

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DU COUVERT VÉGÉTAL EN ZONE SEMI-ARIDE: FORÊT DE DJEBEL BOUTALEB (ALGERIE)

BOUCHELOUCHE Asma*, HANI Meriem, LEBAZDA Rafika

Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques et Naturelles (L.V.R.B.N.)

Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Ferhat Abbas Sétif1, 19000 Sétif, Algérie

E-mail: asma.bouchelouche@univ-setif.dz

(Received 17 March 2021- Accepted 07 May 2022)

Résumé.- La végétation de l'Algérie, en particulier des régions semi-arides, a subi de profondes modifications au cours de son histoire. Le massif forestier de Boutaleb, situé en zone semi-aride (wilaya de Sétif); présente un potentiel floristique important, qui se trouve menacé, par la persistance de plusieurs facteurs d'origine anthropiques, engendrant une régression de la végétation. Cela nécessite une surveillance de la végétation, pour appuyer une gestion forestière durable de ces milieux, ce qui est aujourd'hui possible grâce à l'imagerie satellitaire. L'objectif du présent article, est d'étudier la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal de ladite forêt, entre 2010, et 2021; en se basant sur la télédétection et l'outil SIG. L'approche méthodologique du travail, repose sur l'utilisation des données des images du satellite Landsat de deux types: TM et OLI pour deux dates 2010 et 2021 (période de 11ans), et le calcul de l'indice de végétation NDVI, pour identifier les changements du couvert végétal entre les deux dates choisies. Le traitement des images satellitaires, a montré une variation spatio-temporelle du couvert végétal très importante, en effet l'analyse de l'indice de végétation (NDVI) et la réalisation de la carte du changement de la végétation, ont montré un recul et une dégradation importante du couvert végétal, de la zone d'étude entre 2010 et 2021, de plus de 21%. Cette dynamique régressive du couvert végétal, est justifiée par l'intervention de plusieurs facteurs dus, essentiellement, à l'action anthropique (incendies, surpâturage..). L'utilisation de la télédétection spatiale, permet de mettre en évidence la dégradation du couvert végétal, et de ce fait, d'analyser les facteurs de risques (naturels et/ou anthropiques), et les scénarios futurs de dégradation de cet écosystème.

Mots-clés: Forêt de -Boutaleb, dynamique du couvert végétal, télédétection, NDVI, action anthropique.

SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF VEGETATION COVER IN SEMI-ARID ZONES: FOREST OF DJEBEL BOUTALEB (ALGERIA)

Abstract.- The vegetation of Algeria, in particular of the semi-arid regions, has undergone profound modifications during its history. The Boutaleb forest massif, located in a semi-arid zone (province of Setif); presents an important floristic potential, which is threatened by the persistence of several factors of anthropic origin, causing a regression of the vegetation. This requires vegetation monitoring to support sustainable forest management of these environments, which is now possible thanks to satellite imagery. The objective of this article, is to study the spatio-temporal dynamics of the vegetation cover of the said forest, between 2010 and 2021; based on remote sensing and the GIS tool. The methodological approach of the work is based on the use of Landsat satellite image data of two types: TM and OLI for two dates 2010 and 2021 (period of 11 years), and the calculation of the NDVI vegetation index, to identify changes in vegetation cover between the two dates chosen. The processing of satellite images showed a very significant spatio-temporal variation in the vegetation cover, indeed the analysis of the vegetation index (NDVI) and the production of the vegetation change map showed a decline and a significant degradation of the vegetation cover of the study area, between 2010 and 2021, of more than 21%. This regressive dynamic of the plant cover is justified by the intervention of several factors due, mainly to anthropogenic action (fires, overgrazing, etc.). The use of spatial remote sensing, makes it possible to highlight the degradation of the plant cover, and therefore to analyze the risk factors (natural and/or anthropogenic), and the future scenarios for the degradation of this ecosystem.

Key words: Boutaleb Forest, vegetation cover dynamics, remote sensing, NDVI, anthropogenic action.

Introduction

En Algérie, le phénomène de dégradation des terres, affecte et menace d'immenses espaces du pays [1]. En effet, la végétation de l'Algérie, surtout celle des régions semi-arides, a subi de profondes modifications, au cours de son histoire, aussi bien au niveau de sa physionomie qu'au niveau de sa flore, ceci et dû essentiellement, aux actions destructives, d'origine anthropozoogènes: à savoir les incendies de forêts, délits de coupes, surpâturage [2].

Les processus de déforestation, de dégradation et de perte en biodiversité; tend à faire ressortir la nécessité d'estimer, de prévoir, de surveiller, et de gérer la végétation dans toutes les parties du monde, et à différentes échelles (local, régional et global); ce qui est possible, grâce à l'imagerie satellitaire; et l'outil télédétection, considérées en tant que source d'information précieuse, fournissant des informations diachroniques à un coût raisonnable, et à des pas de temps très diversifiés [3].

L'utilisation de ces outils, est devenue intéressante, dans les études de la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal, cependant l'étude multi-date de la couverture végétale est la procédure la plus efficace, pour mesurer le degré de changement de l'environnement [4].

Plusieurs travaux et études diachroniques, traitant des changements du couvert végétal; ont été menés dans différentes zones en Algérie, à savoir le Parc national d'El Kala [5] les monts de Tessala [6], la forêt de Sanlba (Djelfa) [7], le massif Djebel El Ouahch [8], la région de Tolga [3].

