

APPORT DES OUTILS GEOSPATIALES A L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE LA FORET D'AÏT BOUZID (HAUT ATLAS CENTRAL, MAROC)

HILI Aïman^{1*}, JAA Farid¹, REDDAD Hanane¹ et BOUSSENA Ayoub²

⁽¹⁾Laboratoire: Dynamiques des Paysages, Risques et Patrimoine, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal, Maroc

⁽²⁾Faculté des Lettres et des Sciences Humaines d'El Mohammadia, Université Hassan II, Casablanca, Maroc

E-mail: ayman.hili.1984@gmail.com

(Received 02 February 2022- Accepted 13 June 2022)

Résumé.- Le présent travail expose les résultats de l'étude de la dynamique spatio-temporelle de la forêt d'Aït Bouzid entre 1984 et 2019 (35 ans), en se basant sur les outils de la télédétection et l'outil SIG. En effet, la zone de l'étude s'étend sur une superficie de 12.060 ha, sa situation dans le Haut Atlas central (près du lac Bine El Ouidane) lui confère plusieurs conditions favorables à une dynamique très bien remarquable. Afin d'étudier cette dynamique, il est fait appel à l'utilisation des images du satellite Landsat (1984 et 2001) et Oli (2019), pour étudier l'évolution et la spatialisation de la forêt d'Aït Bouzid pour une période de 35 ans. L'analyse de la base de données de la carte de la dynamique de la forêt entre 1984 et 2019, montre que les terrains nus couvrent 32.7% de la zone d'étude, ainsi, cette classe a été développée sur les zones qui ont été dégradées de la forêt avec 25% (donc une progression de 14.7%). Malgré la présence de nouvelles zones de progression et de croissance de la forêt avec 16.6%, la forêt a enregistré un recul de sa surface de 14.7% (entre 1984, 2001 et 2019). Cette évolution est justifiée par la combinaison de plusieurs facteurs à la fois topographiques (les pentes, les altitudes et l'exposition des versants), climatiques, géologiques et voire anthropiques. Les résultats de traitement et la précision de la classification ont été vérifiés et validés par les vérifications du terrain.

Mots-clés: Etude diachronique, dynamique spatio-temporelle, forêt d'Aït Bouzid, Haut Atlas central, Maroc

CONTRIBUTION OF GEOSPATIAL TOOLS IN THE STUDY OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF THE FOREST OF AÏT BOUZID (CENTRAL HIGH ATLAS, MOROCCO).

Abstract.- The present work presents the results of the study of the spatio-temporal dynamics of the Aït Bouzid forest between 1984 and 2019 (35 years), based on remote sensing and GIS tools. In fact, our study area covers an area of 12'060 ha, its location in the central High Atlas (near Lake Bine El Ouidane) gives it several favorable conditions for a very remarkable dynamic. In order to study these dynamics, we used Landsat (1984 and 2001) and Oli (2019) satellite images to study the evolution and spatialization of the Aït Bouzid forest for a period of 35 years. Analysis of the database of the forest dynamics map between 1984 and 2019, shows that bare land covers 32.7% of the study area, so this class was developed on the areas that have been degraded of the forest with 25% (thus a progression of 14.7%). On the other hand, despite the presence of new areas of growth and expansion in the forest with 16.6%, there has been a 14.7% decline in forest area (between 1984, 2001 and 2019). This evolution is justified by a combination of several factors: topographical (slopes, altitudes and exposure of slopes), climatic, geological and even anthropogenic. The treatment results and the accuracy of the classification have been verified and validated by field checks.

Key words: Diachronic study, spatio-temporal dynamics, forest of Aït Bouzid, Central High Atlas, Morocco.

Introduction

Au niveau international, les études de la dynamique du couvert végétal sont devenues très intéressantes [1-6]. De même, au niveau national, ce type des études en utilisant les outils SIG et la télédétection sont devenues de plus en plus très importantes [1,2,4,7-10]. En effet, les forêts méditerranéennes, en général, constituent un milieu naturel très fragile [11-13] et profondément perturbé par de multiples facteurs naturels [5,6] et utilisations humaines [14, 10].

Comme dans l'ensemble du Maroc, les milieux naturels du Haut Atlas en général, et de Haut Atlas central en particulier, ont été exploités et s'exploitent jusqu'à maintenant à diverses pressions, qui les appauvrissent progressivement et portent atteinte à la biodiversité [15, 16]. Toutes les pressions anthropiques (le bâti, le défrichement, ...) sur les milieux naturels, causes des régressions et des dégradations bien visibles de la biodiversité [14,16], donc tout cela devrait être étudié et suivi par la télédétection et l'outil SIG, dont vient le présent travail.

Afin d'étudier la dégradation et d'identifier les processus naturels et anthropiques responsables à l'évolution du couvert végétal, il est mené une étude diachronique de cette zone (trois images de dates différentes 1984, 2001 et 2019), en s'appuyant sur les outils SIG (notamment de la télédétection et l'ArcGIS). Ce travail est une étude de l'évolution spatio-temporelle de la forêt d'Aït Bouzid durant les derniers 35 ans, en identifiant le rôle et l'impact de chaque facteur à l'évolution de la forêt d'Aït Bouzid.

