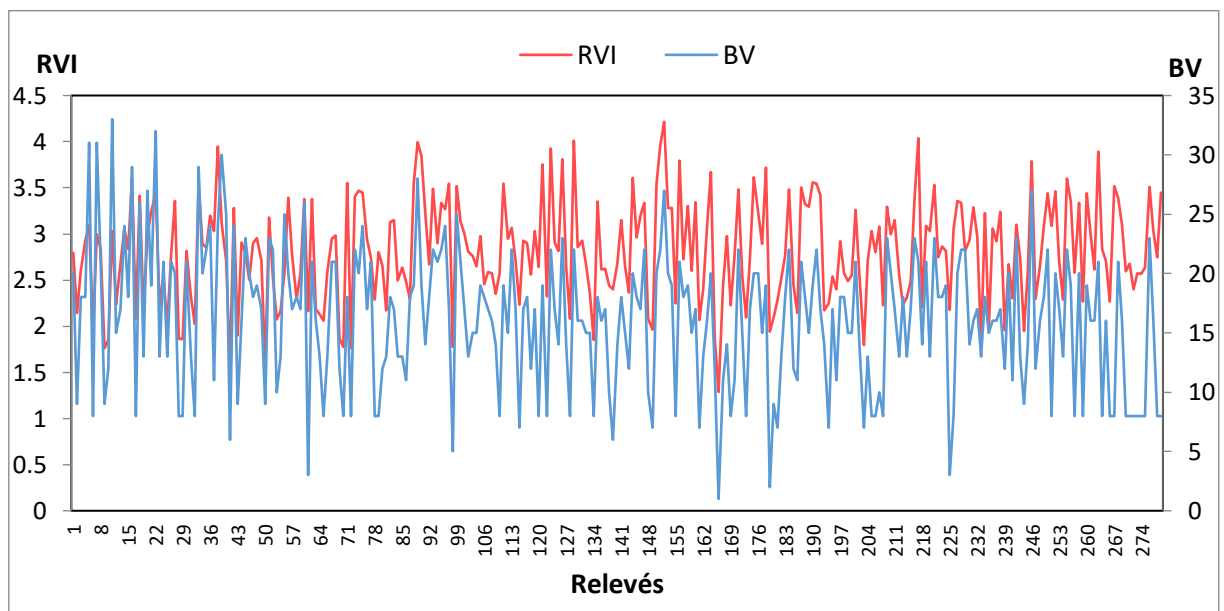


Figure 6 : Comparaison entre l'RVI et le biovolume végétal estimé sur terrain.

Pour mieux étudier la relation qui existe entre le BV et le RVI on a calculé le coefficient de corrélation entre les deux variables. Le coefficient de corrélation linéaire R donne une mesure de l'intensité et du sens de la relation linéaire entre deux variables. Dans le cas de deux variables BV et RVI, $R = 0,706$.

Les résultats montrent que le coefficient de corrélation est positif donc il existe une relation linéaire positive entre les variables. Ils montrent aussi que R est proche de 1, donc la relation est assez forte.

Notre courbe est linéaire ascendante, ce qui représente une corrélation directe à mesure qu'une variable augmente, l'autre augmente, et inversement (Figure 7). Nous pouvons donc conclure que le RVI et le biovolume végétal sont fortement corrélés.

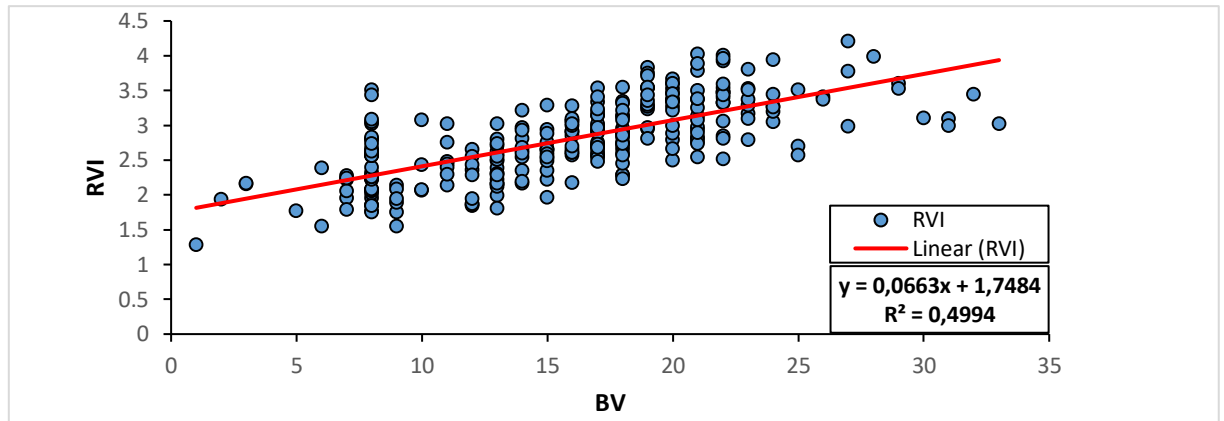


Figure 7 : Courbe de tendance de RVI en fonction du biovolume végétal.

2-2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Les valeurs de l'NDVI, calculées à partir de l'image satellite, ont été comparées aux valeurs du biovolume végétal estimé au niveau des 279 relevés de terrain.

L'NDVI est compris entre 0,15 et 0,61, avec une moyenne de 0,45. Les valeurs les plus proches de 1 représentent les couverts les plus denses (Figure 8).

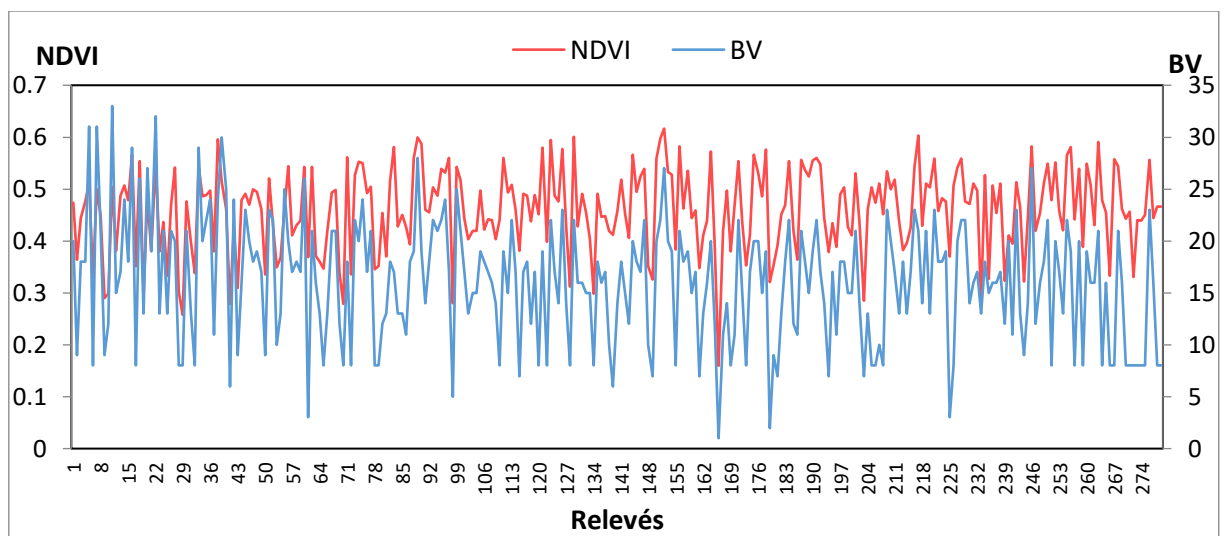


Figure 8 : Comparaison entre l'NDVI et le biovolume végétal estimé sur terrain.

