

## DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE LA COUVERTURE VEGETALE DANS LA FORET DE CHETTABA

Ammar HADDAD <sup>1,2\*</sup>, Malika RACHED-KANOUNI <sup>1,2</sup>, Amina BELDJAZIA <sup>3</sup>, Labeled ABABSA <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire des substances naturelles, des biomolécules et des applications biotechnologiques.*

<sup>2</sup> *Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El Bouaghi, Algérie.*

<sup>3</sup> *Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie.*

### Résumé

Le suivi de l'intensité de l'activité photosynthétique dans la forêt de Chettaba est nécessaire pour mieux comprendre la distribution et la dynamique spatio-temporelle de pin d'Alep, y compris les valeurs NDVI à différentes altitudes, allant de 774 à 1123 m. Cela permet d'interpréter les données de télédétection et d'utiliser les SIG pour détecter les changements dans l'état de la couverture végétale. La méthode adoptée, est basée sur 36 images Landsat (satellites TM et OLI/TIRS), formant trois scènes 2011, 2014 et 2021 ; ces dernières étant essentiellement des analyses visuelles d'images, après élimination de celles contenant une forte couverture nuageuse. Dans cette étude, nous avons analysé l'évolution diachronique de la couverture végétale à partir des données de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) qui ont eu lieu sur une période de 10 ans (2011 à 2021). Nos résultats révèlent des variations des valeurs de NDVI dans les parcelles étudiées ; les valeurs moyennes les plus élevées sont obtenues en 2011 (0,42) et les plus faibles sont obtenues en 2021 (0,28). Les cartes NDVI permettent de distinguer les différentes classes de couverture du sol. Ainsi obtenus, les profils temporels du NDVI permettent de conclure que la forêt de Chettaba a connu une moyenne dégradation durant la période 2011-2014, et une dégradation continue durant la période 2014-2021. En effet les valeurs faibles de cet indice témoignent d'un mauvais état sanitaire de cette forêt, et l'analyse du profil temporel NDVI montre que la forêt de Chettaba s'est nettement dégradée pendant les dernières années.

**Mots-clés :** Pin d'Alep, NDVI, Analyse diachronique, Altitude et Chettaba.

## SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF VEGETATION COVER IN THE CHETTABA FOREST

### Abstract

Monitoring the intensity of photosynthetic activity in the Chettaba forest is necessary to better understand the distribution and spatio-temporal dynamics of Aleppo pine, including NDVI values at different altitudes, ranging from 774 to 1123 m. This makes it possible to interpret remote sensing data and use GIS to detect changes in the state of vegetation cover. The method adopted is based on 36 Landsat images (TM and OLI/TIRS satellites), forming three scenes 2011, 2014 and 2021; the latter being essentially visual analyzes of images, after eliminating those containing heavy cloud cover. In this study, we analyzed the diachronic evolution of vegetation cover using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data that took place over a 10-year period (2011 to 2021). Our results reveal variations in NDVI values in the plots studied; the highest average values are obtained in 2011 (0.42) and the lowest are obtained in 2021 (0.28). NDVI maps make it possible to distinguish between different land cover classes. Thus obtained, the temporal profiles of the NDVI allow us to conclude that the Chettaba forest experienced average degradation during the period 2011-2014, and continued degradation during the period 2014-2021. In fact, the low values of this index indicate a poor health status of this forest, and the analysis of the NDVI temporal profile shows that the Chettaba forest has clearly deteriorated in recent years.

**Keywords:** Aleppo pine, NDVI, Diachronic analysis, Altitude and Chettaba.

## Introduction

Les satellites de télédétection fournissent des images multispectrales et panchromatiques. Les données multispectrales sont précieuses pour identifier différents objets dans une image. La lumière du soleil est essentielle à la survie de presque toutes les plantes, car elles utilisent la chlorophylle pour convertir l'énergie rayonnante du soleil en énergie organique. La chlorophylle possède des propriétés d'absorption distinctes, absorbant sélectivement les longueurs d'onde de la bande rouge visible (environ 645  $\mu\text{m}$ ) tout en laissant passer les longueurs d'onde du proche infrarouge (environ 700  $\mu\text{m}$ ). Ces caractéristiques spécifiques de la chlorophylle sont couramment utilisées dans le développement d'indices qui estiment la densité de la végétation locale dans les images multispectrales capturées par des plateformes satellitaires ou aéroportées [1].

