

Article

Evaluation et cartographie des feux de forêts généralisés d'août 2021 à Bejaia et Tizi Ouzou : Approche géomatique

Nouar Boulghobra ¹, Saifi Merdas ^{2,1} et Ahmed Benmalek ^{1,*}

¹ Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides CRSTRA, Biskra ; boulghobra.n@gmail.com

² Centre de recherche en aménagement du territoire, Constantine; saifieco@gmail.com

* Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides CRSTRA, Biskra ; ahmed.benmalek@yahoo.fr

Résumé : Cette recherche a porté sur l'évaluation et la cartographie des incendies de forêt généralisés, qui ont eu lieu dans les zones côtières centrales algériennes (Tizi Ouzou et Bejaia) du 9 au 14 août 2021, et ce ayant recours aux données satellitaires et des systèmes d'information géographique. Les résultats montrent l'importance des surfaces brûlées qui étaient d'environ 42,910 ha de couvert végétal, représentant environ 12% de la zone d'étude, dont 31,216 ha à Tizi Ouzou et 11,694 ha à Bejaia. La topo-morphologie de la région était un facteur important dans la propagation des incendies de forêt ; les surfaces brûlées correspondent à des terrains de moyennes à hautes altitudes, pentes et densités de couvert végétal. Afin d'atténuer la gravité et les impacts des incendies, il est nécessaire d'adopter des plans appropriés visant la gestion de ce risque, et cet avant, pendant et après la survenance des incendies.

Mots clé: incendie; 9 août 2021; côtiers centre algériens; Landsat; RdNBR

Received : 19 June 2022
Accepted : 23 June 2022

Citation: Boulghobra N., Merdas S., Benmalek A. Evaluation et cartographie des feux de forêts généralisés d'août 2021 à Bejaia et Tizi Ouzou : Approche géomatique. Journal Algérien des Régions Arides 2022, 14 (2) : 60–67.

Publisher's Note : ASJP is an electronic publishing platform for Algerian scientific journals managed by CERIST, that is not responsible for the quality of content posted on ASJP.



Copyright : © 2022 by the CRSTRA. Algerian Journal of Arid Regions is licensed under a Creative Commons Attribution Non Commercial 4.0 (CC BY NC) license.

1. Introduction

Malgré l'immensité du territoire algérien, la forêt naturelle algérienne occupe uniquement 1,439 millions d'ha, représentant une augmentation de 0.13% de 2010 à 2020 avec une superficie annuelle de 1900 ha [1].

En méditerranée comme au monde, les incendies de forêt est un risque naturel majeur qui provoque la perte et la dégradation d'importantes superficies de couvert végétal, et par conséquent, la diminution des biens et des services fournis par l'écosystème forestier. Les feux de forêts peuvent changer la nature du couvert végétal et même l'occupation des terres.

En raison de sa situation au sud de la Méditerranée, l'Algérie englobe une importante richesse forestière : 1,329,400 ha de forêts naturelles, 1,844,400 ha de maquis, 972,800 ha de reboisement et 3,000 ha de pelouse [2]. La région côtière centre de l'Algérie est caractérisée par l'abondance d'un couvert forestier important [3,4], qui présentent un environnement hautement favorable à la survenance et la propagation des incendies [5,6]. En effet, selon la direction générale des forêts (2018), les régions centre de l'Algérie compte 446,936 ha de superficie forestière, dont 10 % (44,300 ha) sont dégradées par les feux de forêts entre 2008 et 2017.