Les résultats montrent que l'NDVI reflète bien les variations du biovolume de la végétation. Pour déterminer la relation qui existe entre le BV et l'NDVI on a calculé le coefficient de corrélation entre les deux variables, $R = 0,721$. Le résultat montre que le coefficient de corrélation est positif donc il existe une relation linéaire positive entre l'NDVI et le biovolume végétal. Il montre également que R est proche de 1 donc la relation est assez forte. D'après la figure 9, la courbe est linéaire ascendante, ce qui représente une corrélation directe

à mesure qu'une variable augmente, l'autre augmente, et inversement. Nous pouvons donc conclure que l'NDVI et le biovolume végétal sont fortement corrélés.

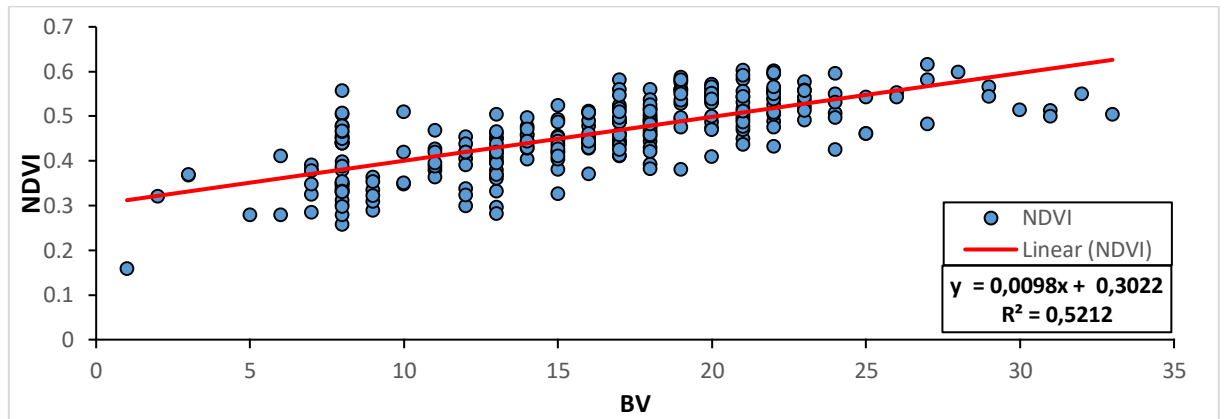


Figure 9 : Courbe de tendance de l'NDVI en fonction du biovolume végétal.

2-3. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

Les valeurs du SAVI, calculées à partir de l'image satellite, ont été comparées aux valeurs du biovolume végétal estimé au niveau de 279 relevés de terrain.

Les valeurs du SAVI varient entre 0,10 et 0,38, avec une moyenne de 0,25 (Figure 10). Les résultats montrent que les valeurs du SAVI ne reflètent pas les variations du biovolume de la végétation estimé sur terrain.

Pour confirmer ces résultats on a calculé le coefficient de corrélation entre le biovolume végétal et le SAVI, qui est de $R = -0,113$. Le résultat montre que le coefficient de corrélation est négatif donc il existe une relation linéaire négative entre le SAVI et le biovolume végétal. Il montre aussi que R est proche de 0 donc la relation est très faible.

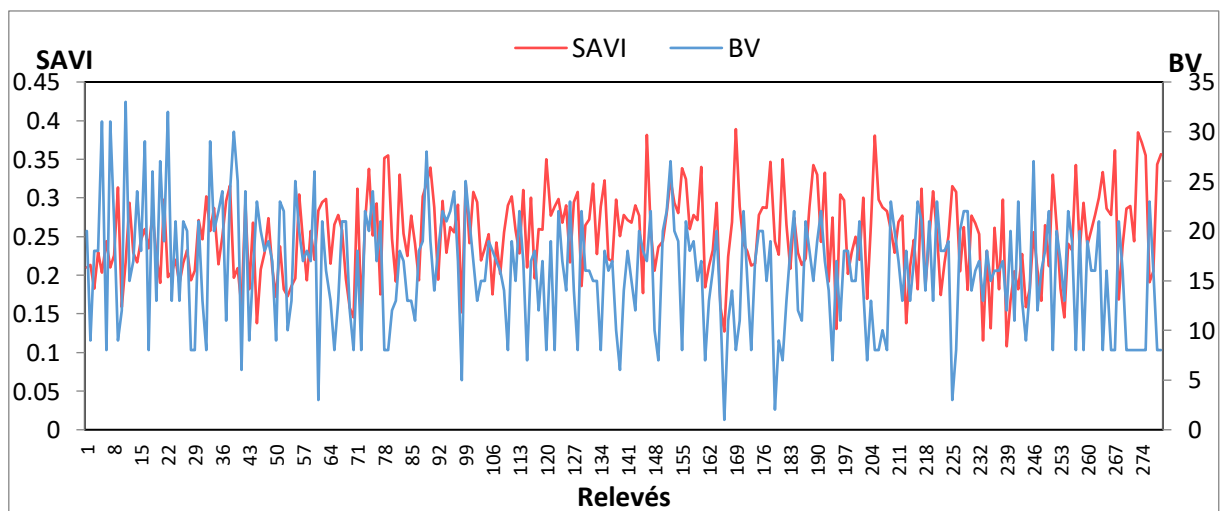


Figure 10 : Comparaison entre le SAVI et le biovolume végétal estimé sur terrain.

La figure 11 montre une courbe linéaire descendante du SAVI. Ce qui représente une corrélation inverse et à mesure qu'une variable augmente, l'autre variable tend à diminuer. Nous pouvons donc conclure que le SAVI et le biovolume végétal ne sont pas corrélés.

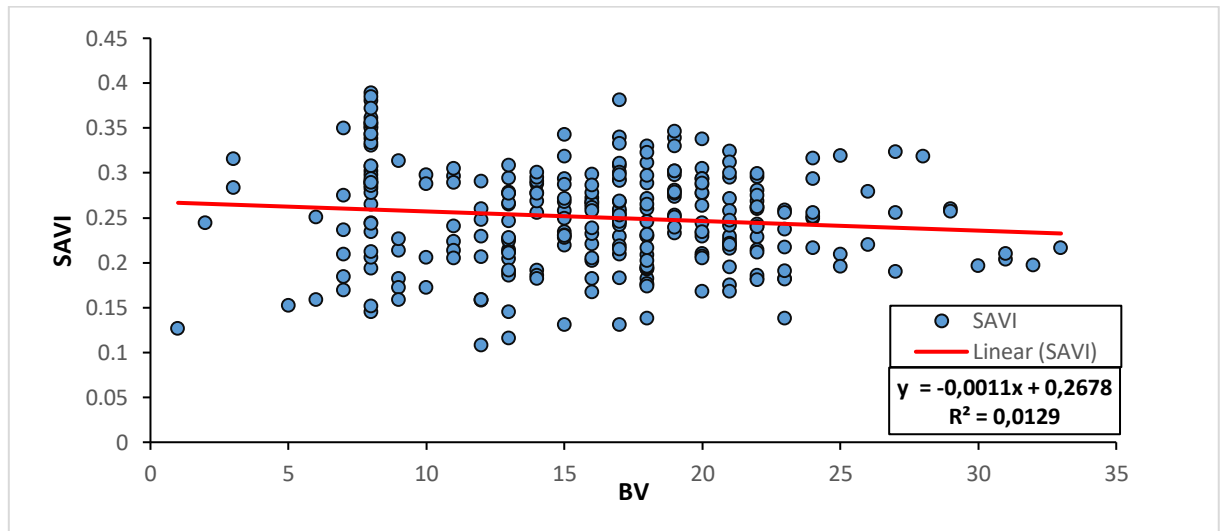


Figure 11 : Courbe de tendance du SAVI en fonction du biovolume végétal.

2-4. Vegetation Index Green (VIG)

Les valeurs du VIG, calculées à partir de l'image satellite, ont été comparées aux valeurs du biovolume végétal estimé au niveau de 279 relevés de terrain.

La valeur minimale du VIG est de $-0,03$ et la valeur maximale est de $0,21$, avec une moyenne de $0,07$ (Figure 12).

Les valeurs positives croissantes indiquent une végétation verte de plus en plus dense et les valeurs négatives indiquent un sol nu. Les résultats montrent que le VIG reflète bien les variations du biovolume de la végétation.