Le massif forestier de Boutaleb, situé au sud de la wilaya de Sétif (Nord-Est algérien), fait partie de la chaîne des monts de Hodna, présente une diversité floristique très riche, avec plus de 360 taxons, appartiennent à 56 familles et 226 genres, avec 32 taxons endémiques [9]. Les usages greffés sur la forêt, sont partagés entre les riverains du massif, où l'élevage et l'agriculture sont parmi leurs principales sources de revenus; ces deux activités se développent au détriment de la forêt du massif [9]. Cependant ce potentiel naturel, se trouve menacé, par la régression de la végétation, et la déperdition de nombreux taxon. La végétation du massif forestier du Boutaleb, témoigne d'une action destructive, manifestée depuis fort longtemps, et accélérée occasionnellement, marquée par l'empreinte de l'homme et par ses activités quotidiennes, et saisonnières, et par l'aridité croissante et les sécheresses récurrentes, ce qui est un mauvais signe pour l'avenir de cette forêt, d'où la nécessité de surveiller, et de gérer la végétation de cet écosystème [2].

L'objectif de ce travail, est d'une part l'étude de l'évolution de la végétation, de l'écosystème forestier de Boutaleb, par l'application des techniques de traitement informatiques, et des données de la télédétection spatiale, sur une période de 11 ans, et d'autre part, de montrer le potentiel de l'utilisation de la télédétection, dans le suivi de l'évolution spatio-temporelle du couvert végétal.

L'approche méthodologique, consiste à détecter les changements dans le couvert végétal (régression ou progression), à partir des images satellitaires Landsat de deux types: TM et OIL, en se basant sur le calcul et la classification supervisée de l'Indice de Végétation par Différence Normalisé, également appelé NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), de 2010 à 2021.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Présentation de la zone d'étude

La forêt de Boutaleb, est située aux coordonnées géographiques suivantes [10]:
 X1: 721 071,86 m Y1: 261 004,95 m
 X1: 755 351,35 m Y1: 285 290,90 m
 (Selon la Projection: UTM Nord Sahara. Zone 31)

Elle appartient administrativement à la circonscription de Ain Oulmen, et occupe le djebel Boutaleb, l'une des principales montagnes du versant oriental des chaînes du Hodna, le massif forestier de Boutaleb, est situé dans la région sud de la wilaya de Sétif (Nord Est de l'Algérie), d'une superficie de 28427 hectares [9]. Elle présente plusieurs types de formations végétales à savoir: forêt, matorral, pelouse et steppe. Trois espèces principales dominent dans ladite forêt, le pin d'Alep, le chêne vert et le cèdre de l'atlas [10]. L'analyse de la diversité floristique, a révélé l'existence de 367 taxons, qui appartiennent à 56 familles et 226 genres avec 32 taxons endémiques [9].

La structure physique de la forêt est montagneuse, avec des altitudes élevées comprises entre 980 m et 1886 m, dont le Djebel Afghane forme le point culminant du Massif [9].

D'un point de vue climatique, cette forêt est située dans un étage bioclimatique semi-aride à hivers frais, avec une pluviométrie annuelle de 200 mm /an concentré en hivers et au printemps [10], la saison sèche est très longue en basse altitude et peut durer cinq mois, mais en haute altitude, elle ne doit pas dépasser trois mois [2].

Le sol du massif de Boutaleb peut être scindé en deux séries: les sols minéraux bruts et les sols calcimagnésique [9].

