

Analyse de la dynamique des massifs forestiers de l'Est algérien par la télédétection satellitaire

[Dynamics Analysis of the forests of eastern Algeria by satellite remote sensing]

Ahmed LAALA and Djamel ALATOU

Laboratoire de développement et valorisation des ressources phytogénétiques, Département de Biologie et Ecologie Végétale, Université des Frères Mentouri Constantine1, Algeria

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The main objective of this work is to determine the trend of the vegetative activity of the forests of eastern Algeria from the processing of a series of MODIS satellite images type of medium resolution (250m) over 10 years (2002-2011). These allow us to track the status of forest vegetation of eastern Algeria through the vegetation index which is defined as the normalized difference spectral reflectance measurements acquired in the wavelength areas Near Infra-Red and red. The Maps from this contribution we have to identify 19418 pixels that tend toward regression with 3282 pixels are displayed at the wilaya of El Tarf, representing 17% of all degraded forest massifs and 1.2 % of the total forest cover of eastern Algeria. Among the studied forest ecosystems, cork oak seems the essence most threatened by degradation with a significant area of 64425ha, more than half (53.08%) regressed the surface are occupied by the species. It is followed by the Aleppo pine with 29287,5ha or 24.13% of total regressed surfaces. In conclusion, the maps from this study are alarming regional picture of the evolution of forest vegetation in eastern Algeria during the decade (2002-2011), which requires a comprehensive and multidisciplinary study of these ecosystems foresters to better determine the environmental factors (biotic or abiotic) responsible for this notable degradation.

KEYWORDS: Trend, vegetative activity, Forest, eastern Algeria, MODIS, NDVI.

RESUME: L'objectif principal de ce travail consiste à déterminer la tendance de l'activité végétative des massifs forestiers de l'Algérie orientale à partir du traitement d'une série d'images satellitaires de type MODIS de moyenne résolution (250m) sur une période de 10 ans (2002-2011). Ces dernières nous permettent de suivre l'état de la végétation forestière de l'Est algérien par le biais de l'indice de végétation qui se définit comme la différence normalisée des mesures de réflectance spectrale acquises dans les zones de longueurs d'onde Proche Infra-Rouge et rouge. Les cartes issues de cette contribution nous ont permis d'identifier 19418 pixels forestiers qui tendent vers une régression dont 3282 pixels sont affichés au niveau de la wilaya d'El-Tarf, ce qui représente 17% de la totalité des massifs forestières dégradés et 1.2% de la couverture forestière totale de l'Est algérien. Parmi les écosystèmes forestiers étudiés, le chêne liège semble l'essence le plus menacé par cette dégradation avec une notable superficie de 64425ha, soit plus de la moitié (53.08%) des surface régressées sont occupées par cette espèce. Il est suivi par le Pin d'Alep avec 29287,5ha soit 24.13% de la totalité des surfaces régressées. En conclusion, les cartes issues de cette étude constituent une image régionale alarmante de l'évolution de la végétation forestière au niveau de l'Est algérien durant la décennie (2002-2011), ce qui nécessite une étude approfondie et multidisciplinaire de ces écosystèmes forestiers pour mieux déterminer les facteurs écologiques (biotiques ou abiotiques) responsables à cette notable dégradation.

MOTS-CLEFS: Tendence, Activité végétative, Forêt, Algérie orientale, MODIS, NDVI.

1 INTRODUCTION

En Algérie, les formations forestières (forêts et maquis) couvrent une superficie de 4,7 millions d'hectares, soit moins de 2% de la superficie du pays. Elles sont très inégalement réparties sur l'ensemble de ce territoire, concentrée surtout dans la partie septentrionale du pays et limitée au sud par les monts de l'Atlas saharien.

La forêt algérienne subit une énorme dégradation qui se traduit surtout par une évolution régressive continue et par une perte substantielle de sa richesse. Selon le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement [1], plus de 1.030.000 hectares des superficies forestières ont été détruites entre 1955 et 1997, soit une perte annuelle de 24.523 ha/an. La référence [2] a cités plusieurs facteurs qui contribuent à cette déforestation (les incendies, le surpâturage, la pression forte des populations limitrophes des forêts, les défrichements, les coupes illicites, les attaques des insectes et les insuffisances institutionnelles). La forêt est donc remplacée sous l'action combinée ou non de ces facteurs par des broussailles et des reboisements qui présentent des signes de dégradation plus ou moins récents [1].

La référence [3] a montré que les changements climatiques au niveau de la région méditerranéenne sont à l'origine aussi des variations physiologiques des écosystèmes forestiers qui bouleversent leur fonctionnement écophysologique, leur croissance et leur productivité. Cette situation alarmante traduisant par une dégradation continue de la superficie des écosystèmes forestiers et un déplacement de leurs aires biogéographiques.

Pour mieux cerner les facteurs responsables de la régression, il est nécessaire d'identifier spatialement et délimiter au préalable les parcelles forestières menacées. Dans cette optique, la présente étude vise à cartographier les massifs forestiers de l'Est algérien qui sont touchés par cette dégradation à partir de l'indice NDVI issues des images satellitaires MODIS dont la résolution spatiale est de 250 mètres et la résolution temporelle est de 15 jours. Cet indice représente une mesure de la capacité photosynthétique de la canopée et la vitalité de la végétation ([4] [5], [6], [7]). Il est d'ailleurs bien corrélé à l'indice foliaire et à la production primaire nette [8]. Ainsi, La référence [9] considère que l'NDVI est suffisamment stable pour permettre des comparaisons de l'activité végétale aux pas de temps saisonniers ou inter-annuels.

Les bandes spectrales utilisées dans le calcul de cet indice sont le rouge (R) et le proche infrarouge (PIR), puisque la réflectance de la chlorophylle est environ de 20% dans le rouge et 60% dans le PIR. Ce contraste de réflectance dans ces deux bandes permet d'estimer la quantité d'énergie absorbée par la chlorophylle et donc d'étudier les différentes surfaces continentales végétalisées [10].