Le coefficient de corrélation R entre le biovolume végétal et le VIG qui est égale à **0,841**, confirme ces résultats. Il montre que le coefficient de corrélation est positif et très proche de 1 donc il existe une relation linéaire positive très forte entre les valeurs du biovolume végétal et les valeurs du VIG.

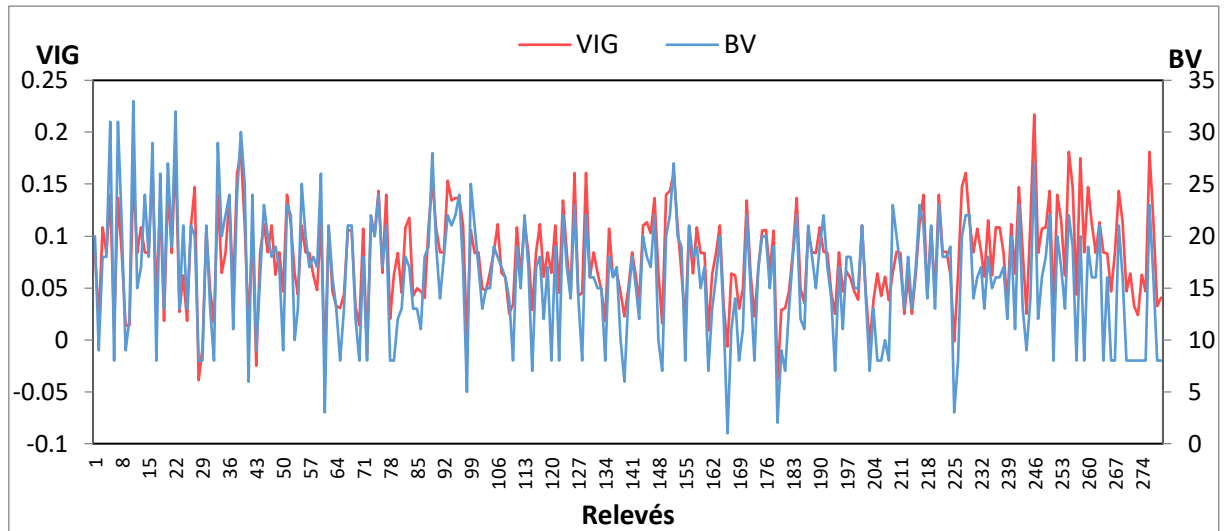


Figure 12 : Comparaison entre le VIG et le biovolume végétal estimé sur terrain.

La courbe de tendance du VIG en fonction du biovolume végétal est linéaire ascendante (Figure 13). Ce qui représente une corrélation directe à mesure qu'une variable augmente, l'autre augmente, et inversement. Nous pouvons donc conclure que le VIG et le biovolume végétal sont fortement corrélés (relation très significative).

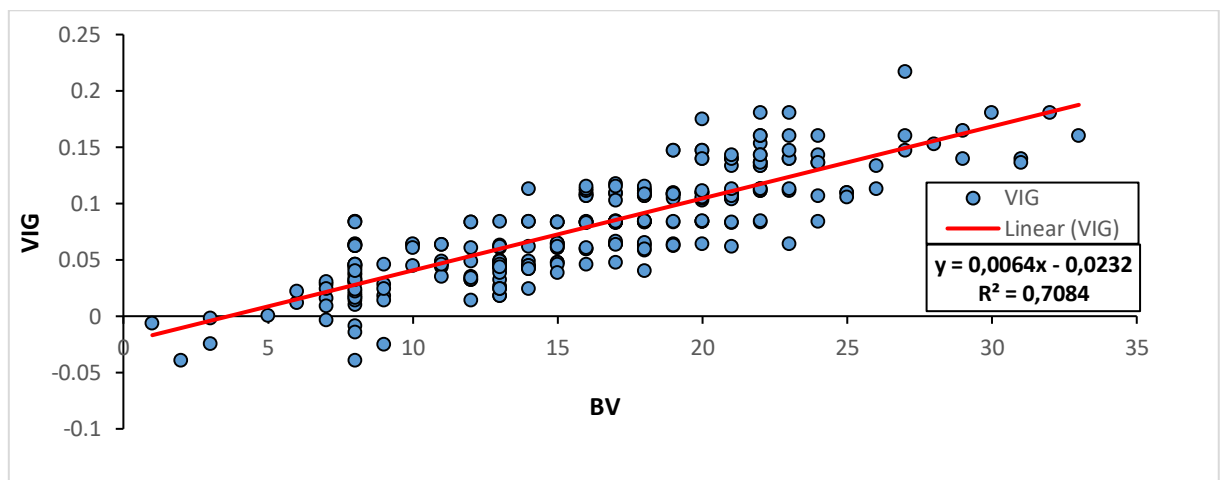


Figure 13 : Courbe de tendance du VIG en fonction du biovolume végétal.

2-5. Difference Vegetation Index (DVI)

Les valeurs du DVI, calculées à partir de l'image satellite, ont été comparées aux valeurs du biovolume végétal estimé au niveau de 279 relevés de terrain. Elles sont comprises

entre 0,04 et 0,24, la moyenne est de 0,13. Les résultats révèlent que le DVI ne reflète pas les variations du biovolume de la végétation (Figure 14).

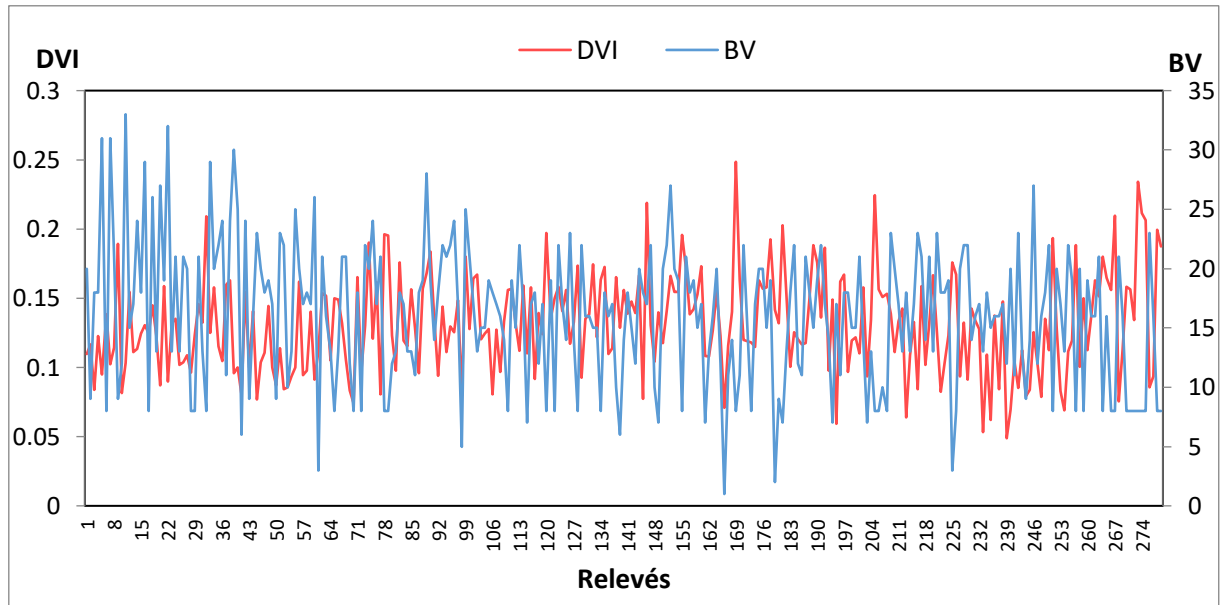


Figure 14 : Comparaison entre le DVI et le biovolume végétal estimé sur terrain.

Le coefficient de corrélation entre le biovolume végétal et le DVI est de : **R = -0,228**. Ce coefficient de corrélation est négatif et proche de 0, donc il existe une relation linéaire négative très faible entre les valeurs du biovolume végétal et les valeurs du DVI.