1.- Zone d'étude

Située dans le Haut Atlas central, près du lac Bine El Ouidane, la forêt d'Aït Bouzid joue un rôle stratégique et important dans cette région touristique [18]. Elle couvre une superficie de 12'060 ha. Administrativement, elle fait partie de la région Béni Mellal-Khénifra, et elle côtoie au Sud le lac de Bine El Ouidane, au Nord la commune de Timoulit, à l'Est par la commune de Ouaouizaght et à l'Ouest par la commune d'Afourar. Elle est caractérisée par des altitudes comprises entre 673 m au Nord près de la commune de Timoulit, et culmine à plus de 1702 m au sommet de Jbel (Jbel = montagne) Tazerkount (fig. 1).

Concernant le climat, l'étude climatique menée dans ce travail et l'analyse des précipitations annuelles de la station étudiée pour la période 1990-2018, ont montré que la variation des précipitations interannuelles dans la station étudiée est caractérisée par une variabilité temporelle, avec une claire progression pour quelques années. Au niveau de cette chronique, la moyenne interannuelle de la station de Bine El Ouidane enregistrée est de 503.1 mm. Ainsi, les valeurs les plus élevées sont enregistrées en 2006 avec 623.5 mm, et en 2012 avec 640 mm. En revanche, les valeurs des précipitations annuelles les plus basses sont enregistrées en 2000 avec 329.2 mm et 260.4 mm en 2015.

Quant à la topographie, la cartographie et l'analyse de la base de données des classes de pentes, montre que le terrain d'étude est caractérisé par une topographie très accidentée, où la classe la plus dominante est la classe de pente forte à très forte avec 52.8%. Les pentes faibles et moyennes couvrent respectivement 38.8% et 8.4%. L'analyse de la carte des tranches d'altitude a permis de constater que les altitudes dominantes, sont les tranches qui varient

entre 1200 m et 1500 m avec 53.9% de la superficie de la zone d'étude. Cette classe s'étend au Nord et au Nord-Ouest de l'Oued d'Aqqa N'Taghia, et sur les bas de versants du Jbel Tazerkount. Les altitudes basses s'étendent notamment sur les contours Nord du terrain d'étude.

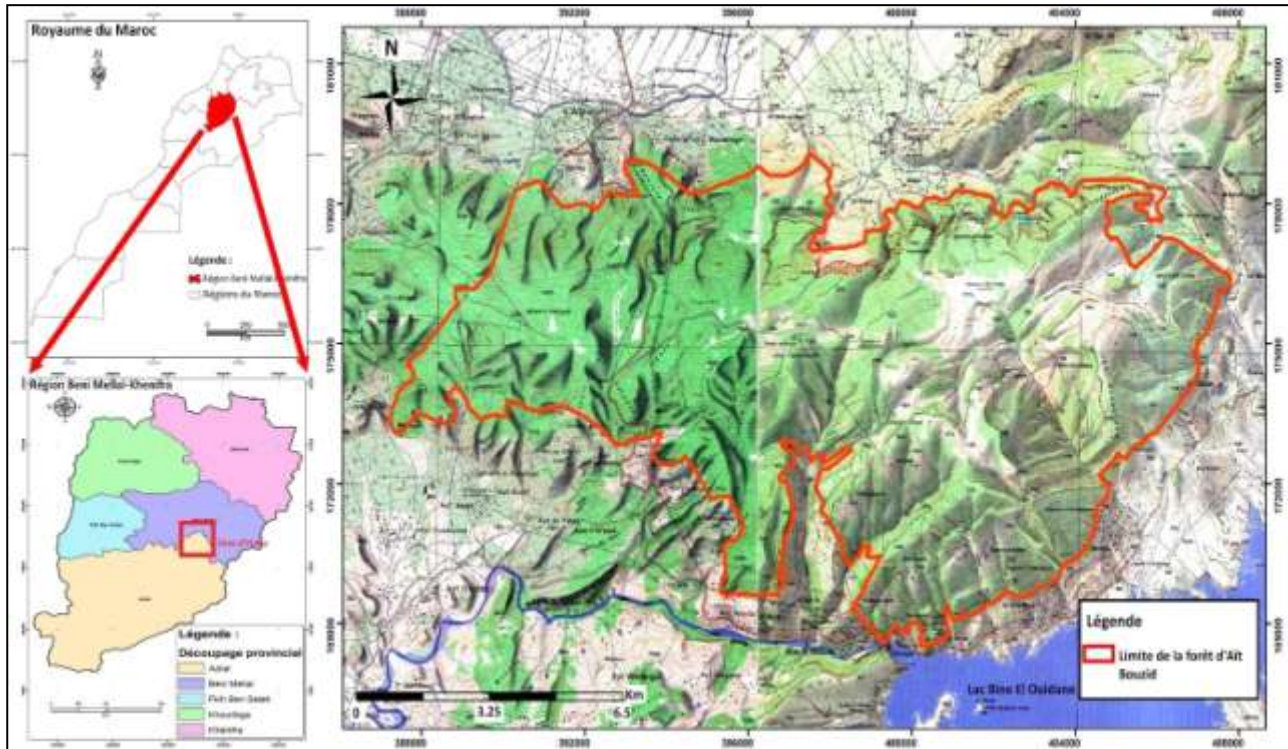


Figure 1.- Situation géographique de la zone d'étude (forêt d'Aït Bouzid).