L'utilisation des images satellitaires et les techniques de SIG nous permettra d'évaluer statistiquement et déterminer graphiquement les variations spatiales de la tendance de développement de la végétation forestière de l'Est algérien pour la période 2002-2011 et par conséquent identifier l'écosystème forestier le plus exposé au risque de dégradation pour la mise en place des traitements sylvicoles nécessaires et pour mieux gérer cette sylve.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est localisée dans la partie Nord-Est du territoire algérien (Fig.1) comprise entre les latitudes 34° 31' 15" et 37° 5' 24" Nord et les longitudes 4°19' 57" et 8°41' 2" Est. Elle est limitée à l'Est par la frontière Algéro-Tunisienne, à l'Ouest par la vallée d'Oued Soummam et les monts des Bibans, au Sud par le piémont Sud de l'Atlas Saharien et au Nord par la rive Sud de la mer méditerranéenne.

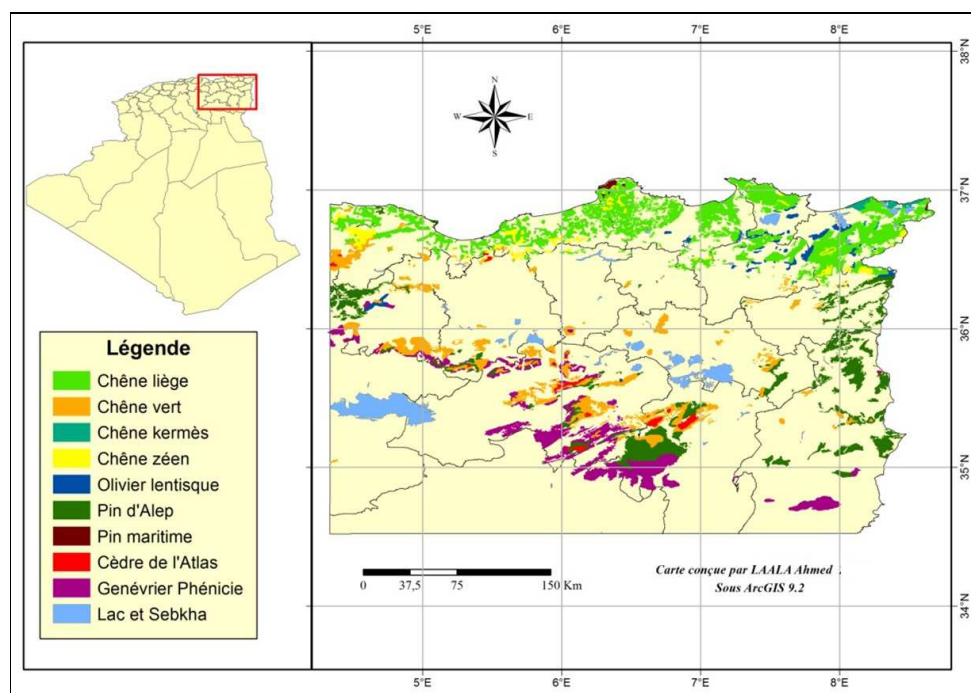


Fig.1. Principaux écosystèmes forestiers de l'Est algérien

L'intérêt majeur de cette zone d'étude réside dans le fait qu'elle renferme la quasi-totalité des massifs forestiers de la nation. Avec une couverture forestière de 1767720,69 ha, soit 18.6% du mode d'occupation du sol, dont 61.42% de cette superficie est représentée par les forêts des feuillus et 38.57% par les résineux.

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES UTILISÉES

3.1.1 L'INDICE DE VEGETATION PAR DIFFERENCE NORMALISE (NDVI)

L'NDVI, produit satellitaire, facile à calculé ([11]; [12]), très utilisé, car assez générique [13], normalise en partie les effets d'éclairage ou de pentes ([11]; [12]). Il est utilisé pour caractériser l'état de santé des plantes, pour repérer les changements phénologiques, pour estimer la biomasse verte et les rendements et dans bien d'autres applications. Le concept du 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 [14]. 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 [15]. Ainsi, plus la proportion de végétation décroît, plus les valeurs de réflectance du rouge tendent à décroître linéairement [16], faisant en sorte que la relation entre les recouvrements végétaux en pourcentage et les valeurs du NDVI est linéaire.

L'étape préliminaire de n'importe quel projet utilisant des images satellitaires est de choisir le capteur le plus convenable à l'objectif de l'étude. Parmi les satellites disponibles, nous avons utilisé la base de données de MODIS-Terra, fournies par la NASA, pour extraire les données bimensuelles de NDVI de la période (2002-2011).

Notre choix est fondé sur la périodicité, la disponibilité et la gratuité de ces images satellitaires. Ces données sont disponibles en accès libre sur le site <http://verb.echo.nasa.gov/verb>. Elles couvrent notre zone d'étude suivant une résolution spatiale moyenne de 250 mètres et une résolution temporelle (périodicité) de 15 jours.

Le site fournit ces images satellitaires sous forme de cartes bimensuelles générées par la technique de synthèse temporelle dite MVC (Monthly Maximum Value Composite), fondée sur la recherche de la valeur maximale de NDVI sur chaque intervalle de 15 jours. Ces images ont déjà bénéficié d'une correction géométrique et atmosphérique à haute précision grâce à un capteur spécifique embarqué sur la plateforme TERRA [17]. Cette opération est importante puisque l'indice NDVI est très sensible aux conditions atmosphériques ([18], [19]).

3.1.2 LES DONNÉES D'OCCUPATION DU SOL

Les données concernant les types de forêt sont tirées des cartes du tapis végétal, fournis dans un format papier par la direction générale des forêts (DGF), sur lesquelles on distingue 9 différents types de forêt au niveau de l'Est algérien (Tableau 1). Ces cartes ont été scannées en format TIFF avec une résolution de 600 dpi.