La figure 15 montre que la courbe linéaire du DVI est descendante. Ce qui confirme une corrélation inverse, à mesure qu'une variable augmente, l'autre variable tend à diminuer. Nous pouvons donc conclure que le DVI et le biovolume végétal ne sont pas corrélés.

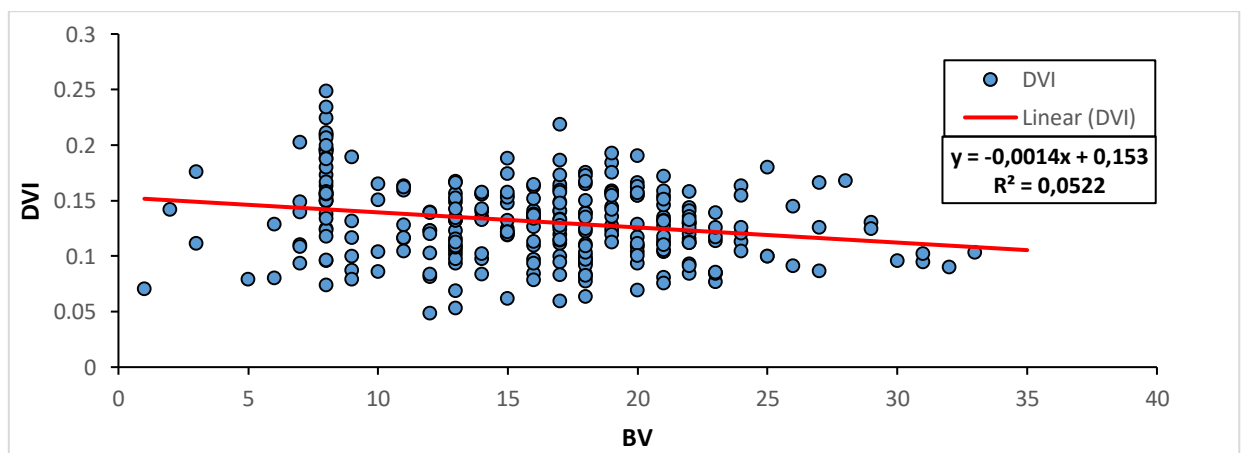


Figure 15 : Courbe de tendance du DVI en fonction du biovolume végétal.

Après avoir observé et comparé les différents résultats que nous avons obtenus en ce qui concerne la fiabilité des indices de végétation pour l'estimation du biovolume végétal, nous avons pu constater que parmi les cinq indices utilisés seuls trois ont prouvé leurs efficacités :

- RVI qui a montré une relation assez forte avec le BV estimée sur terrain avec un coefficient de corrélation égale à 0,706, on peut le considérer comme un indice efficace pour l'estimation du BV végétale à partir des images satellites.
- NDVI un indic très connu et très utilisé dans de nombreuses études qui a prouvé encore une fois sa fiabilité pour l'estimation du BV. Avec un coefficient de corrélation égale à 0,721, l'NDVI a montré une forte relation avec le BV estimé sur terrain ce qui signifie qu'on peut l'utiliser pour l'estimation du BV à partir des images satellite.
- VIG un indice de végétation rarement utilisé mais qui a montré des résultats très significatifs dans le cas de notre étude. Avec un coefficient de corrélation très proche de 1 (0,841) il existe une très forte corrélation entre le VIG et le BV estimé sur terrain. Pour cela nous avons choisi ce dernier pour estimer le BV et calculer l'indice de combustibilité à partir des images satellite afin de valider et confirmer l'ensemble des résultats précédents.
- Pour ce qui concerne le SAVI et le DVI ces deux indices ne montrent aucune corrélation avec le BV estimé sur terrain, et par conséquent ne peuvent être utilisés pour l'estimation du biovolume végétal et le calcul de l'indice de combustibilité à partir des images satellite.

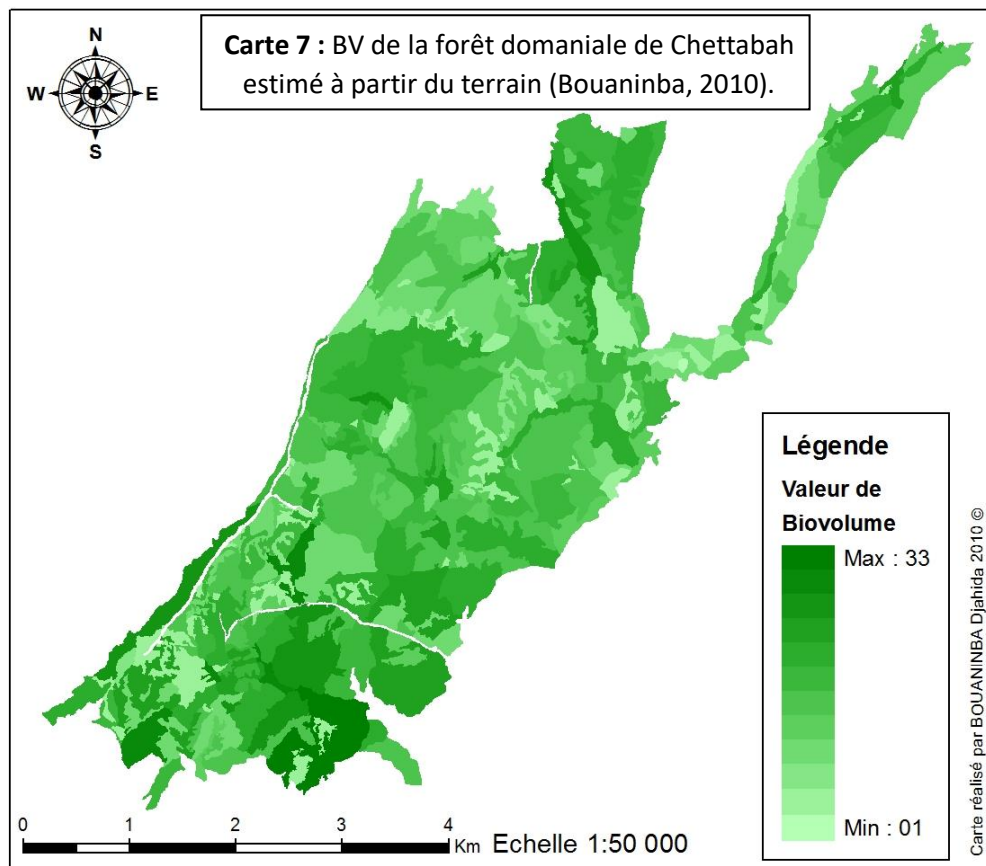
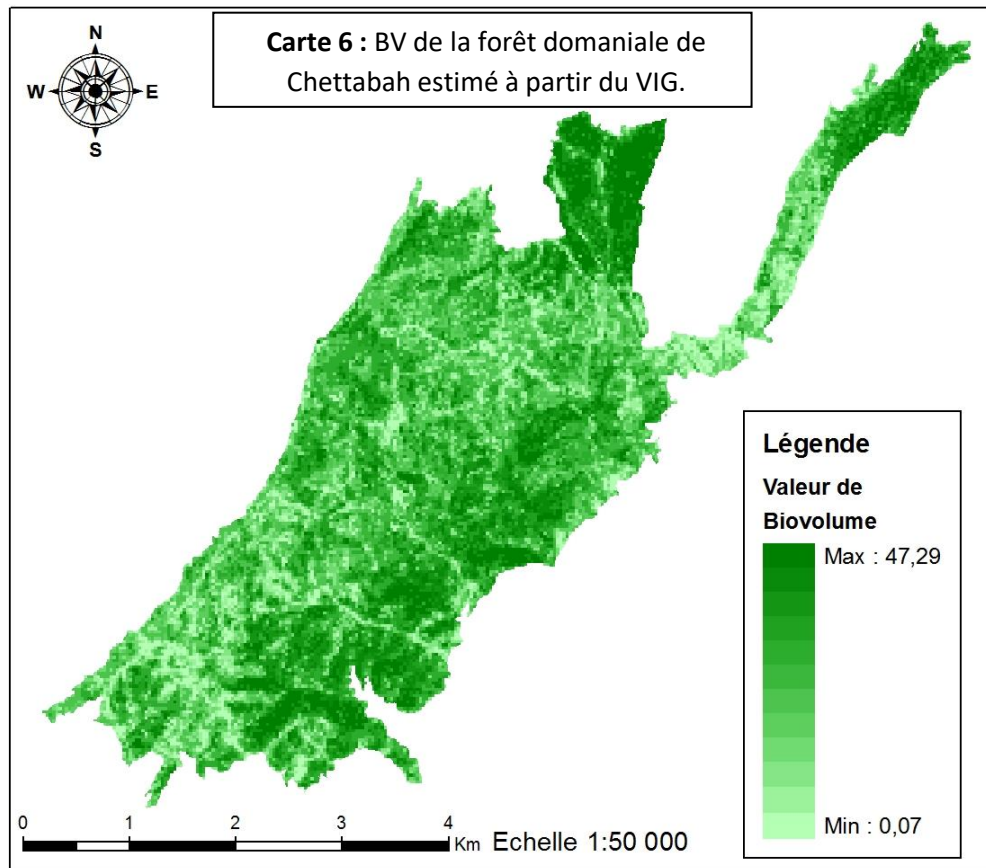
3. Estimation du biovolume végétal à partir des valeurs de l'indice de végétation VIG