Les nouvelles technologies telles que la télédétection et les systèmes d'information géographique, jouent un rôle important dans le suivi, l'évaluation, et la prévention des feux de forêts. En adoptant des approches basées sur l'investigation du terrain ou des méthodologies géomatiques, l'évaluation de l'extension et du degré des incendies de forêts a fait l'objet de nombreuses recherches. En effet, [7] ont proposé le taux de combustion relativisé / relativized burn ratio (RBR) comme une nouvelle mesure alternative de la gra-

tivité des brûlures basée sur Landsat. Grace au traitement d'images Landsat 8, [8] ont évalué les changements causés par le feu dans Galicia en Espagne. [9] ont modélisé le risque d'incendie de forêt à l'aide de la télédétection et des SIG, pour mettre en œuvre des mesures préventives et, réduire le risque d'incendie de forêt. Également, [10] a étudié l'ampleur des feux de forêts dans les Aurès (Est algérien) enregistrés en 2021 en utilisant les images multidates Sentinel 2, le delta normalized burn ratio (dNBR) et le relativized delta normalized burn ratio (RdNBR).

L'objectif de cette recherche est d'évaluer le degré et cartographier l'extension des incendies de forêt du 9 août 2021 dans la région de Bejaia et Tizi Ouzou, ayant recours aux images satellitaires et systèmes d'information géographique. L'estimation de l'ampleur des feux de forêts pourrait nous aider à mieux comprendre les facteurs qui aggravent et favorisent la propagation des feux de forêts, et mieux orienter les aménagements pour la protection du patrimoine forestier. Les facteurs qui aggravent et favorisent la propagation des feux de forêts.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Region d'étude

La région d'étude est située au nord de l'Algérie. Entre les latitudes nord 36° 30' et 36° 56', et les longitudes Est 4° 01' et 4° 58', elle s'étend sur une superficie de 3,471 Km² (3,471,000 ha), prenant partie de 3 wilayates (Tizi Ouzou, Bejaia et Setif), et comprend 82 communes. La topo-géologie met en évidence la prédominance d'un relief accidenté (Figure 1a), qui se compose de monts et chaînes montagneuses repartis sur toute la région, on retrouve les affleurements Oligocène marin à Dj. Tamgout (1,260 m), Dj. Tourka (1,516 m) et Dj. Akfadou (1,422 m) ; le jurassique inférieur à Dj. Toudja (1,291 m), Micaschistes qui correspondent à la chaîne de Djurdjura (plus de 1,300 m) et Dj. Aissa Mimoun (766 m) ; ainsi les serpentines de Dj. Tizi N'berber (1,706 m) et le crétacé inférieur du Dj. Trouna (1,325 m). Ce relief accidenté a permis le développement d'un réseau hydrographique dense, dont les oueds Soummam et Sebaou sont les cours d'eau les plus importants. La région de la Kabylie est généralement caractérisée par un climat méditerranéen, les pluies dépassent les 700 mm/an, la température moyenne annuelle est d'environ 19 °C, avec un maximum (39 °C) en août et un minimum d'environ 7.2 °C en janvier. Ces conditions ont conduit au développement d'un couvert forestier important (Figure 1b), essentiellement composé de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), chêne liège (*Quercus suber* L.), chêne vert (*Quercus ilex* L.), chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.), chêne afarès (*Quercus afares* Pomel.), ces forêts sont en majorité classées en tant que réserves de la biosphère.

2.2. Imagerie satellitaire

Pour l'évaluation géospatiale et la cartographie de l'étendue des incendies de forêt du 9 août 2021 dans la région étudiée, nous avons eu recours à des images satellitaires bidates correspondant aux phases avant et après l'incendie. La disponibilité des scènes a été un critère déterminant pour le choix des images. Des images optiques à moyenne résolution spatiale ont été utilisées, à savoir les images Landsat OLI 8 datées du 11 juin et 14 Août 2021, correspondant respectivement aux phases avant et après les incendies. Au total, 4 images ont été utilisées car il a fallu constituer une mosaïque d'images pour chaque date, en assemblant le couple des images ayant les centres de scène 195/034 et 195/035. Ces données télédétectées sont disponibles en accès libre, elles présentent une couverture nuageuse minimale (moins de 1 %), sont déjà ortho-rectifiées et projetées selon la zone 31 du système Universal Transverse Mercator. Par ailleurs, les images ont été calibrées en surface de réflectance, et ont subi une correction atmosphérique afin d'éliminer les distorsions liées aux conditions de la prise d'image. Chaque image satellite est composée de bandes multispectrales dans le domaine visible et infrarouge, les longueurs d'onde vont du bleu (0.450 à 0.510 µm) au proche infrarouge court SWIR 2 (2.110 à 2.290 µm).