Tableau 1. Liste des essences forestières dominantes au niveau de l'Est algérien

	Essences forestières	Noms scientifiques
Résineux	Pin d'Alep	<i>Pinus halepensis</i>
	Pin maritime	<i>Pinus pinaster</i>
	Cèdre de l'atlas	<i>Cedrus atlantica</i>
	Genévrier de Phénicie	<i>Juniperus phoenicea</i>
Feuillus	Chêne liège	<i>Quercus suber</i>
	Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>
	Chêne zéen	<i>Quercus canariensis</i>
	Chêne kermès	<i>Quercus coccifera</i>
	Olivier lentisque	<i>Oleo-lentisque</i>

3.2 MATÉRIELS INFORMATIQUES

3.2.1 LOGICIEL ENVI VERSION 4.7

Ce logiciel a été utilisé pour les traitements d'images satellites (MODIS). La puissance interface graphique de l'ENVI est complétée par une bibliothèque d'algorithmes comportant de fonctions de transformation de données, des fonctions de filtre ainsi que des fonctions de réprojection.

3.2.2 LOGICIEL ARCGIS VERSION 9.2

C'est un ensemble de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Ce logiciel nous a permis d'acquérir, de traiter et d'analyser l'information géographique.

3.3 MÉTHODES DE TRAITEMENT DES DONNÉES

3.3.1 PRÉTRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES MODIS

Ces prétraitements concernent la réprojection géographique des scènes et le masquage des pixels de l'NDVI hors de la zone d'intérêt.

3.3.2 LA RÉPROJECTION GÉOGRAPHIQUE

Les 240 images satellitaires (MODIS) de la période (2002-2011) ont été reprojétés, sous le logiciel ENVI4.7, en utilisant le système de coordonnées géographiques (WGS 1984). Ainsi, pour chaque mois de la période étudiée, nous avons moyenné les deux valeurs bimensuelles de l'NDVI pour obtenir au final 120 scènes qui présentent les valeurs mensuelles de cet indice. Ainsi, en moyennant ces valeurs mensuelles pour chaque pixel et pour chaque année de la période étudiée (2002-2011) pour obtenir enfin une série temporelle de 10 images. Les valeurs de cette série pour un pixel donné permettent alors de créer le profil interannuel de NDVI sur cette période.

3.3.3 LE MASQUAGE

Au vu de vaste zone où l'étude est réalisée, un masque a été créé sous le logiciel ENVI4.7 afin de retirer les pixels n'ayant pas d'intérêt à être étudiés qui correspondent aux zones non forestières. L'application de ce masque sur toutes les images satellitaires téléchargées permet de minimiser la taille de l'espace mémoire occupé par ces scènes et par conséquent réduire le temps d'exécution des calculs effectuée par les logiciel de télédétection et du SIG.

3.3.4 LE GEOREFERENCEMENT ET VECTORISATION DES SUPERFICIES FORESTIERE

Les cartes digitalisées ont été géoréférencées sous le logiciel ArcGIS9.2 en utilisant le même système de coordonnées géographiques adopté pour les images satellitaires (WGS 1984). Cette démarche permet l'intégration de ces cartes dans un SIG et facilite la superposition parfaite des vecteurs avec la série des images raster.

À partir de ces cartes forestières géoréférencées, une couche commune a été créée sous ArcGIS9.2, au format Shape qui présente plus de 6000 polygones (vecteurs) de délimitation des différents écosystèmes forestiers dominants de l'Est algérien. Les pixels des images satellitaires qui coïncident avec ces vecteurs, sont sélectionnés pour estimer la tendance végétative de chaque pixel de ces massifs forestiers sur la période (2002-2011).

3.3.5 ESTIMATION DE LA TENDANCE D'NDVI

Pour détecter les tendances de développement de la végétation forestière de l'Est algérien, nous avons calculé les moyennes mobiles annuelles de l'indice NDVI pour chaque pixel et fait ensuite une régression linéaire à travers la série temporelle de cet indice.

3.3.5.1 LISSAGE PAR MOYENNES MOBILES

Pour supprimer les fluctuations transitoires, nous avons lissé les valeurs de la série statistique de l'indice NDVI par l'utilisation des moyennes mobiles (glissantes) calculées sur une période de 3 ans. Cette moyenne est dite mobile parce qu'elle est recalculée de façon continue, en utilisant à chaque calcul un sous-ensemble d'éléments dans lequel un nouvel élément remplace le plus ancien ou s'ajoute au sous-ensemble.

3.3.5.2 LA RÉGRESSION LINÉAIRE SIMPLE

La tendance est l'orientation générale d'une série d'observations à la hausse ou à la baisse sur une période assez longue. Dans notre cas, le calcul de la tendance de l'NDVI a été estimé avec la méthode des moindres carrés. Le choix de cette méthode se justifie par le fait que c'est la seule qui puisse nous permettre de déterminer l'évolution progressive ou régressive de l'état de la végétation forestière à partir d'une série statistique annuelle.

La valeur de la tendance de chaque pixel est égale au coefficient (a) de la pente de régression :

- Si $a > 0$, on a une tendance à la hausse, ce qui nous indique une nette progression dans la couverture forestière;
- Si $a < 0$, on a une tendance à la baisse ou une régression au niveau de ces massifs forestiers ;
- Si $a \cong 0$, les valeurs proches de zéro caractérisent les zones stables et sans changement significatives.