L'estimation du biovolume végétal à l'aide du VIG, nécessite de mettre en place un rapport entre les deux valeurs. Pour ce faire nous avons calculé le rapport moyen (RM) du BV sur le VIG de l'ensemble des valeurs des 279 relevés de terrain.

$$RM = \frac{1}{279} \sum_{i=1}^{279} \left(\frac{BV_i}{VIG_i} \right)$$

La valeur du rapport moyen RM est de 221.53. Pour convertir les valeurs du VIG en valeurs de BV il suffit de les multiplier par la valeur moyenne de 221,53.

Le résultat de l'estimation du biovolume végétal à partir de l'indice de végétation VIG, au niveau de la forêt domaniale de Chettabah, est présenté dans la carte 6.



La carte 7 qui représente les valeurs du biovolume végétal calculé à partir des relevés de terrain par Bouaninba (2010) permet de comparer nos résultats. Les résultats de la comparaison révèlent que les valeurs du BV de terrain sont presque identiques à celles obtenus à partir du VIG (Tableau 2). Il est important de noter que la différence entre les maximas est dû au fait que les valeurs de l'image satellite sont plus détaillées car elles varient d'un pixel à l'autre, alors que les relevés de terrain concerne uniquement les points d'échantillonnage, dont les valeurs sont extrapolé aux parcelles homogènes.

Tableau 2 : Comparaison entre les valeurs du BV de terrain et celui du VIG

| | BV Terrain | BV VIG |
|----------------|-------------------|---------------|
| Min | 01 | 0,07 |
| Max | 33 | 47,29 |
| Moyenne | 17,23 | 17,26 |

Les résultats de cette comparaison confirment la fiabilité et la précision du VIG pour l'estimation du biovolume végétal de la forêt domaniale de Chettabah à partir des images satellite.

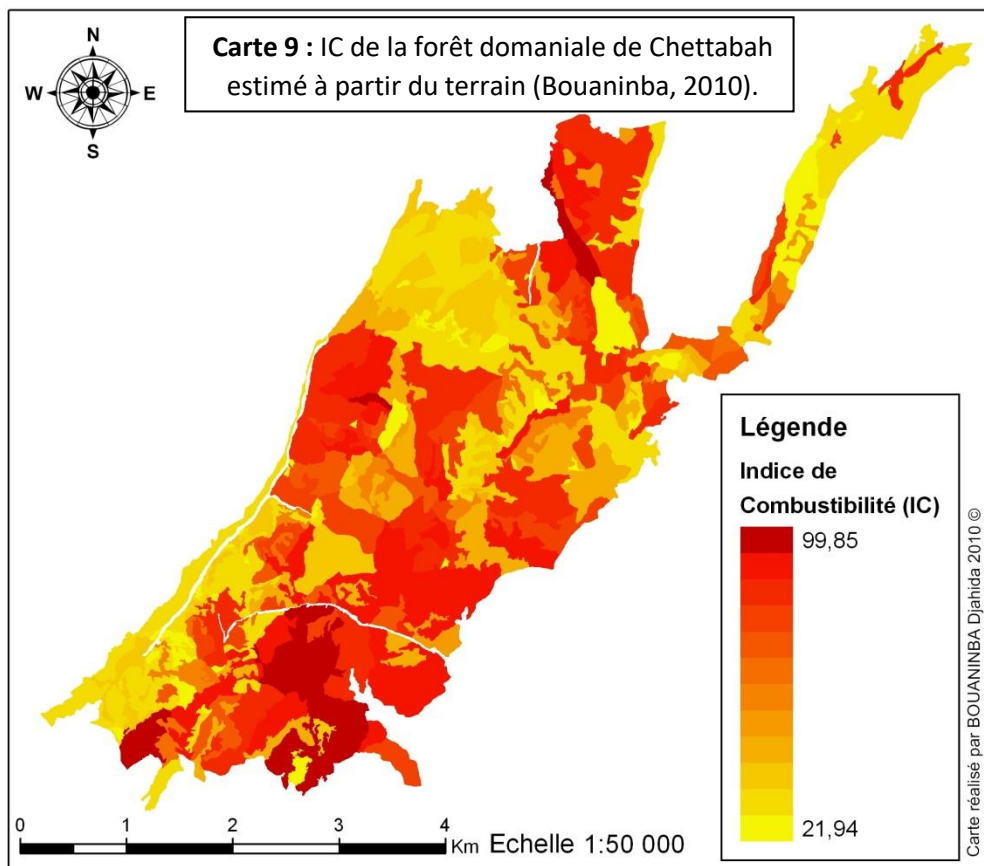
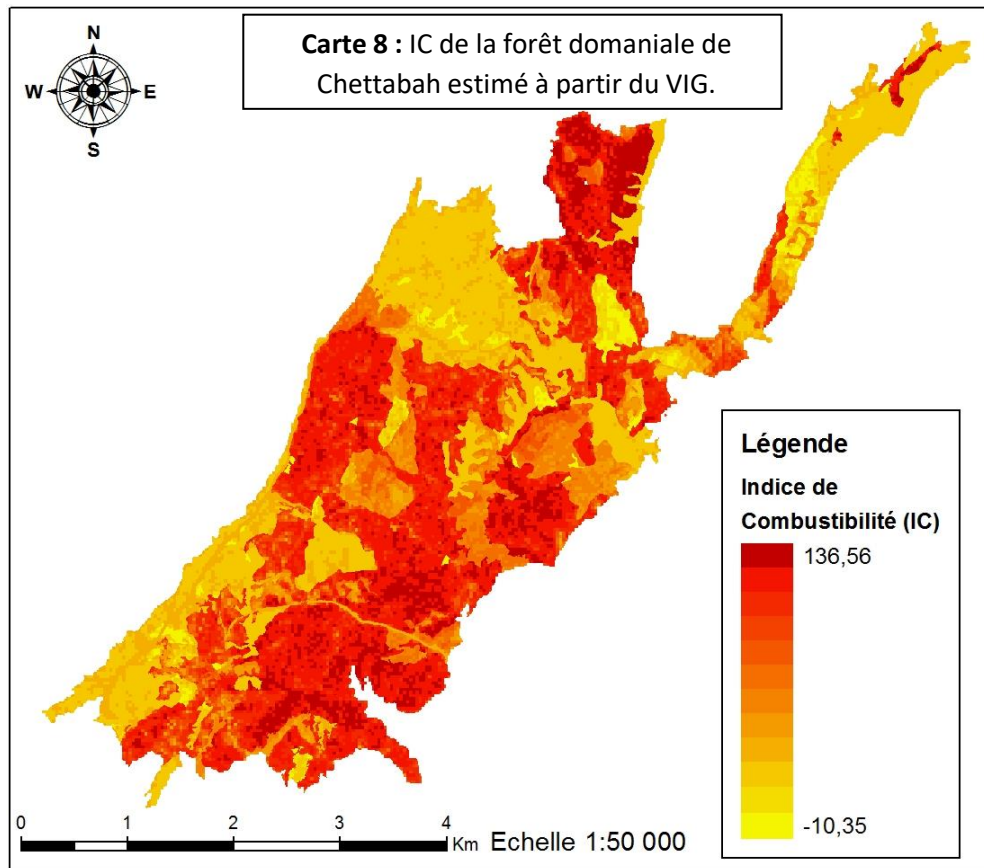
4. Calcul de l'indice de combustibilité IC à partir du biovolume végétal estimé par VIG

Les valeurs de l'indice de combustibilité IC, de la forêt domaniale de Chettabah, calculé à partir du biovolume végétal estimé par l'indice VIG sont présenté dans la carte 8. Les valeurs de l'IC sont comprises entre -10,35 et 136,56.