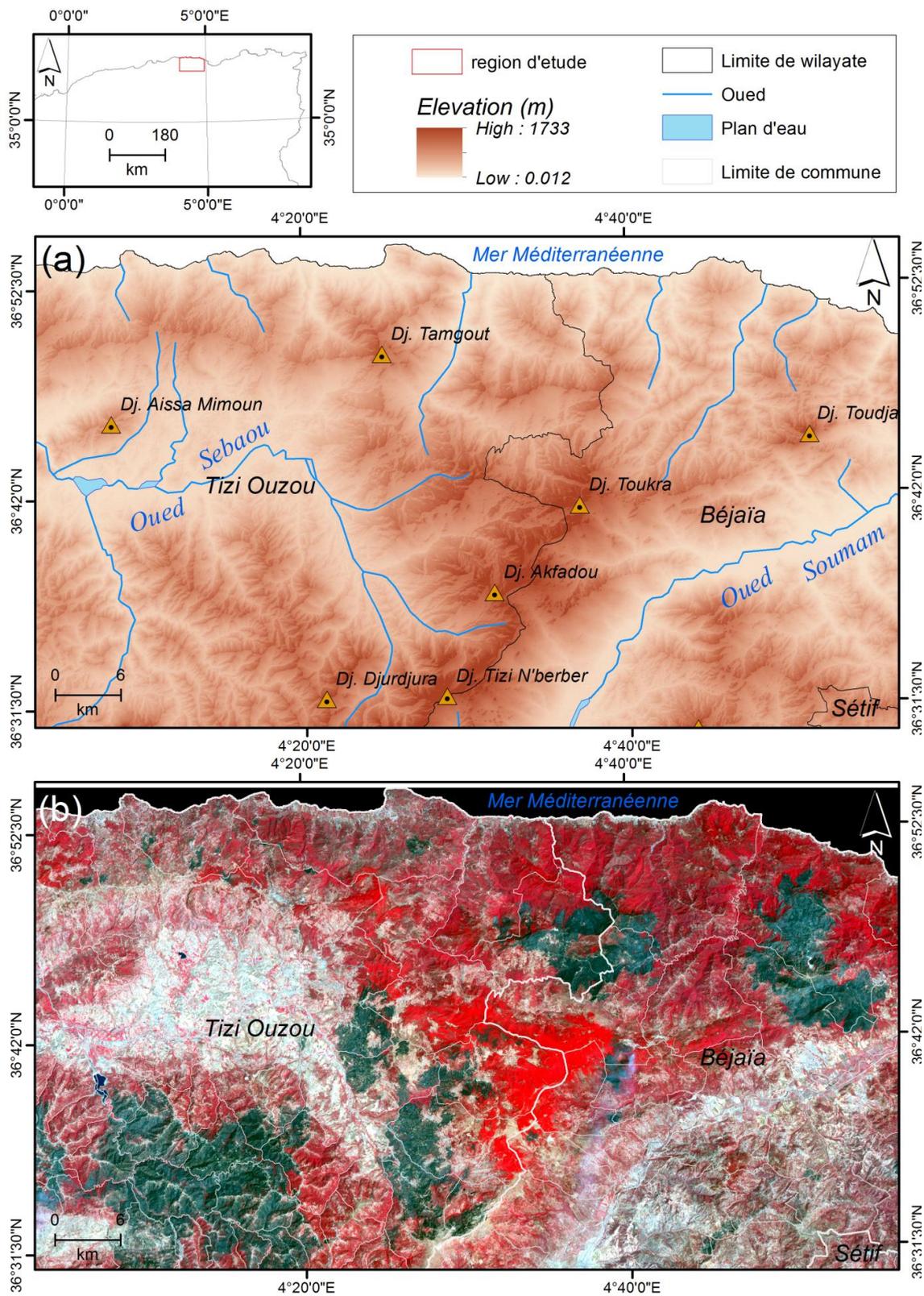


Figure 1. Localisation de la région d'étude (a) Modèle numérique de terrain MNT par la Shuttle Radar Topography Mission SRTM de résolution 40x40m (www.usgs.gov), montrant les classes d'altitudes, (b) Composition colorée des bandes RGB : 543 de l'image satellitaire Landsat 8 OLI (14 août 2021) post incendie, montrant le couvert forestier en couleur rouge et les superficies incendiées en gris foncé

2.3. Indices de brûlure normalisé et relativisé pour l'extraction des zones brûlées

L'extraction des superficies endommagées par les incendies de forêt dans la zone d'étude a été réalisée à l'aide de l'indice normalisé de brûlure NBR (allant de -1 à 1) ; cet indice se base sur la bande proche infrarouge (NIR) et proche infrarouge courte (SWIR2) des images Landsat, il dépend de la réflectance maximale de la végétation et du sol minéral pour évaluer la quantité de végétation existante avant et après le feu de forêt, il se calcule comme suit :

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (1)$$

Du point de vue spectral, le NBR est l'opposé de l'indice de végétation par différence normalisée NDVI développé par [11], qui fait référence aux bandes spectrales NIR et Rouge, et qui est utilisé pour la discrimination de l'abondance du couvert végétal. Pour le NBR, les zones brûlées correspondent à des pixels à faible réflectance dans le proche infrarouge et à forte réflectance dans le proche infrarouge court ; les valeurs NBR élevées indiquent une végétation abondante, tandis que des valeurs très faibles (proche de -1) indiquent les zones récemment brûlées. Pour les images d'avant et après l'incendie, le NBR a été calculé sous système d'information géographique, les zones brûlées suite à l'incendie ont été calculées selon la formule suivante :