Les données de l'indice de végétation de la série temporelle sont approuvées pour bien décrire la croissance de la végétation et la forme des profils de croissance de la végétation [2]. En outre, les forêts apportent de nombreux avantages à la société grâce aux diverses activités économiques créées en termes d'emploi et de revenus générés par l'utilisation, l'exploitation et la transformation des produits forestiers, ainsi

qu'aux avantages liés à la régulation de l'eau, du climat et à la protection des sols [3]. D'autre part, le problème de la dégradation des forêts est aujourd'hui une préoccupation majeure, en particulier dans les pays en développement. En 2000, on estimait qu'environ 800 millions d'hectares de forêts dans 77 pays étaient dégradés et que, sur ce total, environ 500 millions d'hectares étaient passés d'une végétation primaire à une végétation secondaire [4].

En Algérie, le pin d'Alep occupe de vastes peuplements dans les régions de Sidi Belabbes, Saïda, Tlemcen, Tiaret, Médéa et Ouarsenis [5]. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) joue un rôle important dans l'écologie et le paysage de différents pays du bassin méditerranéen. Cette espèce pionnière et peu exigeante se régénère facilement et peut réhabiliter des sols très pauvres et dégradés. Elle est une composante essentielle de la stratégie de reboisement des sols calcaires dans les climats arides ou semi-arides du bassin méditerranéen, en raison à la fois de sa capacité intrinsèque à coloniser et de son effet sur l'amélioration des sols et des microclimats [6]. Plusieurs indices de végétation ont été proposés pour décrire le niveau de verdure de surface fonctionnant de manière physiologique pour chaque élément d'image et pour détecter les tendances de la végétation dans le monde

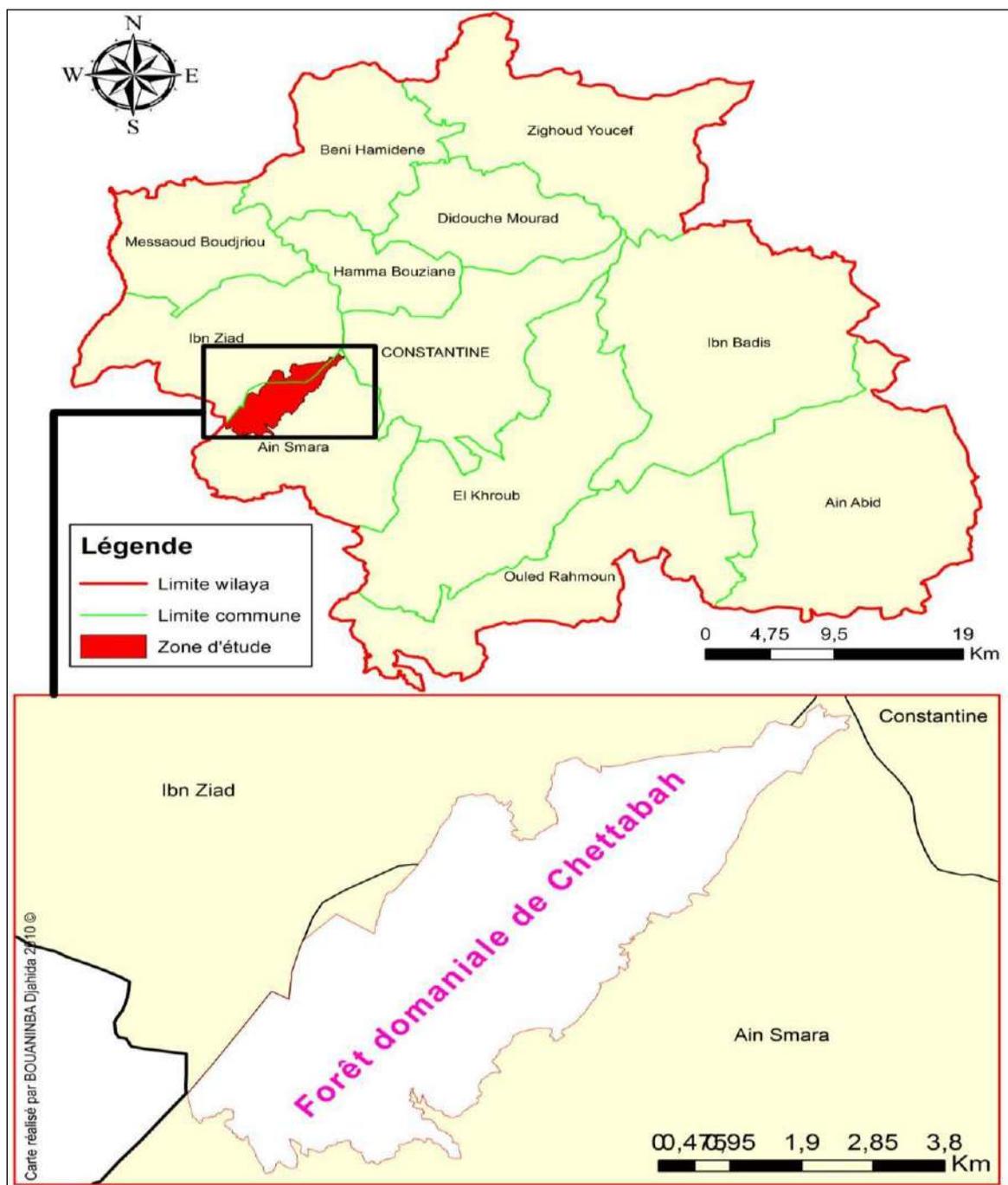
entier. L'indice le plus largement utilisé est l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) [7]. Cet indice fournit des valeurs estimées de l'intensité verte des forêts sur la base de l'analyse de données satellitaires [9]. Le NDVI est utilisé pour déterminer l'état de santé des plantes, détecter les changements phénologiques, estimer la biomasse verte et le rendement, et dans de nombreuses autres applications. Le concept du NDVI repose sur l'observation qu'un couvert végétal absorbe de l'énergie dans la bande rouge grâce à sa chlorophylle et en réfléchit beaucoup dans la bande infrarouge proche [10].