Pour l'exposition des versants, la zone de l'étude enregistre la dominance des versants exposés vers l'Est avec 15.5%, les versants exposés vers le Sud-Est avec 13.6%. Les versants exposés vers l'Ouest couvrent 18.6%, et les versants exposés vers Sud-Ouest représentent 21.3%. Par ailleurs, les autres expositions ne couvrent que des surfaces qui ne dépassent pas 8%. Lors des visites du terrain, nous avons observé que le couvert végétal sur les versants exposés vers l'Est, le Sud et le Sud-Est (zones de dégradation), s'étend vers les hautes altitudes en cherchant l'humidité. Par contre, sur les versants exposés vers le Nord, le Nord-Ouest et l'Ouest (zones de croissance et de progression), le couvert végétal descend vers les basses altitudes riches en matière organique et en humidité.

Lithologiquement, la forêt d'Aït Bouzid fait partie du Haut Atlas central, est caractérisé par la dominance des formations carbonatées (qui appartiennent à l'ère secondaire et plus précisément au Jurassique [19,20] notamment les calcaires et les dolomies du Lias inférieur et moyen qui couvrent une grande partie de la zone avec 47.3%, ainsi il est trouvé des marnes et des marno-calcaires avec 25.2%. Ces formations se situent au Nord, au Sud et au Sud-Ouest du la zone d'étude. Entre les deux parties, se remarque la présence de quelques alluvions du quaternaire.

Cette situation, dans le Haut Atlas central a offert à la zone de l'étude autant de caractéristiques naturelles et anthropiques favorables pour un tel développement du couvert végétal.

2.- Matériel et méthodes

Pour la démarche optée, est basée sur l'utilisation des données de la télédétection pour une étude multodate de l'évolution et de la spatialisation de la forêt d'Aït Bouzid pour une période de 35 ans (1984, 2001 et 2019). Ainsi, il est analysé les facteurs responsables de la dynamique du couvert végétal (pente, altitudes, exposition des pentes, lithologie, ...). Dans ce sens, l'utilisation de la télédétection a facilité la distinction des zones de recul (dégradation) et de croissance (développement) du couvert végétal dans la zone (tab. I).

Tableau 1.- Dates des images utilisées.

Images	Dates
Landsat 5 (TM)	18 Août 1984
Landsat 5 (ETM)	28 Juillet 2001
Landsat 8 (Oli)	20 Juin 2019

Nombreuses sont les méthodes utilisées dans les études de classification de la dynamique du couvert végétal: NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index), GEMI (Global Environment Monitoring Index), STAVI (Tranformed Soil Adjusted Vegetation Index); MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index), ... [21,22,14]. Par contre, la méthode que nous avons opté pour ce travail est "Normalised Difference Vegetation Index" (NDVI), et pour laquelle il est avec utilisé une double classification supervisée: la première a été faite sur le logiciel ENVI en utilisant l'outil "Region of Interest", la seconde a été faite sur le logiciel ArcGis en utilisant l'outil "Maximum Likelihood Classification". Cette double utilisation a pour but d'assurer et de tester la bonne classification et aussi pour valider les résultats. Pour garantir la réussite de cette classification, il est effectué des corrections radiométriques et le traitement des histogrammes nécessaires sur le logiciel ENVI afin d'isoler quelques valeurs numériques pour assurer un seuillage et une visualisation des images corrects. Sur les deux logiciels, il est utilisé la classification supervisée, basée sur la signature spectrale de la végétation, où il est considéré deux classes: le sol nu et le couvert végétal. Cette classification est justifiée par l'absence de grands districts (villages) et agglomérations (juste la présence de quelques maisons dispersées) ou par les cultures de la population.

Pour déterminer le rôle des interventions humaines dans la dégradation du couvert végétal, il est réalisé un questionnaire sur 100 personnes sur différents acteurs locaux dont la population locale (90), les élus (02), les associations (05), et trois responsables de la Direction des Eaux et Forêts.

3.- Résultats et discussion

L'analyse des images choisies a permis de dégager plusieurs constats concernant l'évolution et la dynamique de la forêt d'Aït Bouzid. Concernant le traitement de l'image Landsat 1984, il est constaté que la zone d'étude est caractérisée par une extension très importante de la forêt avec 57% de la zone de l'étude. Par ailleurs, les terrains nus couvrent

une surface de 43%. Cette répartition couvre notamment la partie Est de la zone et les contours Nord (fig. 2).