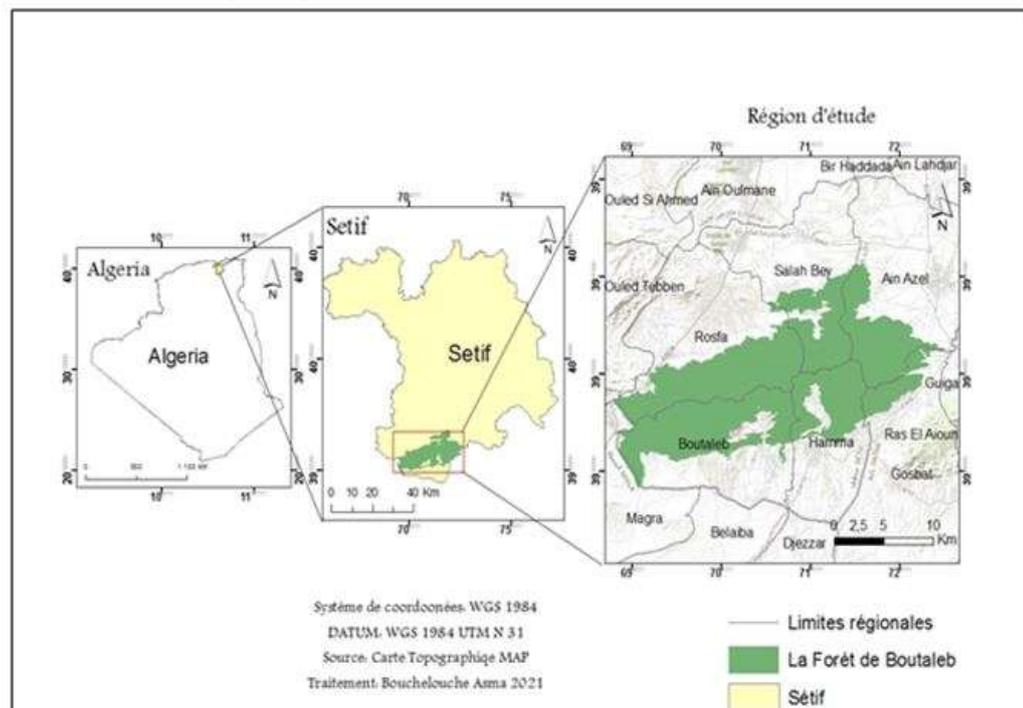


Figure 1.- Situation géographique du massif de Boutaleb (Carte Topographique de l'Algérie)

1.2.- Aspect méthodologique

L'approche méthodologique du présent travail, comprends plusieurs phases, et étapes résumées développées ci-dessous.

1.2.1.- Données utilisées

L'étude multi-chronique de la dynamique du couvert végétal, repose sur l'analyse spatio-temporelle, et le traitement des images satellitaires par la télédétection spatiale [11]. Dans le présent travail, il est opté une démarche, qui s'appuie sur l'utilisation des données des images du satellite Landsat, le choix des images Landsat, s'est basé principalement sur leurs disponibilités sur le site Web de la NASA (<http://glovis.usgs.gov/>). Il s'agit des images satellites Mapper (TM) et (OLI), sans nuage avec une résolution de 30 x 30 m. (tab. I).

Pour toute étude multi-chronique de la végétation, il est très intéressant de bien choisir la date de prise de vue, parce que les caractéristiques du terrain, varient souvent d'une année et d'une saison à l'autre, pour la même année. Pour cette raison, et afin d'augmenter la précision spatiale et radiométrique, il a été choisi la période de la saison sèche (Août), où l'absence de nuages rend la qualité des images satellites acquises plus élevée.

Tableau I.- Dates et caractéristiques des images Landsat choisies

Satellite	Date	Référence	Nébulosité	Résolution spatiale
Landsat 5 TM	09-08-2010	LT51940352010189MPS00	0%	30 m
Landsat 8 OLI	23-08-2021	LC81940352021235LGN00	0%	30

1.2.2.- Prétraitement

En raison des effets atmosphériques (nuages, poussières..) auxquels les capteurs satellitaires sont exposés, la correction atmosphérique constitue un processus important à réaliser avant d'analyser les images satellitaires sélectionnées. La correction atmosphérique, se fait en convertissant les valeurs numériques en valeurs luminance, au niveau de capteur, puis d'en extraire les effets perturbateurs atmosphériques en calculant la réflectance spectrale [12].

1.2.3.- Composition colorée

La composition colorée, est la combinaison des canaux rouge vert et bleu; pour produire une image; qui synthétise le maximum d'informations [13]. Elle permet d'avoir une image muti-chrome, à partir de trois images monochromes [14].

Pour exploiter l'information spectrale relative au couvert végétale, il a été élaboré un type de composition colorée, des images satellitaires, qui concernent la composition fausse colorée (false color).

Les compositions colorées (Le couvert végétal apparait en vert) réalisées sont:

- La combinaison des bandes: 5-4-3 pour Landsat 5 (Août 2010),
- La combinaison des bandes: 6-5-4 pour Landsat 8 (Août 2021).

La composition colorée, est suivie de l'application du masque, afin de retirer les pixels n'ayant pas d'intérêt à être étudiés. Le masquage consiste à cacher une partie de l'image et à conserver intacte de l'autre partie [15]. Dans le présent cas, il est effectué un masquage géographique, il s'agit du découpage sur l'image, de type géométrique; par la numérisation des limites géographiques de la région d'étude.

1.2.4.- Indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

Les indices de végétation, sont très utilisés dans les études de la dynamique du couvert végétal; parmi ces indices; il y a l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), qui est de loin l'indice de végétation, le plus utilisé dans le suivi de la végétation [16].

Dans ce contexte, HUETE *et al.* (1997) considèrent que cet indice est suffisamment stable, pour comparer l'activité végétale, à des pas de temps saisonniers ou interannuels [17]. Le NDVI est un indice de végétation qui sert à estimer la quantité, la qualité, et le développement de la végétation, à partir de la mesure de l'intensité du rayonnement de certaines bandes du spectre électromagnétique, que la végétation émet ou réfléchit, proposé par ROUSSE *et al.* (1973), l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) est calculé par la relation suivante (Equ1) [18]:

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R) \quad (1)$$

Où :

NDVI : Indice de végétation par différence normalisée,

PIR: Réflectance de la végétation dans la bande proche infrarouge,

R : Réflectance de la végétation dans la bande rouge.

Les valeurs du NDVI, sont comprises entre -1 et +1, les valeurs positives représentent la biomasse végétale, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme l'eau, le bâti et les nuages; Pour les sols nus, le NDVI présente des valeurs proches de 0 [19].