Une approche méthodologique qui combine l'analyse de données de télédétection et de données de terrain a été adoptée pour caractériser la dégradation du massif forestier de Chettaba.

### **Données et méthodes**

### **Présentation de la zone d'étude**

La forêt de Chettaba est située au sud-ouest de Constantine. Cette forêt est localisée sur la carte topographique de Constantine à l'échelle 1/200 000 feuille N °17 entre 36°194" N et 6°28'36" E (Fig. 1). Chettaba s'étend sur une superficie de 2398 ha et divisée en six cantons. Les altitudes extrêmes de la forêt sont d'environ 1104 m (altitude maximale) et 652 m (altitude minimale), correspondant aux coordonnées cartographiques : (x = 839, y = 344) et (x' = 839.9, y' = 340.3), respectivement. Son environnement bioclimatique est semi-aride à subhumide. Les précipitations annuelles moyennes sont estimées entre 670 et 800 mm. La température annuelle moyenne de la région est de 18°C, la moyenne du mois le plus chaud étant supérieure à 35°C et le mois le plus froid variant entre 1,25 et 3,05°C.



**Fig. 1.** - Localisation de la zone d'étude.

Pour cette étude, nous avons utilisé une image Thematic Mapper (TM) et deux images Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) acquises respectivement en 2011, 2014 et 2021. La haute résolution du capteur, en particulier de

l'ETM+ (30 m) est bien adaptée à la détermination de l'occupation du sol, du type et de l'état de la végétation, ainsi que des caractéristiques géologiques. Le tableau 1 présente les caractéristiques spectrales de ces images.