La carte 9 qui représente les valeurs de l'IC calculé à partir des relevés de terrain par Bouaninba (2010) permet de comparer nos résultats. Si on considère la moyenne de l'IC de terrain et celle de l'IC estimé par le VIG on constate qu'elles sont presque identiques (Tableau 3). Cela signifie que l'utilisation du VIG est très efficace pour le calcul de l'IC.

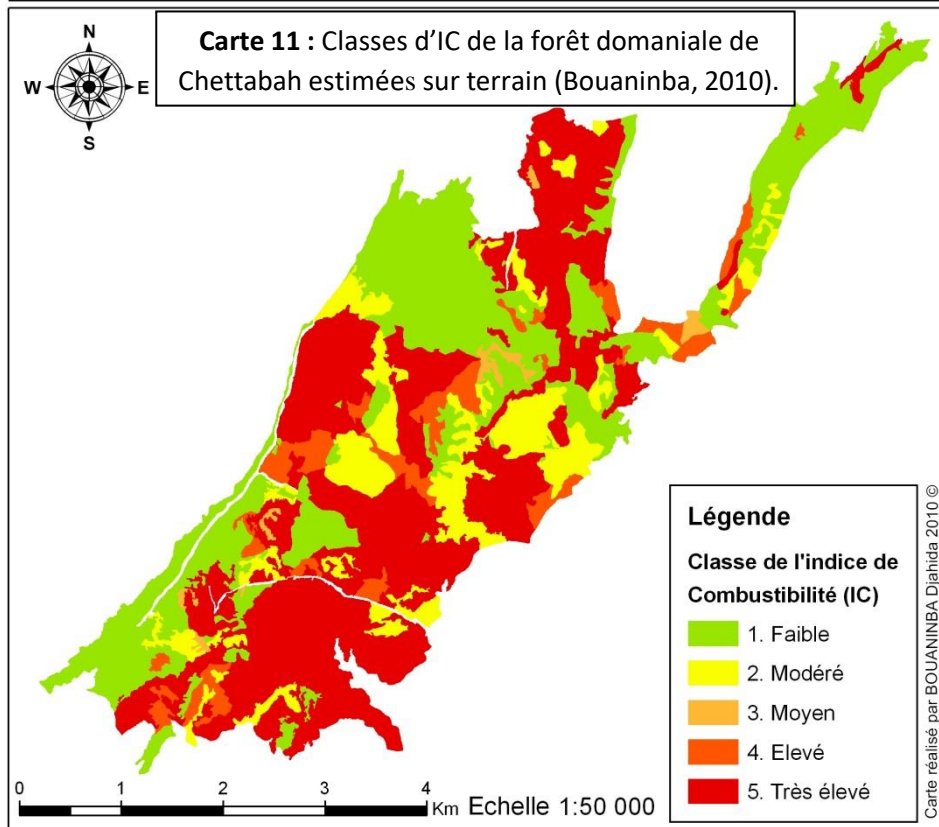
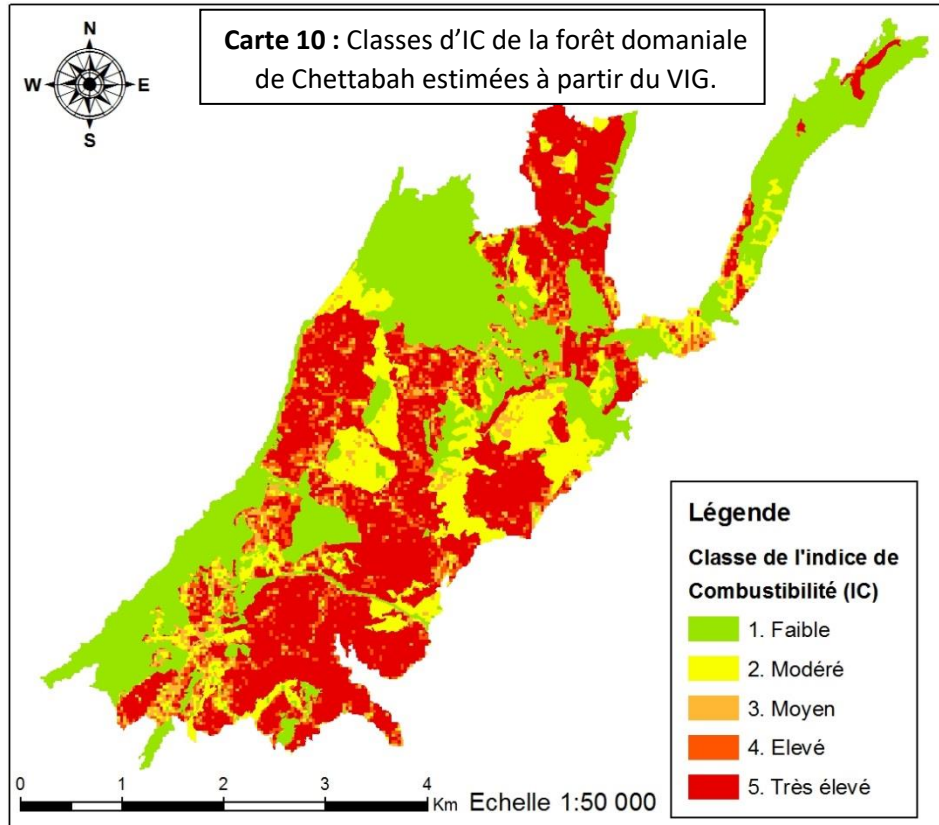
Tableau 3 : Comparaison entre les valeurs de l'IC de terrain et celui du VIG

| | IC Terrain | IC VIG |
|----------------|-------------------|---------------|
| Min | 21.94 | -10.35 |
| Max | 99.81 | 136.56 |
| Moyenne | 55.96 | 56.52 |



5. Comparaison entre les classes d'IC de terrain et les classes d'IC estimé par VIG

La validation des résultats de cette étude passe par une comparaison entre les classes d'IC estimé grâce au VIG et les classes d'IC calculé à partir du terrain (Carte 10 et 11).



Les résultats de la comparaison révèlent que la moyenne de classes d'IC calculées sur terrain est de 2,99, alors qu'elle est de 2,75 dans le cas des classes d'IC estimé à partir du VIG. Les deux valeurs sont très proche ce qui signifie que le VIG (Vegetation Index Green) peut être utilisé pour l'estimation du biovolume végétal (BV) nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité (IC).

Enfin, pour mieux apprécier ces résultats, nous avons calculé les superficies des zones de la forêt domaniale de Chettabah où il y a ou non des différences dans les classes d'IC. Les résultats sont présentés dans le tableau 4. Les résultats montrent que 81,62% des surfaces de la forêt domaniale de Chettabah possèdent les même classes d'IC, que ce soit celui du terrain ou du VIG. 12,52% des surfaces ont une différence d'une seule classe, alors que les zones qui présentent un décalage de 2 classes et plus ne représentent que 5,86%.