1.2.5.- Classification de NDVI

Suivant la valeur de NDVI; l'image peut être classée selon plusieurs méthodes, ainsi la méthode adoptée l'étude, est la classification supervisée, basée sur la méthode du «maximum vraisemblance», qui consiste à assigner chaque pixel, à la classe à laquelle la probabilité d'appartenance est la plus élevée [20]. Il est retenu deux classes: le sol nu (hors végétation) et le couvert végétal. L'étape de classification est la plus critique à réaliser; à chaque étape de classification. Un aperçu du résultat est analysé, ce qui permet un suivi tout au long du processus de classification [8]

1.2.6.- Détection de changement

Après la classification, il a été procédé à la détection du changement; entre les dates sélectionnées, c'est le processus de détermination de changement d'un objet, ou d'un phénomène, au cours du temps, en l'observant à différents moments. Cela implique la capacité de quantifier les effets temporels à l'aide d'un ensemble de données multi temporels [21].

L'opération de «Change détection », consiste en la soustraction entre les valeurs de NDVI d'une première image; (antérieure); et la suivante (postérieure), pixel par pixel, puis détermination des classes de comparaison selon le degré de changement entre les deux images [22].

Ce procédé permet de détecter les moindres changements, entre deux images classées à des dates différentes, et les images obtenues illustrent à la fois, spatialement et quantitativement, des changements significatifs de la végétation au cours du temps, dans la zone d'étude [3]. Ces changements peuvent prendre la forme d'une progression, une régression ou une stabilité de la végétation.

- Les pixels ayant une valeur supérieure à 0 reflètent les zones où la végétation a progressée,
- Les pixels dont la valeur est égale à 0 sont les zones de stabilités,
- Les pixels ayant une valeur négative correspondent aux zones où la végétation a subi une régression [6].

La phase finale, consiste à réaliser des cartes de synthèses des changements de la végétation, au cours du temps. Les résultats sont complétés, par des tableaux et graphiques; apportant la régression, progression et stabilité de la végétation; en termes de superficie et pourcentage, au niveau de la forêt de Boutaleb.

1.3.- Matériel utilisé

Dans le cadre de cette étude les logiciels utilisés sont:

- Le système d'information géographique ArcGIS 10.4 qui reste le logiciel référence en matière de cartographie. Il est effectué diverses opérations à travers ce logiciel. Il permet d'éditer et même de comparer des données de cartographie.
- le logiciel ENVI 5.1 Utilisé surtout pour l'étape de prétraitement.

2.- Résultats

2.1.- Composition colorée et carte NDVI

L'état de la végétation, dans le massif forestier de Boutaleb, a été constaté et quantifié, durant une période de 11 ans; grâce à l'analyse des images Landsat 5 TM, et Landsat 8 OLI, avec résolution de 30 mètres. Avant de procéder au traitement des images satellitaires, il est nécessaire d'appliquer la procédure de prétraitement, en effet la luminance mesurée par les capteurs, est affectée par l'état atmosphérique, existant au moment de la prise de l'image satellite, par conséquent il est nécessaire d'appliquer la correction atmosphérique requise.

Puis il a été établi la carte de l'NDVI à l'aide de logiciel Arcgis 10.4, les fig. 2 et fig. 3 présentent la carte de l'NDVI et la composition «false color» des années 2010 et 2021 respectivement.

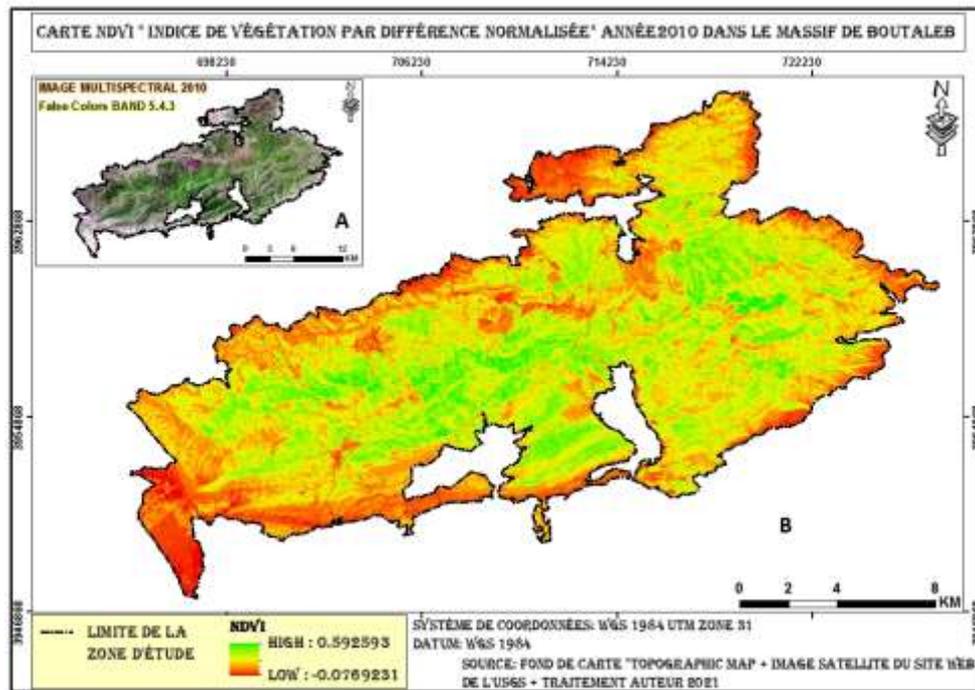


Figure 2.- Composition coloré (A) et NDVI (B) de l'image Landsat TM 5 de 09/08/2010