Le niveau significatif ($\alpha = 5\%$) de la tendance a été estimé selon la méthode Mann-Kendall non paramétrisée ([20], [21]). Ainsi, le pourcentage (en superficie) de chaque classe (régression, stable, progression) a été calculé pour chaque écosystème forestier.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

La figure 2 présente la tendance de l'activité photosynthétique de la végétation forestière de l'Est algérien pour la période 2002-2011. Les zones forestières avec tendances à l'augmentation sont très étendues, elles caractérisent 87.42% de la superficie forestière totale, ce qui indique une nette progression dans la couverture forestière de l'Est algérien. Cependant les massifs forestiers qui présentent une régression durant la période (2002-2011) sont de faible superficie (7.13% par rapport à la surface totale étudiée). Concernant les zones statistiquement stables et sans changement significatives, elles représentent uniquement 5.45% de la surface totale des forêts de l'Est algérien.

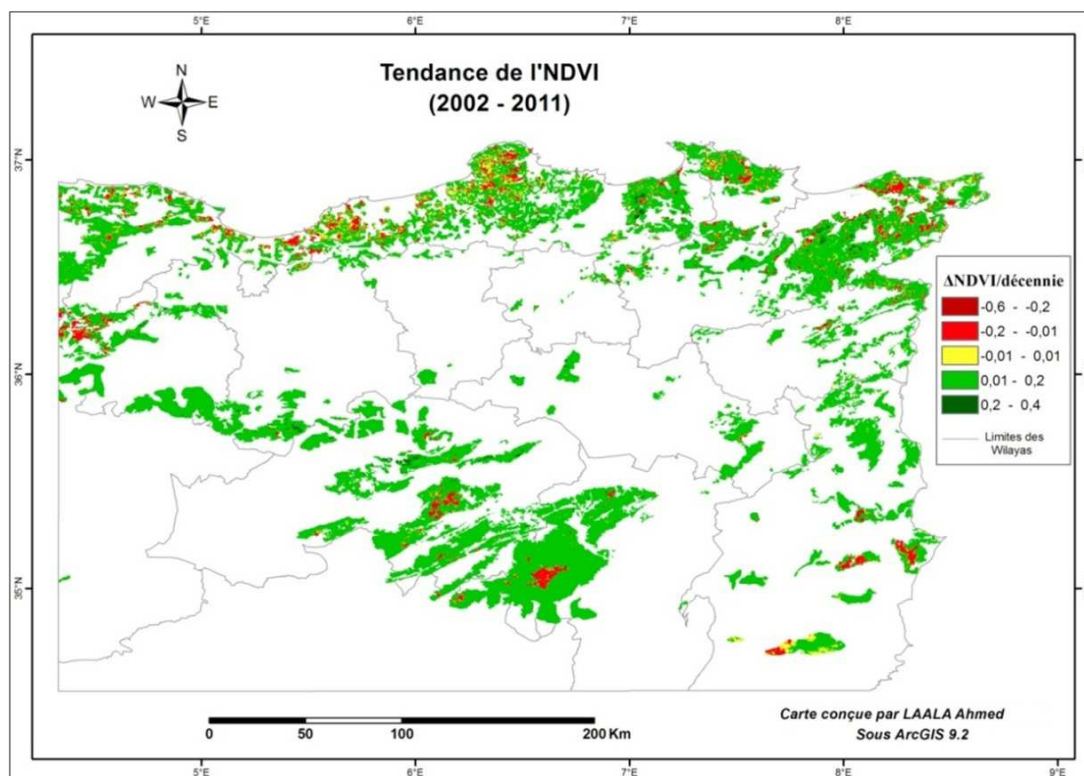


Fig.2. Tendance de l'indice NDVI sur la période 2002-2011

L'analyse géographique des résultats montre que, quelle que soit la wilaya considérée, le bilan de développement de la végétation forestière est toujours positif pour la décennie (2002-2011) (Tableau 2). La wilaya de Jijel et d'El-Tarf sont les wilayas les plus touchées par la diminution de l'indice NDVI avec respectivement 13.7% et 12.82% de la surface forestière de la wilaya concernée. Cependant, la wilaya de Mila montre une forte augmentation du NDVI sur la période (98.83% de la surface forestière de cette wilaya).

Tableau 2. Superficies forestières de chaque wilaya affectée par les différentes classes de tendance de l'NDVI

Wilayas	Tendance négative (en %)	Sans changement (en %)	Tendance positive (en %)	Bilan (en %)
Ome El Bouaghi	1,15	0,93	97,92	96,77
Batna	3,03	1,32	95,65	92,63
Bejaia	10,89	8,22	80,89	70,01
Biskra	4,45	1,90	93,66	89,21
Tébessa	7,26	6,81	85,93	78,66
Jijel	13,70	15,52	70,78	57,09
Sétif	1,74	1,63	96,63	94,89
Skikda	9,38	9,69	80,92	71,54
Annaba	11,59	9,73	78,69	67,10
Guelma	3,48	2,56	93,96	90,48
Constantine	4,32	3,78	91,89	87,57
Bordj Bou-Arredj	9,09	2,24	88,67	79,59
El-Tarf	12,82	8,26	78,93	66,11
Khenchela	5,30	0,92	93,78	88,48
Souk Ahras	4,27	3,77	91,96	87,70
Mila	0,44	0,73	98,83	98,39
Msila	1,09	0,15	98,76	97,67
L'Est algérien	7,13	5,45	87,42	80,29

Le calcul des surfaces forestières touchées par les trois classes de tendances a été réalisé aussi pour chaque écosystème forestier de l'Est algérien. La figure 3 montre que la moitié de la superficie régressée est occupée par le Chêne liège (64425 ha). Cependant, le un-quart des superficies dégradées est occupé par le Pin d'Alep avec une surface régressée de 29287.5 ha. Le reste des essences forestières présente une surface régressée inférieure à 7% où la très faible superficie dégradée est observée chez le Pin maritime avec uniquement 656.25 ha. Globalement, les feuillus avec un pourcentage des superficies dégradées de 67.98% sont très touchés par cette régression que les résineux.

Toutes ces régressions des écosystèmes forestiers de l'Algérie orientale peuvent s'expliquer par les effets de la variabilité climatique et particulièrement thermique enregistrée durant la décennie 2002-2011 et de la forte action de la population riveraine sur les massifs forestières.