**Tableau 1.** Capteur Landsat 7 (ETM+).

<i>Bandes</i>	<i>Résolution spectrale</i>	<i>Résolution spatiale</i>
<i>TM1-Blue</i>	0,45-0,515	30
<i>TM2-Green</i>	0,525-0,605	30
<i>TM3-Red</i>	0,63-0,69	30
<i>TM4-Near-Infrared (NIR)</i>	0,75-0,90	30
<i>TM5- Shortwave infrared-1 (SWIR-1)</i>	1,55-1,75	30
<i>TM6- Thermal</i>	10,4-12,5	30
<i>TM7- Shortwave infrared-2 (SWIR-2)</i>	2,09-2,35	30
<i>TM8- Panchromatic</i>	0,52-0,90	15

Pour l'étude de l'évolution spatio-temporelle de la végétation de la forêt de Chettaba, nous avons utilisé 36 images satellites multi-spectrales LANDSAT géoréférencées avec une faible couverture nuageuse.

Ces images ont été obtenues à l'aide de trois types de capteurs LANDSAT (TM 5 Thematic Mapper, OLI/TIRS 7 et 8 : Operational Land Imager).

Nous avons également utilisé le logiciel ArcGIS 10.8, qui est une suite de logiciels d'information géographique (SIG) développée par la société américaine Environmental Systems Research Institute (ESRI) qui permet de visualiser, d'interroger, d'analyser et de mettre en forme des données géographiques.

### **Calcul de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI)**

Le NDVI est l'un des indices satellitaires les plus utilisés en raison de sa simplicité, de son efficacité de calcul, de sa précision d'estimation et du suivi de la couverture végétale mondiale dans les différentes zones climatiques du monde au cours des dernières décennies [11]. L'indice de végétation normalisé (NDVI) a été calculé dans 11 parcelles des peuplements du pin d'Alep du massif forestier Chettaba de superficie 30mx30m sur la base de deux bandes spectrales, le rouge R et l'infrarouge IR [12], à l'aide de la formule suivante :

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$$

*PIR* : réflectance de la végétation dans le proche infrarouge.

$R$  : réflectance de la végétation dans la bande rouge.

Les images obtenues illustrent, spatialement et quantitativement, les changements importants de la végétation survenus dans le temps au niveau de la région d'étude. Ces changements peuvent être une progression, une régression ou une stabilité du couvert végétal.

### Résultats et Discussion

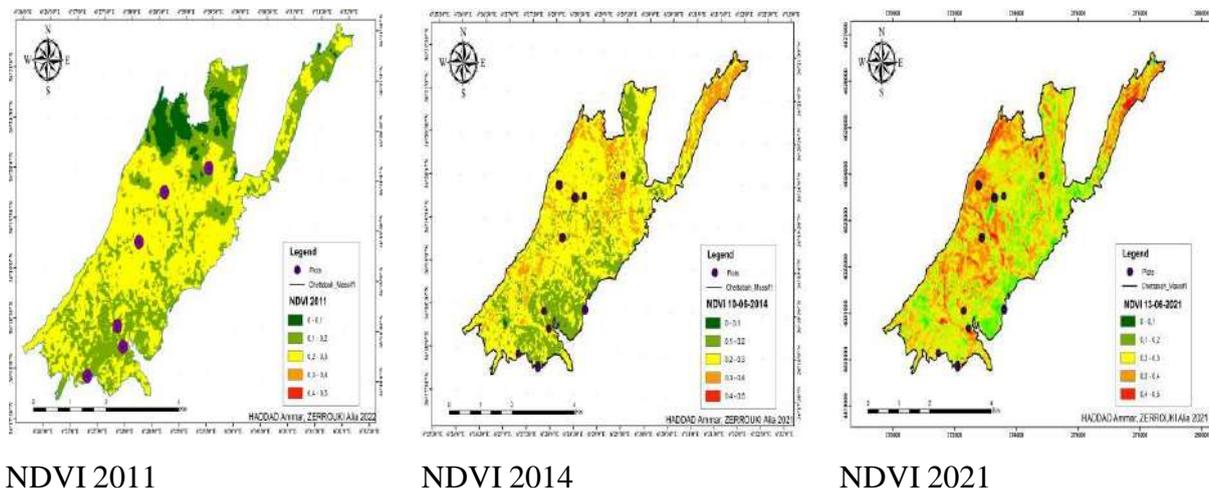
Les valeurs d'occupation du sol découlant du NDVI sur la période 2011-2021 sont présentées dans le tableau 2 et la Fig. 2. Pendant dix ans, l'état de la végétation dans la forêt de Chettaba est mesuré à l'aide