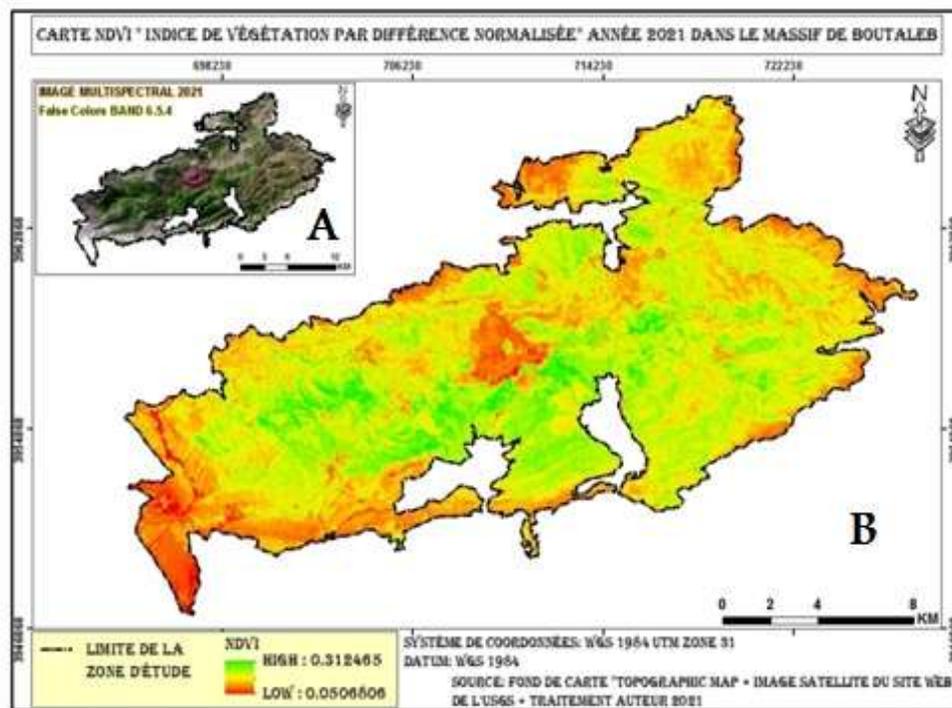


Figure 3.- Composition coloré (A) et NDVI (B) de l'image Landsat OLI 8 de 23/08/2021

Le NDVI est l'un des indices les plus largement utilisés dans l'analyse et la surveillance par satellites, de la couverture végétale, les résultats des images NDVI finales sont les suivantes:

- NDVI de landsat 5TM en date du 09/08/2010

La figure 2 montre la distribution spatiale du NDVI de Landsat 5 TM en date de 09/08/2010, les valeurs NDVI sont estimées entre -0.0769231 et 0.592393, avec une valeur

moyenne de 0.223121 et un écart type de 0.101002 (tab. II).
- NDVI de Landsat 8OLI en date du 23/08/2021

La figure 3 montre la distribution spatiale du NDVI de Landsat 8 OLI en date de 20/08/2021 la plage des valeurs NDVI est estimée de 0.0506806 et 0.312465 avec une valeur moyenne de 0.171667 et écart type de 0.032624 (tab. II).

Tableau II.- Valeurs NDVI des années 2010 et 2021

NDVI	NDVI du 09/08/2010	NDVI du 23/08/2021
Minimale	-0.0769231	0.0506806
Maximale	0.592393	0.312465
Moyenne	0.223121	0.171667
Ecart type	0.101002	0.032624

Une valeur élevée de l'indice NDVI, indique une densité de végétation élevée, tandis qu'une valeur inférieure du même indice, indique une faible densité de végétation. L'analyse visuelle des deux images, montre que les valeurs de l'indice NDVI sont supérieures de l'année 2010, par rapport l'année 2021, et la valeur maximale de l'NDVI, diminue de 0.27, ce qui renseigne sur la diminution du couvert végétal; durant la période retenue.

Comme le montrent la figure 1 et figure 2, les valeurs de NDVI de 2010 sont nettement supérieures aux valeurs de NDVI de 2021, la valeur moyenne de NDVI pour 2010 est estimée à 0.22 alors que la valeur moyenne du NDVI de 2021 est de 0.17.

2.2.- Classification supervisé des images de l'NDVI

Le résultat de la classification supervisée de NDVI des images Landsat de 2010 et 2021, sont présentées dans la figure 4, ce sont des images bien précises pour la différenciation entre les deux classes: végétation et la classe hors végétation.

La classification supervisée de l'NDVI des images Landsat de 2010 et 2021, a été effectuée, après avoir identifié les deux classes retenues (végétation et sol nu), plusieurs échantillons ont été pris, en se basant sur les signatures spectrales de la végétation, et des surfaces dépourvues de végétation (fig. 4).