Tableau 4 : Comparaison entre les surfaces des classes d'IC (Terrain) et d'IC (VIG)

| Classes IC (VIG) | Classes IC (Terrain) | Surfaces (ha) | Total (ha) | Total (%) |
|------------------|----------------------|---------------|------------|-----------|
| 1 | 1 | 627,08 | 1494,60 | 81,62 |
| 2 | 2 | 220,85 | | |
| 3 | 3 | 7,46 | | |
| 4 | 4 | 29,74 | | |
| 5 | 5 | 609,47 | | |
| 1 | 2 | 10,12 | 229,25 | 12,52 |
| 2 | 3 | 8,05 | | |
| 3 | 4 | 30,73 | | |
| 4 | 5 | 109,02 | | |
| 5 | 4 | 52,30 | | |
| 4 | 3 | 2,56 | | |
| 3 | 2 | 16,47 | | |
| 2 | 1 | 0 | | |
| 1 | 3 | 0,58 | 81,98 | 4,48 |
| 2 | 4 | 17,77 | | |
| 3 | 5 | 59,94 | | |
| 4 | 2 | 1,44 | | |
| 5 | 3 | 2,25 | | |
| 3 | 1 | 0 | | |
| 1 | 4 | 2,39 | 24,08 | 1,31 |
| 2 | 5 | 20,76 | | |
| 4 | 1 | 0 | | |
| 5 | 2 | 0,93 | | |
| 1 | 5 | 1,35 | 1,35 | 0,07 |
| 5 | 1 | 0 | | |

Conclusion

Conclusion

La télédétection fait appel à des techniques en évolution rapide dans un monde en changement, ses possibilités d'application sont en croissance constante et l'on découvre de plus en plus de domaines où elle peut avantageusement remplacer des méthodes conventionnelles éprouvées.

L'objectif principal de cette étude était de tester l'application de la télédétection et plus particulièrement des indices de végétation pour l'estimation du biovolume végétal nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité.

Après avoir observé et comparé les différents résultats que nous avons obtenus en ce qui concerne la fiabilité des indices de végétation pour l'estimation du biovolume végétal, nous avons pu constater que parmi les cinq indices utilisés seuls trois ont prouvé leur efficacité.

Le RVI (Ratio Végétation Index), l'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le VIG (Vegetation Index Green) ont montré une relation assez forte avec le BV (Biovolume végétal) estimée sur terrain avec un coefficient de corrélation R de 0,706, 0,721 et 0,841 respectivement. Ces trois indices de végétation peuvent être utilisés pour l'estimation du biovolume végétal à partir des images satellite.

Le SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) et le DVI (Difference Vegetation Index) ne montrent aucune corrélation avec le biovolume végétal estimé sur terrain, et par conséquent ne peuvent être utilisés pour l'estimation de ce dernier à partir des images satellites.

Le VIG un indice de végétation rarement utilisé, mais qui a montré des résultats très significatifs dans le cas de notre étude, a servi pour l'estimation du biovolume végétal et le calcul de l'indice de combustibilité.

Les résultats de la comparaison entre les valeurs du biovolume de terrain et celles obtenus à partir du VIG révèlent qu'elles sont presque identiques, avec une moyenne de 17,23 et 17,26 respectivement.

En ce qui concerne les valeurs de l'indice de combustibilité, si on considère la moyenne des valeurs de terrain (55,96) et celles estimées à partir du VIG (56,52) on constate qu'elles sont presque identiques.

Enfin, pour les classes de l'indice de combustibilité, les résultats montrent que 81,62% des surfaces de la forêt domaniale de Chettabah possèdent les mêmes classes de l'indice de

combustibilité, que ce soit celui du terrain ou du VIG. 12,52% des surfaces ont une différence d'une seule classe, alors que les zones qui présentent un décalage de 2 classes et plus ne représentent que 5,86%.

Tous ces résultats de comparaison attestent de l'efficacité des indices de végétation et plus particulièrement le Vegetation Index Green pour l'estimation du biovolume végétal nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité.

En perspectives et d'un point de vue fondamental, il serait intéressant :

- Utiliser le VIG pour étudier la végétation de différentes forêts en Algérie.
- Etablir des cartes de risque de feu à l'aide du VIG.
- Explorer la fiabilité d'autres indices de végétation.

***Références
bibliographique***

Références bibliographique

- Albetis De La Cruz J. L. 2018.** Potentiel des images multispectrales acquises par drone dans la détection des zones infectées par la flavescence dorée de la vigne. Mémoire de doctorat. Sciences de la Terre. Université Paul Sabatier - Toulouse III. 213 p.
- Alexandrian D. 1982.** Estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation Bulletin d'information du CEMAGREF (formule développée à dire d'experts sur des peuplements héraultais avec l'aide du SDIS34). N°228
- Bacour C., Breon F. M., Maignan F. 2006.** Normalization of the directional effects in NOAA - AVHRR reflectance measurements for an improved monitoring of vegetation cycles. Remote Sensing of Environment.102, n°3-4, 402-413 p.
- Bannari A., Morin D., Bonn F. 1995.** A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews, Vol. 13. 95-120 p.
- Baret F., Clevers J., Steven M. D. 1995.** The robustness of canopy gap fraction estimations from red and near-infrared reflectances. A comparison of approaches. Remote Sensing of Environment. 141-151 p.
- Beck P. S. A., Atzberger C., Hogda K. A., Johansen B., Skidmore A. K. 2006.** Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. Remote Sensing of Environment, 100(3). 321-334 p.
- Bouaninba D. 2010.** SIG et imageries satellitaires pour la cartographie du risque d'incendie de forêt cas de la forêt domaniale de Chettabah Constantine. Mémoire d'Ingénieur d'état en écologie et environnement. Université Mentouri Constantine. 62 p.
- Bouhekara M. K., Darabid Dj. 2013.** Extraction des différents indices de végétation à partir des images satellitaires. Mémoire de Licence en Informatique. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. 58 p.
- Calloz R., Collet C. 2001.** Précis de télédétection volume 3 : Traitements numériques d'images de télédétection. Sillery : Presses de l'Université du Québec. 386 p.

- CCT. 2008.** Centre Canadian de la Terre. (Canada.ca) Ressources naturelles Canada Cartes. Observation de la Terre.
- El-Merabet Y. 2013.** Segmentation d'images couleur par combinaison LPE-régions/LPE-contours et fusion de régions. Application à la segmentation de toitures à partir d'orthophotoplans. Thèse de doctorat. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.161 p.
- Escadafal A., Huete R. 1991.** Etude des propriétés spectrales des sols arides appliquées à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. R. E. Unité de télédétection, A. H. Department of Soil and Water Science, University of Arizona, Tucson, U.S.A., 1385-1395 p.
- Gao B. C. 1996.** A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. n°58, 257-266 p.
- Hamuda E., Glavin M., Jones E. 2016.** A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Computers and Electronics in Agriculture* 125. 184–199 p.
- Huete A. R. 1988.** A Soil - Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. N°25. 295-309 p.
- Hunt E. R., Rock B. N. 1989.** Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*.n°30, 43-54 p.
- Hunt E. R., Cavigelli M., Daughtry C. S. T., McMurtrey J. E., Walthall C. L. 2005.** Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agric.* 6, 359–378 p.
- Institut-Numerique. 2014.** Institut-Numerique.org. Etablissement des cartes de dégradation.
- Jannoura R., Brinkmann K., Uteau, D., Bruns C., Joergensen R. G. 2015.** Monitoring of crop biomass using true color aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystems Engineering* 129. 341–351 p.
- Kaufman Y. J., Tanré D. 1992.** Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*., N°30, 261-270 p