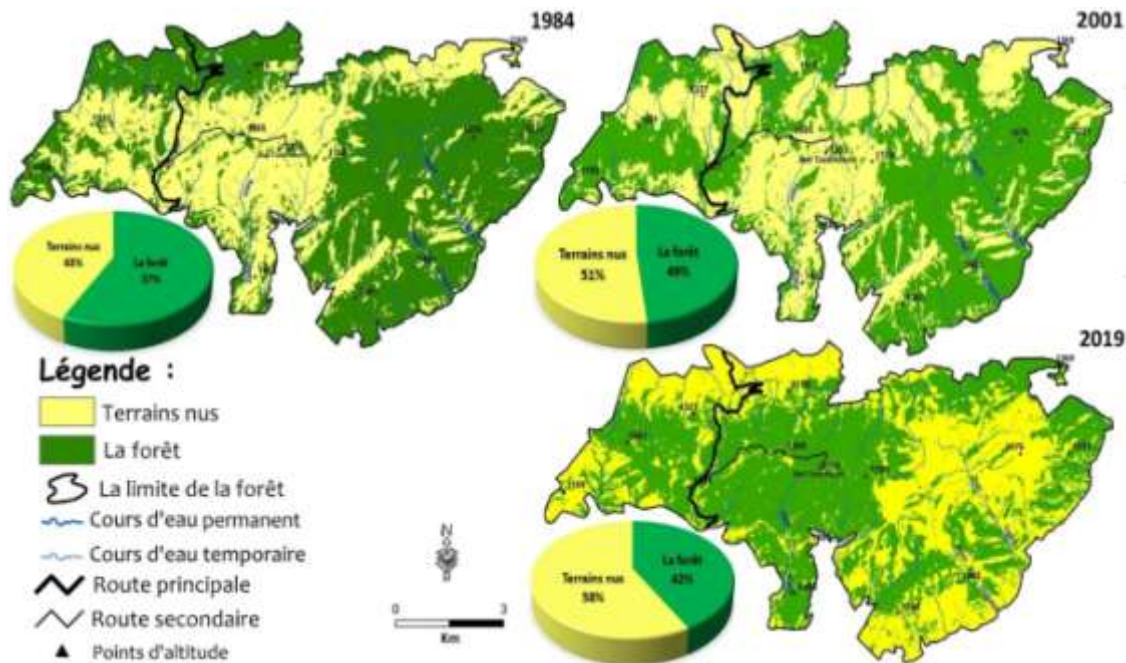


Figure 2.- Classification NDVI des images Landsat 1984, 2001 et Oli 2019.

Pour l'année 2001, le traitement de l'image montre un recul du couvert végétal à la faveur des terrains nus entre 1984 et 2001, de l'ordre de 8.4%, où le couvert végétal a couvert en 2001 une surface de 48.6% et les terrains nus 51.4%.

Quant au traitement de l'image Oli (2019), la figure 2 montre une spatialisation totalement différente à celle de 1984, avec un déplacement du couvert végétal vers de nouvelles zones. Ainsi, nous remarquons une dégradation importante de ce dernier avec un pourcentage de 14.7%, où la forêt a connu un recul de la surface de l'ordre de 57% à 42.3%. Par contre, la surface des terrains nus a été augmentée de 43 à 57.7% (fig. 2).

Après le classement et la classification des images, il est fait le croisement et la superposition des cartes pour faire sortir la carte de la dynamique spatio-temporelle de la zone d'étude, dont les classes obtenues sont: les terrains nus, la forêt, les zones de recul et les zones de progression du couvert végétal (fig. 3).

Réellement, le croisement des résultats de traitement montre une spatialisation des zones de recul concentrée au centre (notamment à l'Est de Jbel Tazerkount) et au Nord de la zone d'étude. En revanche, le reste de la zone a enregistré une stabilité du couvert végétal (au centre) et des terrains nus (à l'ouest, à l'est et au sud-ouest), et une légère progression de la forêt sur les versants de Jbel Tazerkont et au Nord-est de la zone.