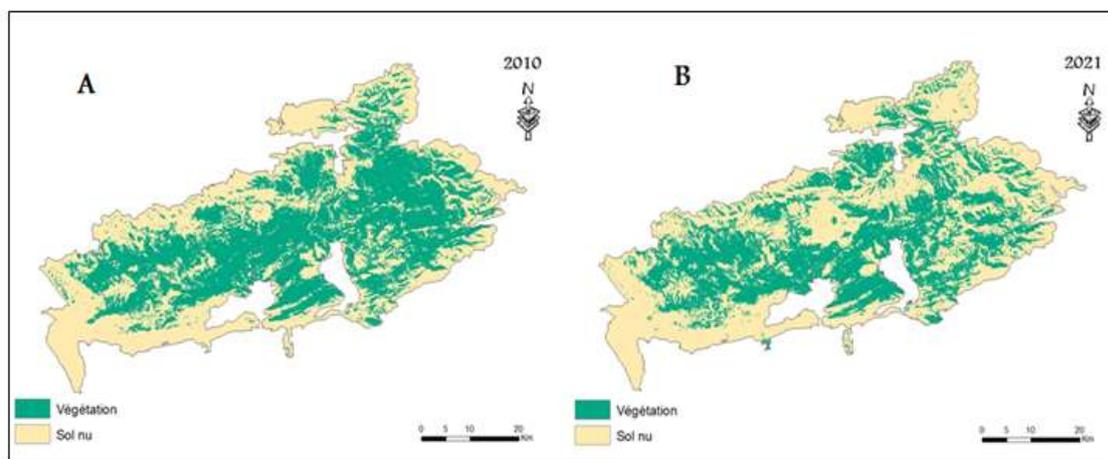


Figure 4.- Classification supervisée de l'NDVI de l'année 2010 (A) et de l'année 2021(B)

En effet, le traitement des images, a produit des cartes plus explicites, montrant une variation de l'extension spatiale, et de la superficie du couvert végétal entre les deux dates prédéfinies 2010 et 2021.

A la lumière des cartes de la classification, il est observé une régression de la surface occupée par la végétation de l'année 2021 par rapport à l'année 2010. Cependant les zones qui ont connu une importante régression du couvert végétal, sont la partie Centrale et la partie Nord-Est de la zone de l'étude.

2.3.- Carte du changement

La carte du changement; a été établie par la différence entre les deux cartes de l'indice NDVI de 2010 et 2021. La figure 5, illustre spatialement et quantitativement, les changements importants de la végétation, survenus dans la région de Djebel Boutaleb; sur une période de 11 ans (2010-2021). Ces changements de la végétation, peuvent êtres de trois types:

- Positifs pour les zones où la végétation a progressée;
- Négatifs pour les zones où la végétation a subi une régression;
- Nul pour les zones de stabilités.

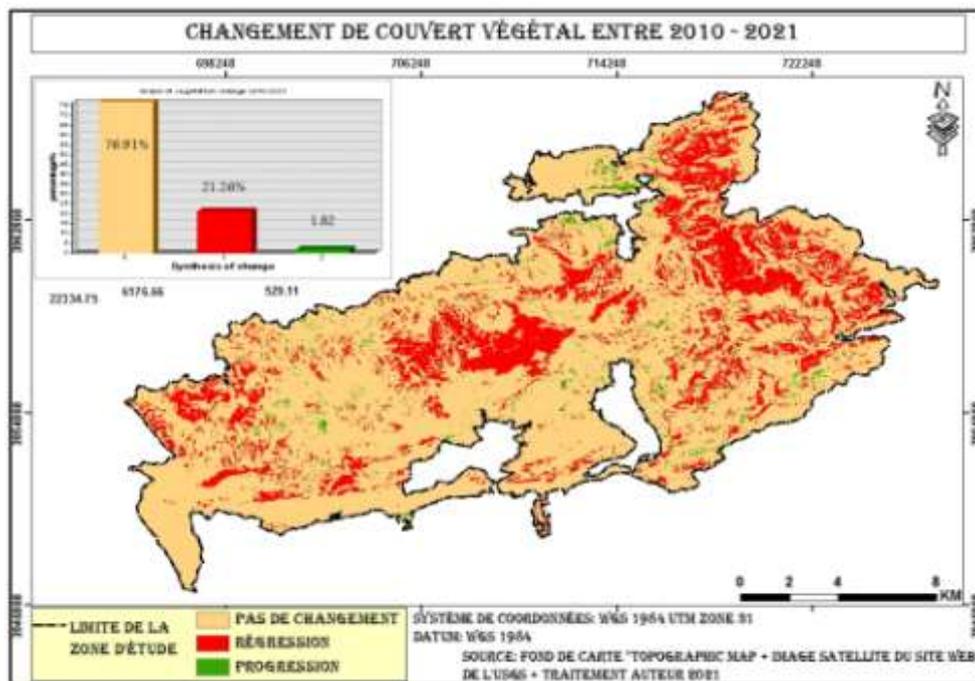


Figure 5.- Carte de synthèse du changement de la végétation entre 2010 et 2021

A partir de la carte de synthèse, il a été calculé les superficies de la régression et progression de la végétation, au niveau de la région de Djebel Boutaleb, pour la période 2010-2021 (tab. III).