- Krieger F., Malila W., Nalepka R., Richerdson W. 1969.** Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In: Proc. Of the 6th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, 97-131 p.
- La terre.ca. 2016.** La terre de chez nous. L'indice NDVI démystifié. Guillaume Desjardins, collaboration spéciale.
- Lassieur S. 2006.** Utilisation de la télédétection et des techniques SIG pour détecter et prévenir les activités de déforestation illégales. Rapport de Stage Master 2ème Année, SIG et gestion de l'espace, Université Jean Monnet, France, 45 p.
- Ledant M. 2006.** Les indices de végétation. Travail de fin d'études de Bachelier. Université de liège. Faculté des sciences département de géographie. 19 p.
- Missoumi A., Tadjerouni K. 2003.** SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt, Algérie. TS13 Risk Management. 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco. 14 p.
- Ouamara A. 2013.** Etude et mise en œuvre des systèmes d'information géographique. Mémoire de master. Université Abderrahmane Mira. Bejaia. 58 p.
- Pearson R. L., Miller L. D. 1972.** Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. Pawnee National Grasslands. International Symposium on Remote Sensing of Environment. Proceedings. 2. 1355-1379 p.
- Perrot T., Ballu S., Dion P. 2003.** Evaluation du taux de couverture en fucales en zone intertidale à partir d'imagerie SPOT Annexe 02. Exemple de traitement d'images SPOT, secteur côtier Paimpol-Trégastel (5 mai 1989 et 7 août 1998) pour l'évaluation de la couverture algale, résultats et commentaires. 14 p.
- Pinty B., Verstraete, M. M. 1992.** GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. Vegetation. N°101, 15-20 p.
- Qi J., Chehbouni A., Huete A. R., Kerr Y. H., Sorooshian S. A. 1994.** Modified soil adjusted vegetation index: MSAVI. Remote Sensing of Environment n° 48, 119-126 p.
- Richardson A. J., Wiegand C. L. 1997.** Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, N°43, 1541-1552 p.

Robin M. 2002. Télédétection des satellites aux SIG. Paris. Nathan, 2e édition. 318 p.

Thomas M. 2007. Apport de la télédétection dans la compréhension de la dynamique des rivières en tresses. Mémoire de Master 2, Université de Rennes, 53 p.

Trabaud L. 1971. Les combustibles végétaux dans le département de l'Hérault. Montpellier. Centre national de la recherche scientifique. Centre d'études phytosociologiques et écologiques. 78 p.

Trabaud L. 1980. Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du bas-Languedoc. Thèse de doctorat d'état. Montpellier 288 p.

Tucker C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of the Environment 8, 127–150p.

UVED. 2008. Université Virtuelle Environnement et Développement durable. Suivi de l'environnement par télédétection. Environnement terrestre. Les indices de végétation .Les principaux indices de végétation. <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvved/envcal/html/vegetation/indices/qques-indices/indices-effets-sol.html>

Résumés

ملخص

من بين كل التجاوزات التي تعرضت لها غابات البحر الأبيض المتوسط بشكل عام والغابات الجزائرية بشكل خاص، فإن الحريق هو الأشد تدميرا. في الأنظمة الحالية لتقدير مخاطر حرائق الغابات يمثل نوع الغطاء النباتي وكذلك حجمه عوامل مهمة. الغطاء النباتي عنصر أساسي في الحرائق لأنه مادة قابلة للاحتراق. في إطار هذه الدراسة، كنا مهتمين بتقدير الحجم الحيوي للنبات، الضروري لحساب مؤشر قابلية الاحتراق، عن طريق الاستشعار عن بعد، باستخدام مؤشرات الغطاء النباتي المختلفة: NDVI و RVI و DVI و SAVI و VIG. من أجل التحقق من صحة نتائجنا، اخترنا الغابة الوطنية لشطابة الواقعة في ولاية قسنطينة كموقع مرجعي لأنها تحتوي على بيانات عن الحجم الحيوي للنبات، محسوبة من قياسات ميدانية و مؤشر قابلية الاحتراق الذي أنتجه Bouaninba (2010). تشهد نتائج هذه الدراسة على فعالية مؤشرات الغطاء النباتي، وعلى وجه الخصوص مؤشر الغطاء النباتي الأخضر (VIG)، لتقدير الحجم الحيوي للنبات الضروري لحساب مؤشر قابلية الاحتراق.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد، مؤشر الغطاء النباتي، VIG، المؤشر الحيوي، مؤشر قابلية الاحتراق.

Résumé

Parmi toutes les agressions que subit la forêt méditerranéenne en général et la forêt algérienne en particulier, l'incendie est le plus dévastateur. Dans les systèmes actuels d'estimation du risque d'incendie de forêt, le type de végétation ainsi que son biovolume représentent des facteurs importants de prédisposition au feu. La végétation est l'élément essentiel des incendies car elle constitue le matériel combustible. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à l'estimation du biovolume végétal, nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité, par télédétection spatiale, à partir des différents indices de végétation : NDVI, RVI, DVI, SAVI, et VIG. Afin de valider nos résultats, nous avons choisi, comme site de référence, la forêt domaniale de Chettabah située dans la wilaya de Constantine, qui dispose de données sur le biovolume végétal, calculé à partir de relevés de terrains et de l'indice de combustibilité réalisées par Bouaninba (2010). Les résultats de cette étude attestent de l'efficacité des indices de végétation, et plus particulièrement le Vegetation Index Green (VIG), pour l'estimation du biovolume végétal nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité.

Mots clés : Télédétection, indices de végétation, VIG, biovolume, indice de combustibilité.

Abstract

Among all the attacks suffered by the Mediterranean forest in general and the Algerian forest in particular, the wildfire is the most devastating. In current forest fire risk estimation systems, the type of vegetation as well as its biovolume represents important factors of predisposition to wildfire. Vegetation is an essential element of wildfires because it is the combustible material. As part of this study, we were interested in estimating the plant biovolume, necessary for calculating the combustibility index, by spatial remote sensing, from the different vegetation indices: NDVI, RVI, DVI, SAVI, and VIG. In order to validate our results, we have chosen, as a reference site, the national forest of Chettabah located in the province of Constantine, which has data on the plant biovolume, calculated from land surveys and the combustibility index produced by Bouaninba (2010). The results of this study attest to the effectiveness of the vegetation indices, and more particularly the Vegetation Index Green (VIG), for estimating the plant biovolume necessary for calculating the combustibility index.

Key words: Remote sensing, vegetation index, VIG, biovolume, combustibility index.

**Présenté par : HAMDI Roufeida &
BOULHENDI Aymen**

Soutenue en Septembre 2020 (A distance)

**Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en
Protection des écosystèmes**

**Thème : Estimation par télédétection du biovolume végétal pour le calcul de
l'indice de combustibilité : comparaison entre les différents indices de
végétation, cas de la forêt de Chettabah (Constantine).**

Résumé

Parmi toutes les agressions que subit la forêt méditerranéenne en général et la forêt algérienne en particulier, l'incendie est le plus dévastateur. Dans les systèmes actuels d'estimation du risque d'incendie de forêt, le type de végétation ainsi que son biovolume représentent des facteurs importants de prédisposition au feu. La végétation est l'élément essentiel des incendies car elle constitue le matériel combustible. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressées à l'estimation du biovolume végétal, nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité, par télédétection spatiale, à partir des différents indices de végétation : NDVI, RVI, DVI, SAVI, et VIG. Afin de valider nos résultats, nous avons choisis, comme site de référence, la forêt domaniale de Chettabah située dans la wilaya de Constantine, qui dispose de données sur le biovolume végétal, calculé à partir de relevés de terrains et de l'indice de combustibilité réalisées par Bouaninba (2010). Les résultats de cette étude attestent de l'efficacité des indices de végétation, et plus particulièrement le Vegetation Index Green (VIG), pour l'estimation du biovolume végétal nécessaire au calcul de l'indice de combustibilité.

Mots clés : Télédétection, indices de végétation, VIG, biovolume végétal, indice de combustibilité

Laboratoire de recherche : Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques.

Jury d'évaluation

| | | |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Président du jury : | BENDERRADJI Mohamed El Habib | Prof - UFM Constantine 1. |
| Rapporteur : | ARFA Azzedine Mohamed Touffik | MCB - UFM Constantine 1. |
| Examineur : | ALATOU Djamel | Prof - UFM Constantine 1. |
| Examineur : | GANNA Mohamed | MAB - UFM Constantine 1. |

*Année universitaire
2019-2020*