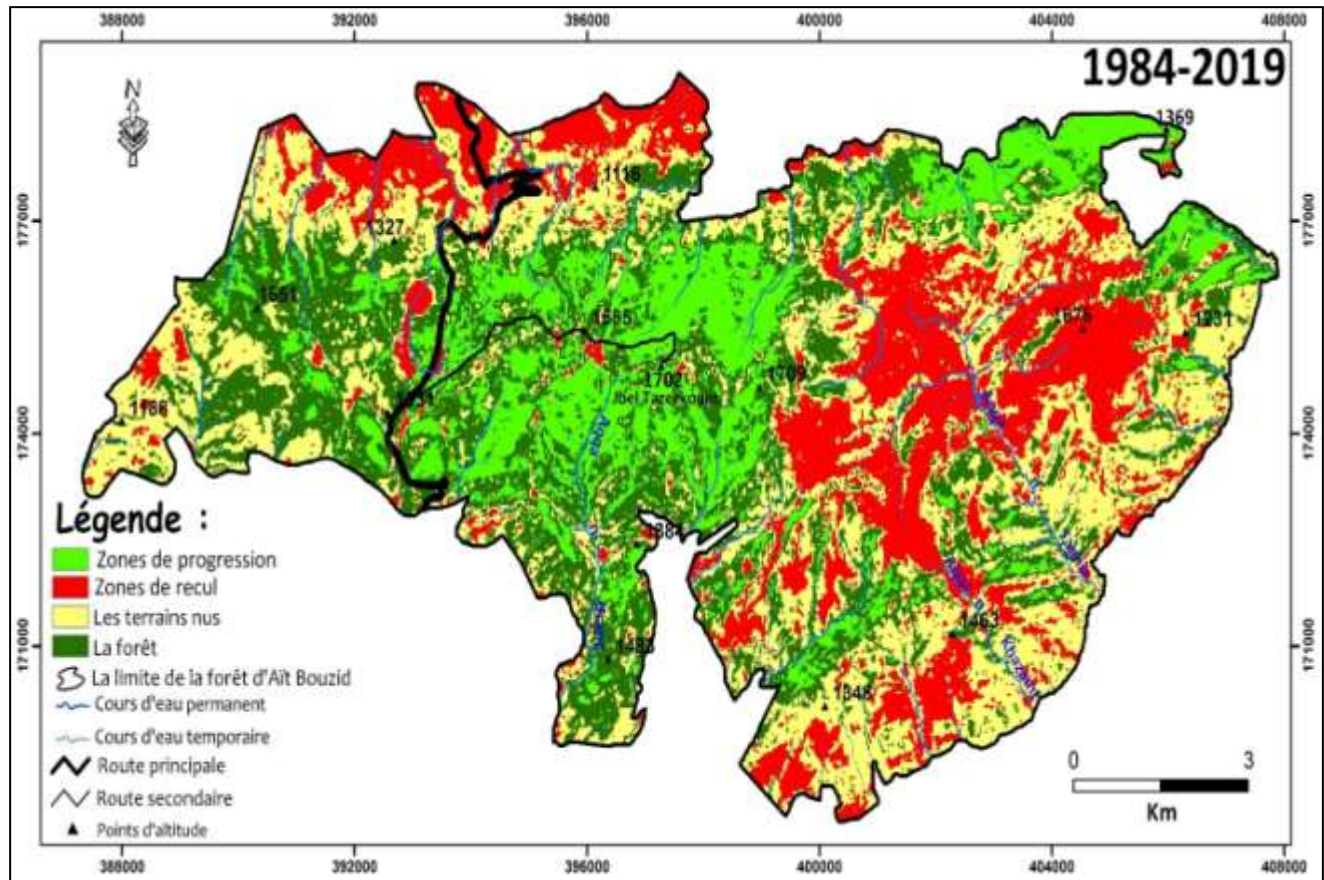


Figure 3.- Evolution de la forêt d'Aït Bouzid entre 1984, 2001 et 2019

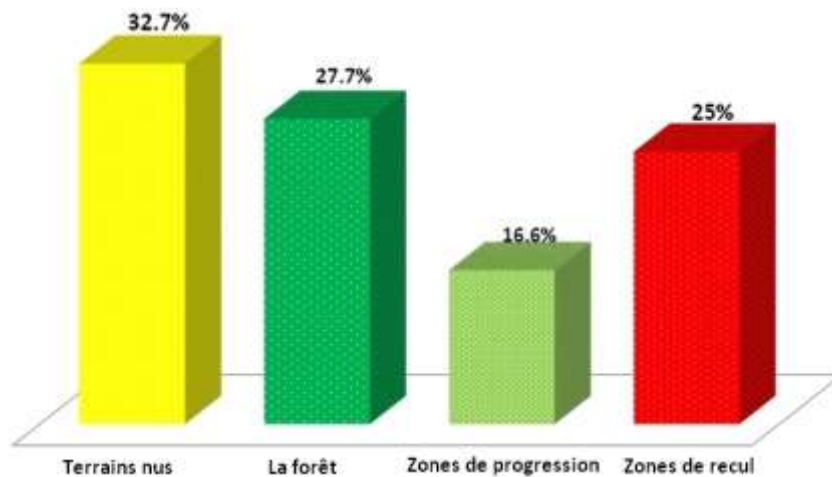


Figure 4.- Evolution des classes de la forêt d'Aït Bouzid entre 1984, 2001 et 2019

L'analyse de la base de données de cette carte, montre que les terrains nus couvrent 32.7% de la zone d'étude. Cette classe s'est développée sur les zones qui ont été dégradées avec 25% (une progression de la forêt de 14.7%). Malgré la présence des nouvelles zones de progression de 16.6%, la forêt a enregistré une diminution dans sa surface globale de 14.7% (entre 1984 et 2019). Cette évolution est justifiée par combinaison de plusieurs facteurs à la fois topographiques (les pentes, les altitudes et l'exposition des versants), climatiques,

géologiques et voire anthropiques.

La validation des résultats de traitement et la précision de la classification, ont été vérifiées et validées par i) les vérifications du terrain (les dizaines de sorties de terrain), qui ont montré une distribution très proche du couvert végétal à la classification des logiciels, notamment pour les zones de progression et de recul. La précision et les résultats de traitement ont été vérifiées par ii) la comparaison des résultats des deux classifications (tab. II).

Tableau II.- Comparaison des résultats de la classification NDVI

Type	NDVI (Maximum Likelihood Classification)'		NDVI (Region of Interest)	
	Terrains nus (%)	Forêt (%)	Terrains nus (%)	Forêt (%)
1984	43.4 (soit 5468.4 ha)	56.6 (soit 7131.6 ha)	43.8 (soit 5518.8 ha)	56.2 (soit 7081.2 ha)
2001	51.2 (soit 6451.2 ha)	48.8 (soit 6148.8 ha)	52.1 (soit 6564.6 ha)	47.9 (soit 6035.4 ha)
2019	58.4 (soit 7358.4 ha)	41.6 (soit 5241.6 ha)	58.6 (soit 7383.6 ha)	41.4 (soit 5216.4 ha)

Pour identifier le rôle des différents facteurs influençant la dynamique du couvert végétal, il est superposé les cartes des facteurs étudiés auparavant (les pentes, les tranches d'altitude, l'exposition des versants, le climat, le couvert végétal, et la lithologie), pour ressortir la carte de degré de risque de dégradation de la zone d'étude. La figure 5 renseigne sur le degré de risque, dont il est proposé 5 classes: degré de risque très faibles, risque faible, risque moyen, risque élevé et degré de risque très élevé. Après l'élaboration de la figure 5, elle a été superposée sur la carte de la dynamique de la forêt 1984-2019, pour montrer la relation et la coïncidence des classes de la dynamique avec les classes des zones à risque.