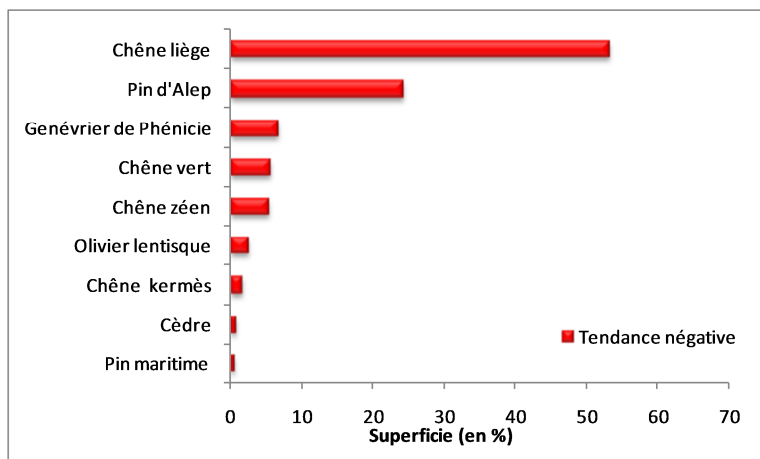


Fig.3. Superficies (en %) des écosystèmes forestiers de l'Est algérien affectées par une tendance négative de l'NDVI par rapport à la surface totale régressée

Parmi les wilayas étudiées, celle qui présente le maximum des pixels où la tendance de l'NDVI est négative est la wilaya d'El-Tarf (avec 3282 pixels, soit une superficie de 20512.5ha) (fig.4). Donc, les forêts de cette wilaya ont connu, durant la décennie (2002-2011), une baisse sensible de leur superficie égale à 12.82% de la surface forestière de cette wilaya, soit 1.2% de la couverture forestière totale de l'Est algérien.

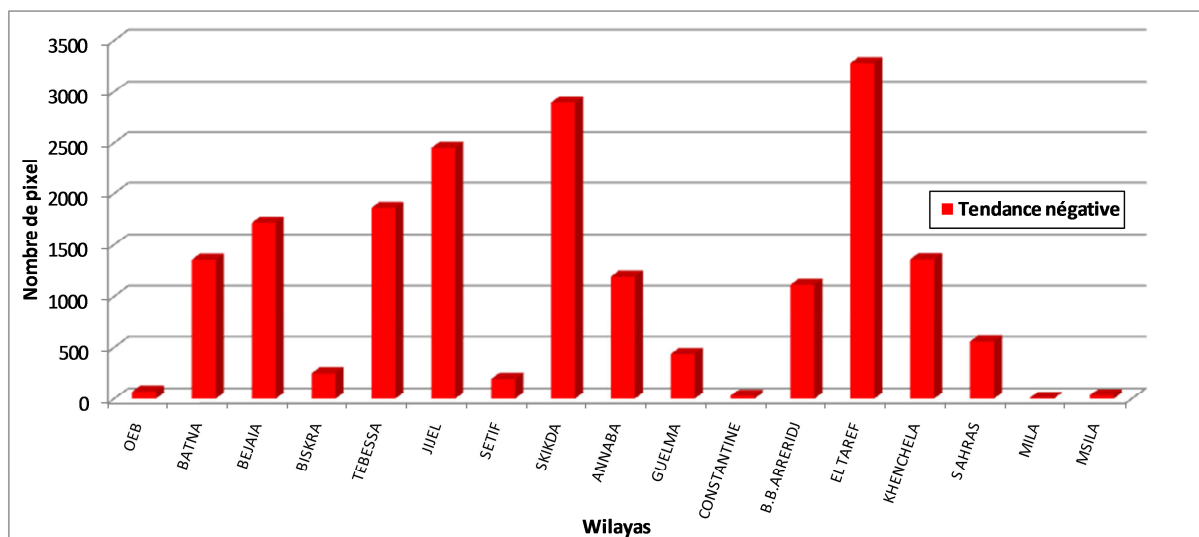


Fig.4. Répartition par wilaya du nombre de pixel à tendance décroissante de l'NDVI

Les plus fortes valeurs de régression de l'NDVI (-0.2 -0.6) sont observées au niveau de la forêt de Faid El Rarnoug, Boufhal, El Frine, Ouerda, Oued Soudan où elles caractérisent une superficie notable égale à 937.5ha (fig.5). Ces massifs souffrent d'une diminution de la couverture forestière durant la décennie (2002-2011).