d'images Landsat 5 TM et Landsat 8 OLI d'une résolution de 30 mètres. Les variations interannuelles de l'NDVI, illustrées dans le tableau 2, est calculée sur une période de 10 ans. Les résultats obtenus montrent que les trois années sont caractérisées par une fluctuation des valeurs moyennes de l'NDVI ; ces valeurs passent de 0,42 en 2011 à 0,28 en 2021. Ainsi, les valeurs d'NDVI du peuplement de pin d'Alep passent de 0,36 dans la parcelle 7 à 0,51 dans la parcelle 11 en 2011. Les valeurs de l'NDVI en 2014 et 2021 sont faibles par rapport à l'année précédente. La valeur maximale d'NDVI est enregistrée au sein de la parcelle 1 (0,41) en 2014 et la plus faible dans la parcelle 10 (0,23) en 2021.

**Tableau 2.** - Caractéristiques écologiques et les valeurs NDVI.

<i>Parcelles</i>	<i>Altitude</i> <i>(m)</i>	<i>NDVI</i> <i>(2011)</i>	<i>NDVI</i> <i>(2014)</i>	<i>NDVI</i> <i>(2021)</i>
<i>P1</i>	774	0,39	0,41	0,25
<i>P2</i>	834	0,40	0,43	0,27
<i>P3</i>	849	0,45	0,35	0,29
<i>P4</i>	890	0,39	0,32	0,35
<i>P5</i>	937	0,38	0,33	0,25
<i>P6</i>	948	0,40	0,34	0,31
<i>P7</i>	959	0,36	0,35	0,30
<i>P8</i>	973	0,39	0,41	0,27
<i>P9</i>	1023	0,49	0,40	0,28
<i>P10</i>	1050	0,45	0,41	0,23
<i>P11</i>	1123	0,51	0,42	0,30

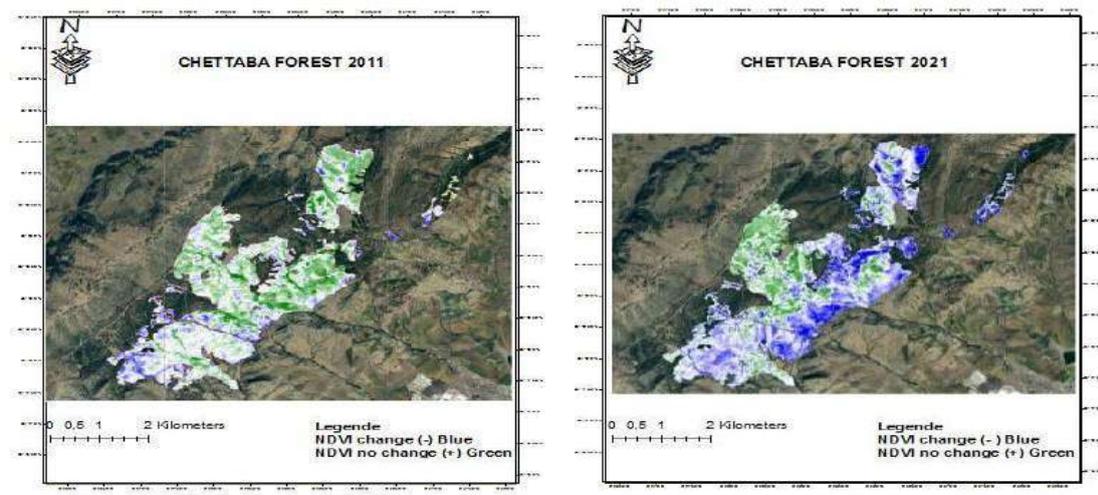
La carte du NDVI et la composition des "fausses couleurs" pour les années 2011, 2014 et 2021 sont présentées dans la Fig. 2.