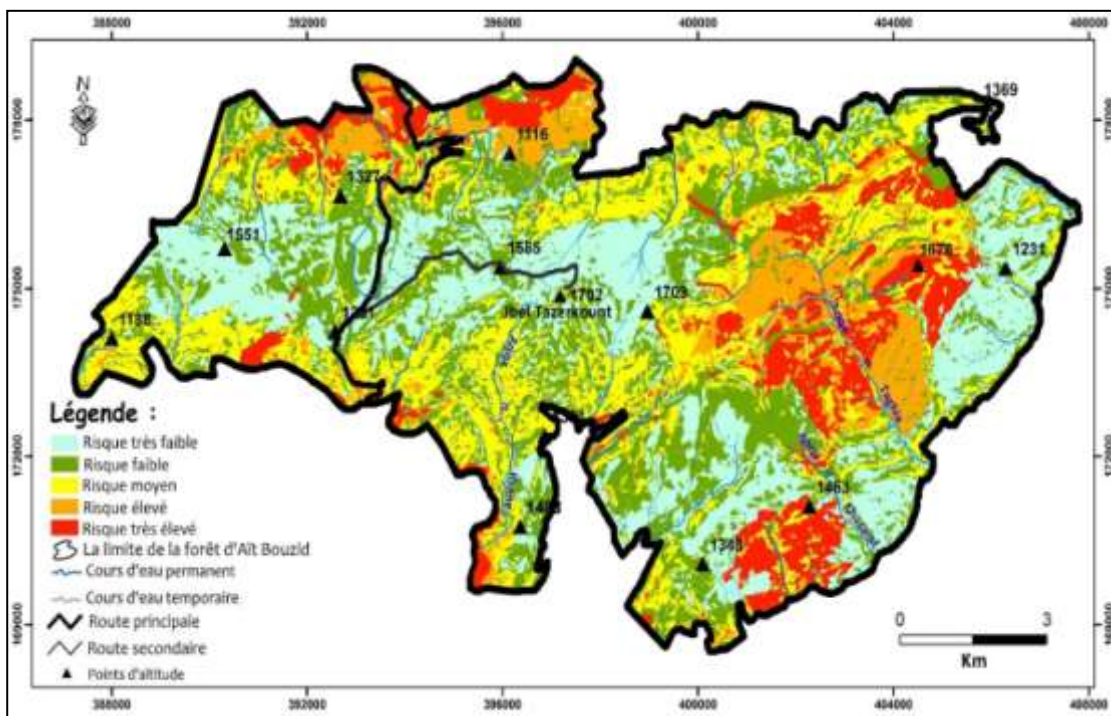


Figure 5.- Degré de risque de dégradation de la forêt d'Aït Bouzid

D'après le traitement de la base de données de la figure 6, il est constaté que les versants du terrain d'étude sont touchés par une instabilité importante, dont le risque moyen à très fort couvre 62.2% de la surface de zone. Par ailleurs, le degré de dégradation faible à très faible s'étend sur 37.8%.

A la lumière de ces données, la figure 6 montre une grande coïncidence entre les nouvelles zones de progression et le degré de risque faible et très faible, notamment sur les versants du Jbel Tazerkount. De même, il est remarqué la coïncidence entre les zones de dégradation de la forêt avec les zones de degré de risque élevé et très élevé notamment au Nord de la zone d'étude et à l'Est de Jbel Tazerkount (au centre de la zone d'étude).

Normalement, cette coïncidence de dégradation est justifiée par la concordance des pentes fortes à très fortes avec les altitudes élevées, la lithologie dure et les versants ensoleillés exposés vers l'Est, le Sud, l'Ouest, et le Sud-Ouest pauvres en matière organique et de faible humidité.

Quant aux zones de croissance et de progression, elles sont témoignées par la coïncidence des terrains où les pentes sont moyennes à très faibles avec la lithologie marneuse, et les versants longs, ombrés et riches en humidité et en matière organique (exposés vers l'Ouest, le Nord-Ouest, ...). Pour ces raisons il est remarqué la progression du couvert végétal sur les versants de Jbel Tazerkount et à l'extrémité Nord-Est de la zone (fig. 6). Il faut signaler que cette extension du couvert végétal est justifiée par plusieurs projets de reboisement dans le cadre de la stratégie nationale de la protection de la richesse et de la diversité biologique par la création des lois relatives aux aires protégées et parcs nationaux.