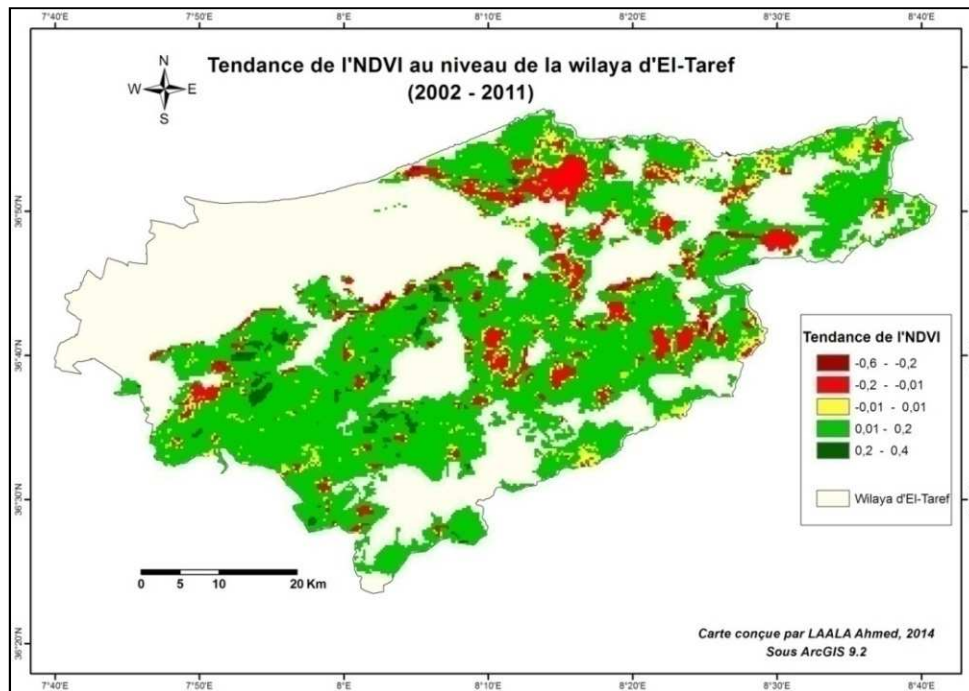


Fig.5. Tendance de l'indice NDVI au niveau de la wilaya d'El-Tarf pour la période 2002-2011

Par ailleurs, les superficies forestières qui affichent une tendance croissante de l'NDVI fluctuent entre 0.24% et 33.35% de la surface totale progressé avec un maximum observé pour les massifs du Chêne liège (496168.7ha) et un minimum enregistré pour le Pin maritime (3575 ha) (fig.6). Cette tendance positive traduit une évolution de l'activité photosynthétique, ce qui est susceptible d'être liée aux phénomènes d'acclimatation et des processus physiologiques d'adaptation des essences forestières de ces parcelles forestières faces aux conditions du milieu.

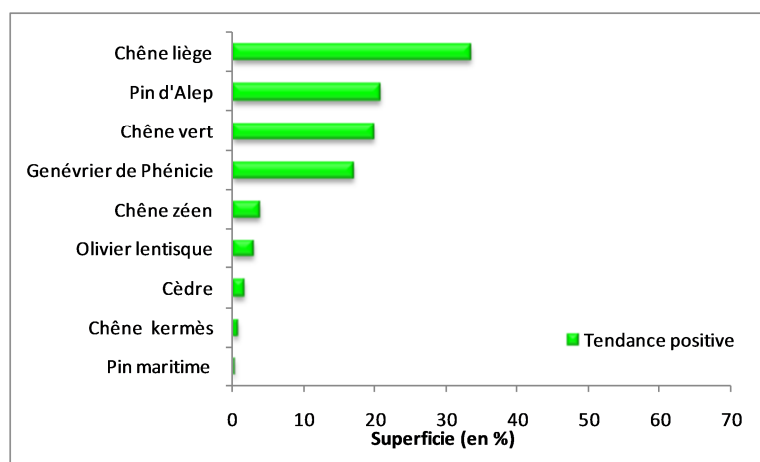


Fig.6. Superficies (en %) des écosystèmes forestiers de l'Est algérien affectées par une tendance positive de l'NDVI par rapport à la surface totale progressée

En termes de wilayas, le maximum de pixels où la tendance est positive est enregistré au niveau de la wilaya de Batna avec 42819 pixels, soit 267618,75ha (fig.7). Cette surface occupe 95.65% de la surface forestière de cette wilaya et 15.72% de

la couverture forestière totale de l'Est algérien (fig.8). Le reste des wilayas semblent également en voie de régénérations mais avec une certaine variabilité inter-wilaya où le nombre de pixels à tendance progressive de l'NDVI varie entre 680 pixels enregistrés au niveau des massifs forestières de la wilaya de Constantine et 24953 pixels affichées pour la wilaya de Skikda (fig.7).

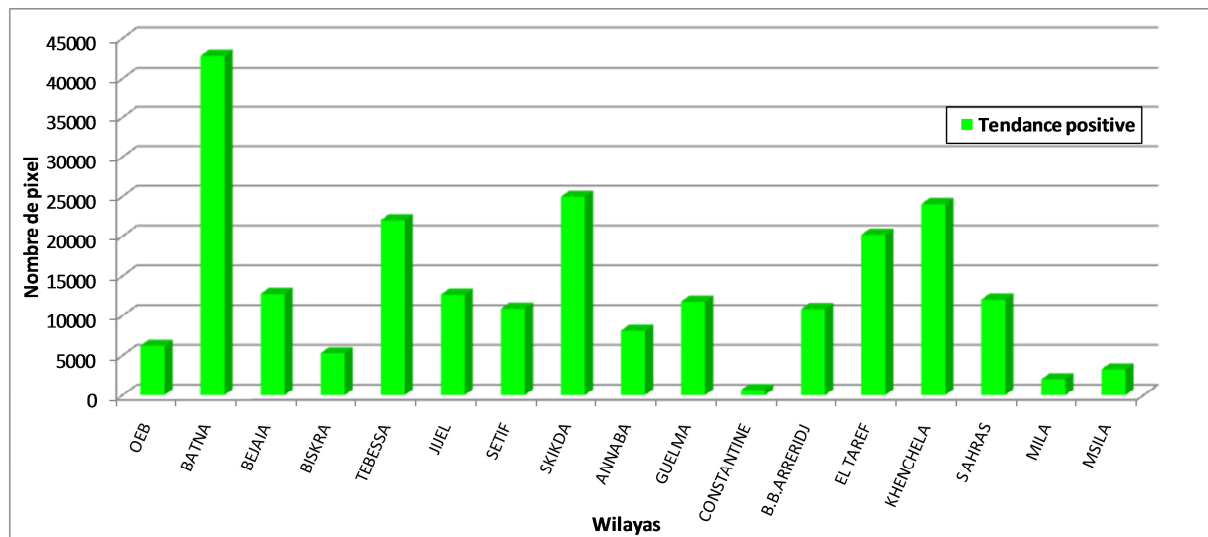


Fig.7. Répartition par wilaya du nombre de pixel à tendance positive de l'NDVI

Pour la wilaya de Batna, les parcelles de forte régénération (tendance d'NDVI > 0.2) se localisent au niveau de la forêt de Belezma indiquant une densification du couvert ligneux au niveau de ce massif forestier (fig.8).