Tableau III.- Changement de la végétation (2010-2021)

Type de changement	Superficie	Pourcentage
Régression	6171.77 ha	21.26%
Stabilité	22324.07 ha	76.9%
Progression	534.15 ha	1.84%

De 2010 à 2021, le djebel Boutaleb a affiché un bilan négatif, avec une perte de végétation équivalente à 6171.77 ha, soit 21.26% de la surface totale du massif. Cette régression concerne essentiellement les parties Nord Est, et centre du massif; avec quelques taches dans le versant sud; durant la même période, les zones de progression représentent une superficie estimée à 1.84% soit 534.15 ha; les zones de stabilité de la végétation sont majoritaires avec une superficie de 22324.07 ha, soit 76.91%.

2.4.- Bilan du changement de la végétation par type de formation

À partir de la superposition de la carte d'évolution de la végétation de la période 2010-2021, avec la carte des peuplements forestiers du massif de Boutaleb fournie par la Direction de la Conservation des Forêts Sétif (Circonscription Ain Oulmene, Algérie) de l'année 2021, il a été possible de calculer les superficies et les pourcentages de la régression et de la progression de la végétation au niveau de chaque type de formation.

Tableau IV.- Bilan de changement de la végétation forestière par type de peuplement dans la région de Djebel Boutaleb pour la période 2010-2021

Peuplement	Progression	Régression	Stabilité	Bilan (Ha)	Superficie Totale
Pin d'Alep	2.51%	16.35%	81.12%	- 1394.87	8531.37 ha
Tallis de chêne vert	1.42%	22.45%	76.12%	- 499.62	2225.51 ha
Cedrai	3.08%	8.35%	88.65%	-48.71	583.47
Matorral chêne vert	2.12%	30.93%	66.94%	- 878.01	2838.71 ha
Matorral Génévrier	1.01%	20.02%	78.95%	- 178.17	890.00ha
Garrigue génévrier	0.56%	3.71%	95.72%	- 45.47	1225.75ha
Matorral Génévrier Phénicie chêne vert	0.41	32.71%	66.86	-761.78	2328.92 ha

Tous les types de peuplements, au niveau de la région de Djebel Boutaleb, affichent un bilan négatif entre 2010 et 2021. Le matorral de chêne vert et le matorral Génévrier Phénicie chêne vert, sont les plus touchés, avec une perte de 30.93% et 32.71% de superficie respectivement, soit 878.01 ha et 761.78 ha de leurs superficies respectivement. Le peuplement de Pin d'Alep, a également régressé, pendant la même période, de plus de 16% de sa superficie totale, soit 1394.87 ha. Le bilan global des forêts de cèdre reste relativement stable, avec une régression de 8.35% (tab. IV).

3.- Discussion

La couverture végétale est le meilleur repère pour apprécier les changements du milieu entre différentes périodes dans une région [24]. Il a été noté que le massif forestier de Boutaleb situé en zone semi-aride, a connu une dynamique remarquable de 2010 à 2021, en effet l'analyse des résultats cartographiques, a révélé une dégradation du couvert végétal au détriment du sol nu. La disparition du couvert végétal, s'est traduit par la perte de 6171.77ha de forêt sur les 28427 ha, soit une régression de plus de 21%; sur la période 2010-2021, en effet en 2010 la valeur maximale du NDVI était de 0.59 qui est devenue 0.31 en 2021. La partie centrale de la zone d'étude a connu une nette différence de NDVI.

Plusieurs travaux s'accordent sur la régression de la végétation du massif Boutaleb et des écosystèmes Sétifois en général, dans la même période retenue [25,26]. Cette régression est due aux facteurs climatiques, mais surtout aux pressions exercées par

l'homme sur la forêt. L'analyse des facteurs de dégradation, montre l'ampleur de l'impact humain qui reste sans conteste l'élément déterminant de l'évolution régressive du tapis végétal dans la région de Djebel Boutaleb [9].

La superficie des peuplements forestiers incendiés (Pin-D'Alep, Chêne Vert, Genévrier. Genévrier Oxycédre) au niveau du massif Boutaleb, entre 2010 et 2018, se chiffre à 785.5 ha soit une moyenne de 98 ha/an. Cette superficie incendiée est élevée, par rapport à la décennie précédente (2001-2010) où la superficie incendiée au niveau du massif Boutaleb, était de 443.5 ha, ce qui constitue une augmentation de presque le double pour la période 2010/2018, et témoigne de la dégradation de végétation constatée [23].

En plus des incendies, l'exploitation humaine et pastorale importante qu'a connue la végétation du massif forestier du Boutaleb, au cours de son histoire, s'est répercutée sur le couvert végétal de la forêt [2]. Le surpâturage, le défrichage et l'exploitation irrationnelle du bois, sont autres facteurs de dégradation de l'écosystème forestier de Boutaleb[9]. Les populations à proximité de la forêt, exercent des pratiques sur la forêt qui persistent encore comme le surpâturage, le broutage, délit de coupe important, surtout sur la cédraie, la cueillette des plantes reconnues médicinales, toutes ces actions anthropozoogènes, ont été à l'origine des dégradations importantes qu'a connu la forêt domaniale du Boutaleb, aussi bien au plan de sa physionomie qu'à celui de sa flore [2].

Conclusion

La méthode de la différenciation des NDVI appliquée, a permis de faire ressortir les grands changements au niveau de la zone d'étude. Le massif forestier de Boutaleb diversement fragilisé, est soumis à de multiples facteurs d'agression; principalement d'ordre anthropiques (incendies, surpâturage, déforestation.); ce qui a profondément perturbé les équilibres écologiques de cette écosystème forestier.