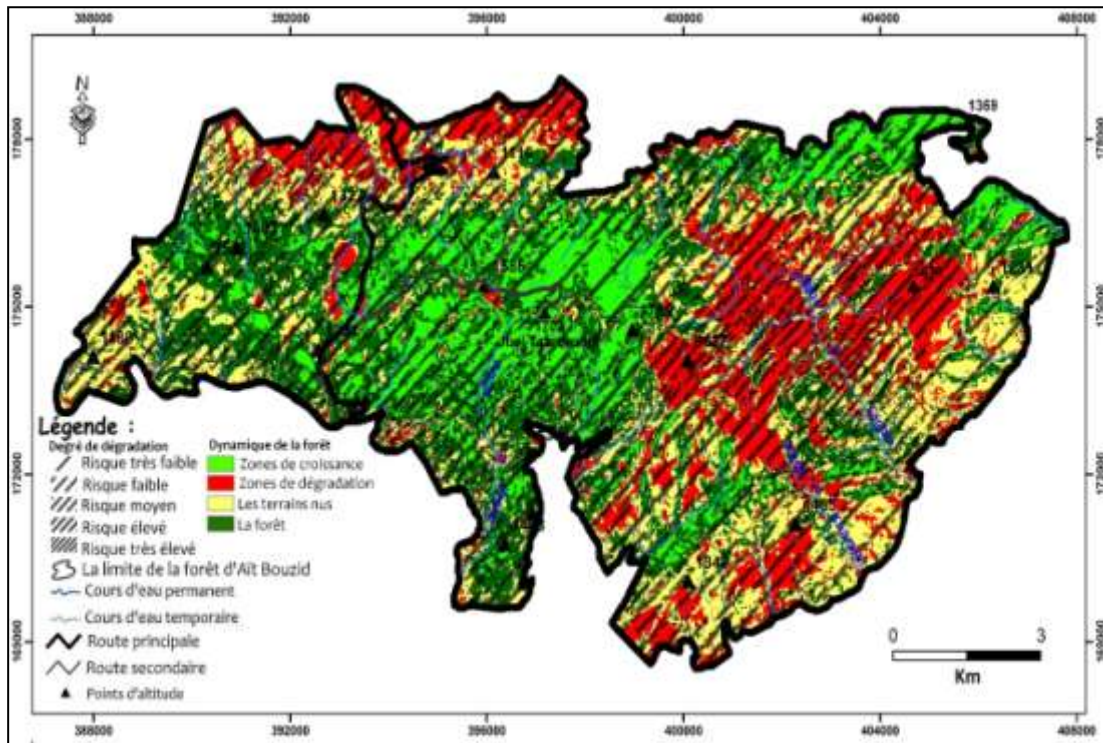


Figure 6.- Coïncidence de risque de dégradation avec l'évolution de la forêt d'Aït Bouzid entre 1984 et 2019

En effet, la spatialisation de la dynamique de la forêt avec les risques de dégradation est justifiée par plusieurs facteurs. En plus des facteurs pré-étudiés, les interventions humaines ne sont pas négligeables, lors des sorties sur terrain, il est enregistré que les outils de dégradations de la forêt sont très variés, outre les facteurs naturels et vu les surfaces agricoles à utiliser très limitées l'Homme a pratiqué depuis longtemps le défrichage [15] de la forêt (60% de la population interviewée), et l'utilisation du bois pour le charbonnage (photo 1), notamment le chêne vert qui est considéré comme un bois très excellent pour le charbonnage (120 à 180 Kg/st, [18]; il l'a exploité, aussi, pour les besoins quotidiens (29%, pour le chauffage (photo 2), et la construction des maisons (photo 3).



Photo 1.- Trou de charbonnage du bois
(Hili A., 2020)



Photo 2.- Bois coupé pour le chauffage
(Boussena A., 2018)



Photo 3.- Bois utilisé pour la construction des maisons.
(Hili A., 2021)

Il est observé directement que la plupart de la population (55% de la population interviewée) préfère le pâturage dans la forêt, par contre, 23% de la population préfère le déplacement vers les pâtures. Ce choix est très important, surtout, lorsque le nombre de bétail est élevé (plus de 110 têtes, photo 4) et comporte un nombre important de chèvres, qui peuvent atteindre les sommets des arbres et mangent notamment les nouveaux bourgeons des branches (photo 5).



Photo 4.- Le bétail se déplace pour le pâturage dans la forêt
(Boussena A., 2018)



Photo 5.- Chèvre sur un chêne vert.
(Hili A., 2017)

Conclusion

L'étude de la dynamique du couvert végétal de la forêt d'Aït Bouzid (dans le Haut Atlas central) et les études déjà réalisées ont montré que le couvert végétal est influencé par plusieurs facteurs (naturels et humains). Par ailleurs, la réalisation de ce type d'étude en se basant sur l'outil télédétection et SIG a ajouté un apport, car il permet de mieux analyser, interroger, superposer et spatialiser les zones touchées par la dégradation et la progression du couvert végétal, comme il a permis et faciliter tous ce qui concerne notamment le calcul des surfaces et des pourcentages.

En effet, il faut dire que la classification choisie a permis de mettre en exergue les différents changements spatio-temporels du couvert végétal entre 1984 et 2019. L'analyse des cartes de la dynamique de la forêt durant cette période a montré que les terrains nus couvrent 32.7% de la zone d'étude, ainsi, cette classe a été développée sur les zones qui ont été dégradées de la forêt avec 25% (donc une progression de 14.7%). En revanche, malgré la présence des nouvelles zones de progression et de croissance de la forêt avec 16.6%, la forêt a enregistré un recul de sa surface de 14.7% (entre 1984 et 2019). Cette dynamique est justifiée essentiellement par l'influence des facteurs notamment topographiques (les pentes, les altitudes et l'exposition des versants), climatiques, géologiques et anthropiques.