**Fig. 2.** - Distribution spatiale des tendances temporelles du NDVI 2011, 2014 et 2021.

Les résultats des images NDVI finales sont énumérés ci-dessous : Le NDVI est l'un des indices les plus fréquemment appliqués à l'analyse satellitaire et à la surveillance du couvert forestier. Après l'identification des deux classes conservées (changement ou pas de changement), des échantillons multiples ont été obtenus sur la base des signatures spectrales de la végétation et des portions de surfaces sans plantes (Fig. 3). Cette opération est réalisée dans le cadre de la classification NDVI supervisée des images Landsat entre 2011 et 2021.

On observe une régression de la surface couverte par la végétation en 2021 par rapport à 2011 selon les cartes de catégorisation. Néanmoins, les régions nord et nord-est de la zone forestière de Chettaba indiquent la régression la plus importante de la couverture végétale.



**Fig. 3.** Classification supervisée de l'NDVI (2011 - 2021).

La corrélation de Kendall et de la significativité durant cette décennie indique d'une manière générale, une tendance à la diminution du NDVI (diminution de l'activité végétale), avec des zones de diminution plus importantes dans les parcelles exposées au nord et au nord-est. Toutefois, cette tendance est plus significative entre 2011 et 2021. Elle varie entre 0,43 et -0,04. Ainsi, une corrélation significative entre l'altitude et l'NDVI est constatée (0,51) en 2011, alors qu'elle n'est pas significative pour les années 2014 et 2021.

Les données ont montré une variabilité considérable des valeurs NDVI en fonction de l'altitude et de l'année. Cependant, les valeurs NDVI ont eu tendance à être plus élevées en 2011 et 2014 qu'en 2021. Cela peut suggérer un déclin de la croissance ou de la santé de la végétation, bien qu'il soit important de noter que d'autres facteurs tels que les conditions météorologiques, les changements d'utilisation des terres et les activités humaines (incendie en 2019) peuvent également influencer les valeurs du NDVI. Des études antérieures ont également mis en évidence des changements dans les valeurs du NDVI au fil du temps dans différentes régions et dans d'autres conditions. Par exemple, une étude réalisée par Zhang et al. [13] a révélé que les valeurs du NDVI sur le plateau tibétain ont

augmenté au cours des trois dernières décennies, en raison des changements climatiques et de l'utilisation des terres.

Il convient de noter que la comparaison des valeurs de NDVI entre différentes années peut s'avérer difficile en raison des différences de climat, de conditions météorologiques et d'autres facteurs susceptibles d'influencer la croissance et la santé de la végétation. En outre, les valeurs de NDVI peuvent varier en fonction du type de végétation et de la saison au cours de laquelle elles sont mesurées. De même, une étude réalisée par Weng et al. [14] a montré que les valeurs de NDVI dans les forêts subtropicales de Chine ont augmenté au fil du temps en raison des efforts de restauration écologique.

Pour approfondir ces tendances, nous avons comparé les valeurs moyennes du NDVI entre les années. La valeur moyenne du NDVI en 2011 est de 0,42, ce qui est plus élevé que la valeur moyenne du NDVI en 2014 (0,38) et en 2021 (0,28). Cela suggère que la santé de la végétation est affaiblie.

En conclusion, cet ensemble de données permet de mieux comprendre la relation entre l'altitude et les valeurs du NDVI pour 2011, 2014 et 2021. Bien qu'il existe une variabilité considérable des valeurs NDVI entre les différentes altitudes et années, une comparaison des séries temporelles suggère

un possible déclin de la croissance ou de la santé de la végétation. Selon Rached-Kanouni [15], les changements climatiques dans la région méditerranéenne ont entraîné des modifications des caractéristiques physiques des écosystèmes forestiers, qui ont perturbé leur capacité à fonctionner, à croître et à produire. Cela a entraîné une diminution de la taille des écosystèmes forestiers et un déplacement de leurs limites géographiques, ce qui témoigne d'une situation préoccupante. Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats et explorer les facteurs susceptibles d'influencer les valeurs du NDVI.