Pour la protection de cette aire naturelle, il est urgent et nécessaire; d'établir un plan de gestion, et un programme de suivi; afin d'appliquer des moyens de conservation; vus les contraintes anthropique, auxquelles la forêt est exposée.

Références bibliographique

- [1].- Heddadj D.,1997.- La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull Réseau Erosion, vol 17: 75-168
- [2].- Madoui A. et Gehu J.M., 1999- Etat de la végétation dans la forêt de Bou taleb Mont du Hodna, Algérie. Forêt Méditerranéenne, vol 20: 162-168.
- [3].- Rekis A. et Belhamra M., 2015.-Etude diachronique du changement de la végétation par télédétection Cas de la région de Tolga en Algérie. International Journal for Environment and Global Climate Change, vol 3: 49-60
- [4].- Lambin E., 2001.- The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. Global Environmental Change, 11: 261-269.
- [5].- Diaf I., El Halim M. et Touati B. 2015. -Application des nouvelles techniques aérospatiales dans l'évaluation du changement du couvert végétal dans le parc

- national d'El kakal (Algérie) entre 1995 et 2015. *Revue GeoSP*, 3 : Pp 13.
- [6].- Bachir Bouladjar S., El Zerey W. et Benabdeli K., 2011.- Etude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale: cas des monts du Tessala (Algérie occidentale). *Géographie physique et environnement*, vol 5: 215-230.
- [7].- Mouissa H. Fournier R, Oldache E., et Belatreche M., 2018.- Détection des changements au niveau d'un couvert forestier en milieu semi-aride entre 1984-2009: cas de la forêt de Senalba Chergui de Djelfa (Algérie). *Canadien journal of remote sensing*, vol 44:113-130.
- [8].- Bouzenzana L., 2015.- Etude diachronique de la régression de la végétation forestière par télédétection dans le massif de djebel El Ouahch (Constantine). *Mémoire de master, université des Frères Mentouri, Constantine*, 46p.
- [9].- Sedjar A., 2012.- Biodiversité et dynamique de la végétation dans un écosystème forestier - Cas de djebel Boutaleb, *Mémoire de magister, univéristé Ferhat Abbas, Sétif*, Pp 3-91.
- [10].- Zerroug K., 2012.- Elaboration d'un système d'information géographique (flore) dans la wilaya de Sétif. *Mémoire de magister, univéristé Ferhat Abbas, Sétif*, 44p.
- [11].- Hili A., Bissour R., Jaa F., Reddad H., and Eljoughry Y. 2022.- Study of the spatio-temporal dynamics of the Ait Daoud ou Ali (Central High Atlas, Morocco) Forest using geospatial techniques. *Revista de Estudios Andaluces* 43: 208-225.
- [12].- Abdelbaki A., 2012.- Utilisation des SIG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant d'oued Bouguedfine (Wilaya de Chlef). *Mémoire de magister, université Hassiba Ben Bouali, Chlef*, 110p.
- [13].- Tsayem Demaze M., 2002.-Caractérisation et suivie de la déforestation en milieu tropical par télédétection: application aux défrichements agricoles en Guyane française et au Brésil. *Doctorat dissertation, Université d'orléans*, 120 p.
- [14].- Yao K., 2009.- Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du Sud-Ouest de la Cote d'Ivoire: Cas du département de Sourbé: apport de la télédetection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie. *Doctoral dissertation université Cocody- Abidhan*), 74 p.
- [15].- Girard M. C. et Girard C.M., 1999. *Le traitement des données de télédétection*. Dunod, Paris, 529 p.
- [16].- Tucker C.,1979.- Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8:127-150.
- [17].- Huete A. L.,1997.- A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59: 440-451.
- [18].- Rouse J. W., H. R. 1973.- Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *ERTS symposium NASA*, 1:309-317.

- [19].- Sellers P., 1985.- Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International journal of remote sensing*, vol 6: 1335-1372.
- [20].- Swain P. et Davis S. M.; 1978.- *Remote sensing: The quantitative approach*. McGraw-Hill International Book Company, New York, 6 : 713-714.
- [21].- Singh A., 1989.- Digital change detection techniques using remotely sensed data. *international journal of remote sensing*, vol 10: 989-1003.
- [22].- Mariotto I., & Gutschick V., 2010-Non-lambertian corrected albedo and vegetation index for estimating land evapotranspiration in a heterogeneous semi-arid landscape. *REMOTE SENSING*, vol 2: 926-938.
- [23].- Conservation des forêts Sétif, Circonscription Ain Oulmene, Bilan des incendies Boutaleb et righa dahra 1982-2018, 3 p.
- [24].- Tankoano B., 2017- Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à l'évaluation de l'impact des activités humaines sur la couverture végétale: cas du parc national des deux Balé (PNDB) à l'ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat, université Nazi Boni, Burkina Faso, 111 p.
- [25].- Missaoui K., 2020- Dynamique des écosystèmes du Sétifois face aux changements globaux. Thèse de Doctorat, université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 126 p.
- [26].- Benkhelfi R., Bouchachoua K., 2021- Etude diachronique de la végétation forestière dans la wilaya de Sétif. Mémoire de Master, Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 23p.