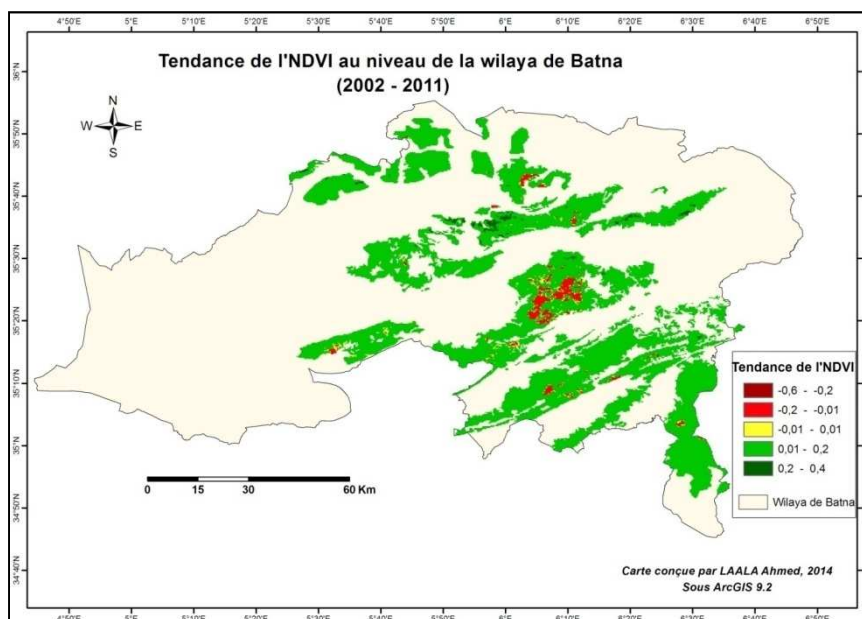


Fig.8. Tendance de l'NDVI au niveau de la wilaya de Batna pour la période 2002-2011

Ainsi, l'étude a révélé une certaine stabilité de l'activité photosynthétique des essences forestières étudiées où l'indice NDVI a connu une légère fluctuation sur une période de dix ans. Le maximum des superficies a été observé pour le Chêne liège (60.97%), alors que pour le reste des écosystèmes forestiers, la stabilité de l'NDVI représente un pourcentage inférieure à 10% de la surface totale (fig.9). Ces valeurs peuvent s'expliquer par l'action de gestion et de protection réalisées par les conservations des forêts des wilayas.

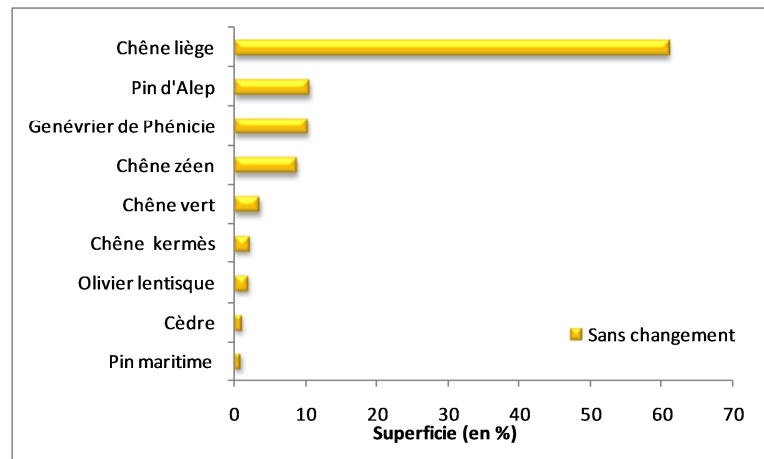


Fig.9. Superficies (en %) des écosystèmes forestiers de l'Est algérien affectées par une tendance nulle de l'NDVI par rapport à la surface totale stable

En termes d'écosystèmes forestiers, la tendance à la baisse de l'indice NDVI durant la période 2002-2011 occupe une vaste superficie des forêts de Pin maritime (12.87% de la superficie totale de cette essence forestière) (fig.10). Il est suivi par le Chêne kermès (12.78%), le Chêne liège (10.44%), le Chêne zéen (9.25%) et le Pin d'Alep (8.45%). Le minimum des superficies régressées est observé au niveau des forêts de Chêne vert (2.19%). Cependant, les superficies forestières caractérisées par des tendances croissantes sont importantes et dépassent 70% de la surface totale de chaque écosystème forestier de l'Est algérien.

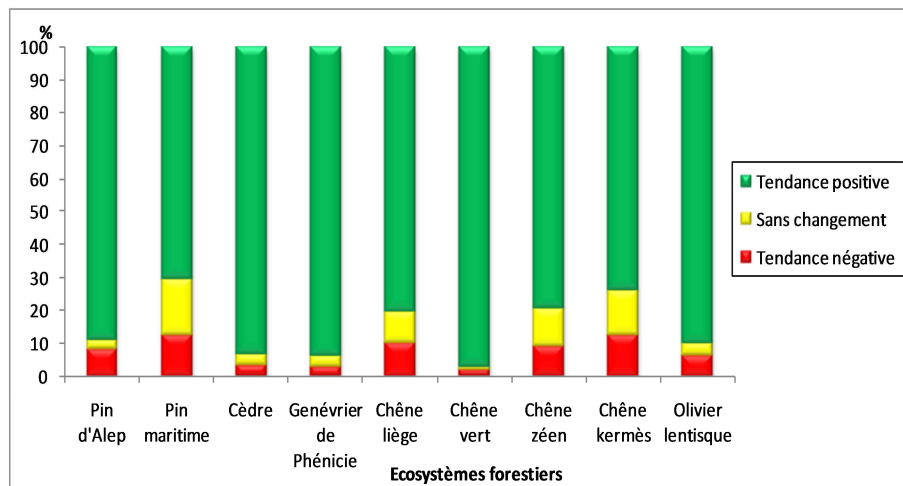


Fig.10. Superficies des écosystèmes forestiers réparties par classe de tendance de l'NDVI

Ainsi, parmi les écosystèmes forestiers étudiés, le Pin maritime affiche une valeur maximale des superficies stables (sans changement significative), avec un pourcentage de 17.03% de son aire de répartition. Il est suivi par le Chêne kermès (13.52%) et le Chêne zéen (11.47%). Les autres écosystèmes forestiers présents des superficies stables variant entre 1.09% et 9.17% (fig.10). Globalement, le bilan de la tendance de l'NDVI est positif pour tous les écosystèmes forestiers de l'Est algérien, il caractérise 84.77% des superficies des résineux et 77.53% de celles des feuillus.