### Conclusion

L'évaluation des changements dans l'utilisation et l'occupation des sols est depuis longtemps un sujet important dans les techniques d'observation de la Terre et de télédétection. Cette étude a mis en évidence la capacité et la fiabilité de la

combinaison des séries temporelles de NDVI avec d'autres techniques pour détecter des changements sensibles et minimes dans les forêts. En analysant la moyenne annuelle du comportement temporel du NDVI entre 2011 et 2021, nous avons pu reconnaître, décrire et identifier les changements les plus infimes dans l'utilisation de l'imagerie satellitaire. Nos résultats impliquent que l'étude diachronique (2011-2021) des peuplements de pin d'Alep révèle une régression importante du couvert végétal de la forêt de Chettaba. L'analyse des valeurs NDVI sur une période de 10 ans (2011-2021) a fourni des informations précieuses sur la variabilité spatio-temporelle de la forêt de Chettaba, permettant d'identifier les zones subissant des pics de stress et des perturbations de l'activité photosynthétique. L'analyse de la dynamique spatio-temporelle de la végétation forestière à l'aide de la télédétection par satellite s'est avérée être un excellent moyen d'étudier les facteurs naturels et anthropiques contribuant à la régression de la forêt algérienne.

### Références

[1] Fatiha, B., Abdelkader, A., Latifa, H., & Mohamed, E. (2013). Spatio temporal analysis of vegetation-by-vegetation indices from multi-dates satellite images: Application to a semi-arid area in ALGERIA. *Energy Procedia*, 36, 667-675.

[2] Brown, J. C., Kastens, J. H., Coutinho, A. C., de Castro Victoria, D., & Bishop, C. R. (2013). Classifying multiyear agricultural land use data from Mato Grosso using time-series MODIS vegetation index data. *Remote Sensing of Environment*, 130, 39-50.

- [3] FAO, 2014. Situation des forêts du monde. Mieux tirer parti des avantages socioéconomiques des forêts, FAO, Rome. <http://www.fao.org/3/a-i3710f.pdf>
- [4] PUDY. 2002. Directives OIBT pour la restauration, l'aménagement et la réhabilitation des A.1-6 tropicales dégradées et secondaires. Série Développement de politiques OIBT n° 13. Yokohama, Japon, Organisation internationale des bois tropicaux (disponible aussi sur [www.itto.int/policypapers\\_guidelines/](http://www.itto.int/policypapers_guidelines/)).
- [5] Mezali, F. (2003). Modélisation des écoulements à surface libre (Doctoral dissertation, École Nationale Polytechnique).
- [6] Quézel, P., & Barbero, M. (1986). Aperçu syntaxinomique sur la connaissance actuelle de la classe des Quercetea ilicis au Maroc. *Ecologia mediterranea*, 12(3), 105-111.
- [7] Faour, G., Mhawej, M., & Nasrallah, A. (2018). Global trends analysis of the main vegetation types throughout the past four decades. *Applied geography*, 97, 184-195.
- [8] Tappan, G. G., Tyler, D. J., Wehde, M. E., & Moore, D. G. (1992). Monitoring rangeland dynamics in Senegal with advanced very high-resolution radiometer data. *Geocarto International*, 7(1), 87-98.
- [9] Meneses-Tovar, C. L. (2011). L'indice différentiel normalisé de végétation comme indicateur de la dégradation. *Unasylva*, 62(2), 39-46.
- [10] Robin, M. (2002). Télédétection : Des satellites au SIG. Une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique". Nathan Université, 318 p.
- [11] Kumari, N., Yetemen, O., Srivastava, A., Rodriguez, J. F., & Saco, P. M. (2019). The spatio-temporal NDVI analysis for two different Australian catchments. In Proceedings of the 23rd International Congress on Modeling and Simulation (MODSIM 2019), Canberra, Australia, 1-6.
- [12] Vermote E., Justice C., Claverie M., Franch B., (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46-56.
- [13] Zhang, Q., Xie, H., Liu, C., Liu, Y., & Zhang, P. (2021). Changes in vegetation greenness on the Tibetan Plateau from 1982 to 2015 and their relationships with climate and human activities. *Science of The Total Environment*, 753, 141952.
- [14] Weng, Q., Liu, H., & Wu, C. (2020). Spatial and temporal dynamics of vegetation coverage and NDVI in subtropical China

from 2000 to 2015. *Remote Sensing*, 12(16), 26-36.

[15] Rached-Kanouni M. (2013). Adaptation du chêne liège (*Quercus suber* L.) aux conditions extrêmes de température”. Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine (Algérie), 159p.