Références.

- [1].- Raogo N. G., 2018.- Dynamique du couvert végétal et implications socio-environnementales à la périphérie du parc W/Burkina Faso. Vertigo.- la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 18 N° 1 mai 2018, mis en ligne le 25 mai 2018, consulté le 10 février 2021. URL: <http://journals.openedition.org/vertigo/20249>; DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.20249>.
- [2].- Diop A., Hyacinthe S, Cheikh D., Elysée N., Honoré D., et Bienvenu S., 2018.- Dynamique d'occupation du sol des zones humides urbanisées de Dakar (Sénégal) de 1942 à 2014. Vertigo.- la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 18, URL: <http://journals.openedition.org/vertigo/20120>; DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.20120>.
- [3].- Soro G., Ahoussi E.K., Kouadio E.K., Soro T.D., Oulare S., Saley M.B., Soro N., et Biemi J., 2014.- Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science*, 10(3): 146-160.
- [4].- Sawtschuk J., et Bioret F., 2012.- Analyse diachronique de la dynamique spatiale de la végétation de l'estuaire de la Loire. *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 3: 15-28.
- [5].- Brou T., 2010.- Variabilité climatique, déforestation et dynamique agrodémographique en Côte d'Ivoire. *Sécheresse*, vol. 21 (1e): 1-6
- [6].- Mahamane A., Mahamane S., Yacoubou B., Issaka A., Ichaou A., et Saley K., 2007.- Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans

la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Sécheresse*, vol. 18 (4): 296-304.

- [7].- Bissour R., El Khalki Y., et Hili A., 2018.- Apport de la télédétection spatiale à l'étude diachronique de la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oued El Abid, (Haut Atlas central, Maroc). Actes du colloque International des utilisateurs du SIG, Oujda, Pp 257-262.
- [8].- Bachaoui B., Bachaoui E. M., Maimouni S., Lhissou R., El Harti A., et El Ghmari A., 2014.- The use of spectral and geomorphometric data for water erosion mapping in El Ksiba region in the central High Atlas Mountains of Morocco. *Appl Geomat* 6(3):159–169.
- [9].- Daoui K., et Fatemi, ZEA. 2014.- Agroforestry systems in Morocco: the case of olive tree and annual crops association in Saïs region. In: Behnassi M et al (eds) *Science, policy and politics of modern agricultural system*. Springer, New York, Pp 281–290.
- [10].- El Garouani A., Chen H., Lewis L., Tribak A., et Abahrour M., 2008.- Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG Idrisi au Nord-Est du Maroc. *Revue Télédétection*, vol. 8, N° 3: 193-201.
- [11].- Benabid A., 1985.- Les écosystèmes forestiers préforestiers et prestéppiques du Maroc diversité, répartition biogéographique et problèmes posés par leur aménagement. *Forêt Méditerranéenne*, Tome VI, n° 1: 53-64.
- [12].- Lecompte M., 1986.- Biogéographie de la montagne marocaine: le Moyen Atlas central. *Mémoires et documents de Géographie*. Edit. CNRS, 202 p.
- [13].- Michel C., et Ruelan A., 1967.- L'agriculture et les forêts au Maroc. *Les cahiers de la recherche agronomique*, vol. 24: 103-140.
- [14].- Bouiadjra S., El Zerey W., et Benabdeli K., 2011.- Étude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale: cas des monts du Tessala (Algérie occidentale). *Varia*, vol. 5: 211-225.
- [15].- Hountondji Y. C., Ozer P., et Nicolas J., 2004.- Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger. *Cybergeog: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, vol. 291: 1-18.
- [16].- Tricart J., 1954.- Influence des sols salés sur la déflation éolienne en basse Mauritanie et dans le delta du Sénégal. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, vol. 5: 124-13.
- [17].- Jeffrey A., Mcneel Y., et Schroth G., 2006.- Agroforestry and biodiversity conservation-traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity and Conservation*, vol. 15: 549-554. DOI 10.1007/s10531-005-2087-3.
- [18].- Direction régionale des Eaux et forêts, Beni Mellal, 2010.- Etude d'aménagement de la forêt d'Aït Bouzid, Rapport de synthèse, 115 p.

- [19].- Bouchaou L., 1988.- Hydrogéologie des bassins des sources karstiques du complexe calcaire Haut-Atlasien du Dir d Beni Mellal (Maroc). Thèse de doctorat, l'U.F.R. de Sciences et Techniques de Université Besançon, 227 p.
- [20].- Perritaz L., 1995.- Contribution à l'étude géomorphologique et hydrogéologique d'un Karst perché en domaine méditerranéen: le plateau des Aït Abdi: Haut Atlas central calcaire, Maroc. Thèse doctorat, Université Fribourg, 178 p.
- [21].- Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., et Sorooshian S., 1994.- A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, vol. 48: 119-126.
- [22].- Rondeaux, G., Steven, M., et Baret, F., 1996.- Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. *Remote Sens. Environ.*, vol. 55: 95-107.