5 CONCLUSION

Le document cartographique issu de cette étude constitue un apport pour les décideurs et les forestiers. Il leur permet d'identifier le type d'écosystème forestier le plus menacé et géolocaliser aussi les massifs forestières qui présentent une forte régression. Ces zones peuvent être considérées comme prioritaires pour la mise en place d'une stratégie de protection. L'analyse chronologique de série d'NDVI de la période 2002-2011 témoigne d'une régression évident au niveau de 7.13% de la surface totale des écosystèmes forestiers de l'Est algérien avec une certaines variabilité inter-wilaya et inter-espèce. En

termes des wilayas, le maximum des pixels à tendance négative d'NDVI est affiché au niveau de la wilaya d'El-Tarf où il représente 12.82% de la surface forestière totale de cette région. Ainsi, le classement des essences forestières selon leurs superficies régressées nous montre que le Pin maritime occupe la première range où les tendances négatives ont été observées au niveau de 12.87% de son aire total. Le pourcentage des superficies régressé est faibles mais non négligeables ce qui nécessite une étude approfondie au niveau de ces parcelles forestiers menacées pour identifier les facteurs responsable de cette régression.

Ainsi, nous somme conscient que la période de dix ans est courte pour étudier précisément la tendance d'une série statistique à long terme, mais cette étude constitue une approche préliminaire qui aide les forestiers à mieux localiser les parcelles forestiers qui tendent vers une régression et par conséquence déterminer l'origine de ce problème.

RÉFÉRENCES

- [1] MATE. "Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement: Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) Janvier 2002", Alger, Algérie, 128p, 2002.
- [2] M.H. Benderradji, D. Alatu, A.M.T. Arfa, K. Benachour. "Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation Impact du phénomène en Algérie. NEW MEDIT (4) : pp.19-21, 2006.
- [3] M. Rached-Kanouni. "Adaptation du chêne liège (*Quercus suber* L.) aux conditions extrêmes de température". Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine (Algérie), 159p, 2013.
- [4] C.J. Tucker, P.J. Sellers. "Satellite remote sensing of primary production". *International Journal of Remote Sensing*, (7): 1395-1416, 1986.
- [5] G. Genovese, C. Vignolles., T. Nègre, G. Passera. "A methodology for a combined use of normalised difference vegetation index and CORINE land cover data fro crop yield monitoring and forecasting. A case study on Spain". *Agronomie*, (21) : pp.91-111, 2001.
- [6] F.N. Kogan. "Operational space technology for global Vegetation Assessment". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9) :pp.1949-1964, 2001.
- [7] R .A. Seiler, F. Kogan, G. Wei. "Monitoring weather impact and crop yield from NOAA AVHRR in Argentina". *Advances in Space Research*, 26 (7): pp.1177-1185, 2000.
- [8] S.D. Prince, M.E. Brown, L.L. Kravitz. "Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive sahelian desertification". *Global Change Biology*, (4): pp.359-374, 1998.
- [9] A. Huete, K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao, L.G. Ferreira. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". *Remote Sensing of Environment* (83): pp.195-213, 2002.
- [10] C.J. Tucker. "Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation". *Remote Sensing of Environment* (8): pp.127-150, 1979.
- [11] R. Bariou, D. Lecanu, F. Le Henaff, "Dossiers de télédétection. Tome 1. Réponse spectral des végétaux". Centre régional de télédétection", Université de Rennes 2-Haute Bretagne, (2) : pp.71-73, 1985.
- [12] R. Caloz, C. Collet. "Précis de Télédétection, Volume 3: Traitements Numériques d'images de télédétection". AUF, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, 386p, 2001.
- [13] J.R. Jensen. "Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, Upper Saddle River", NJ: Prentice-Hall, 544p, 2000.
- [14] M. Robin. "Télédétection : Des satellites au SIG. Une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique". Nathan Université, 318 p, 2002.
- [15] F. Baret, J. Clevers, M.D. Steven, "The robustness of canopy gap fraction estimations from red and near-infrared reflectances : A comparison of approaches". *Remote Sensing of Environment*, 54(2): pp.141-151, 1995.
- [16] P. S. A. Beek, C. Atzberger, K.A. Hogda, B. Johansen, A. K. Skidmore "Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI". *Remote Sensing of Environment*, 100(3): pp.321-334, 2006.
- [17] E.F. Vermote, N.Z. El Saleous, C.O. Justice. "Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results". *Remote Sensing of Environment*, (83): pp.97-111, 2002.
- [18] B. Holben. "Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data". *International Journal of Remote Sensing* (7): 1417 – 1434, 1986.
- [19] A.J. McDonald, F.M. Gemmill, P.E. Lewis. "Investigation of the Utility of Spectral Vegetation Indices for determining Information on Coniferous Forests". *Remote Sensing of Environment*, (66): pp.250-272, 1998.
- [20] H. B. Mann. (1945). Non Parametric Test Against Trend. *Econometrika*, 13, pp.245-259.
- [21] M. G. Kendall, (1975). Rank Correlation Methods, Charles Griffen, London, 156p.