$$dNBR = NBR_{pre-fire} - NBR_{post-fire} \quad (2)$$

Les valeurs de dNBR pourraient être influencées par les conditions atmosphériques lors de l'acquisition de l'image, ce qui contribue à confondre les zones récemment brûlées et les superficies initialement non couvertes de végétation pendant la phase du pré-incendie [12]. [7] suggèrent d'utiliser l'indice relativisé de brûlure RdNBR, afin de mesurer et classifier le degré de gravité. Les cartes de RdNBR pourraient fournir une évaluation adéquate du degré de dommages [13,14]. Le RdNBR se calcule comme suit :

$$RdNBR = \frac{dNBR}{NBR_{pre-fire} + 1.001} \quad (3)$$

RdNBR est l'indice le plus approprié pour la délimitation des classes de gravité de brûlure suite aux incendies de forêts, en utilisant les images satellitaires Landsat et Sentinel-2 [8,15,14]. Les cartes relatives au RdNBR ont été classées en différents niveaux de degré d'incendie, et ce en fonction de l'échelle développée par *United States Geological Survey Earth Resources Observation and Science Center* (Tableau 1).

Tableau 1. Niveaux de sévérité des incendies en fonction des classes du RdNBR.

Gravité N°.	Degré de gravité	Echelle RdNBR
1	Croissance améliorée, élevée	Inf. à -0,251
2	Croissance améliorée, faible	-0,250 à -0,101
3	Non brûlé	-0,100 à 0,099
4	Faible gravité	0,100 à 0,269
5	Gravité faible à modérée	0,270 à 0,439
6	Gravité modérée à élevée	0,440 à 0,659
7	Gravité élevée	Sup. à 0,660

3. Résultats et discussion

Après 5 jours d'activité (9 au 13 août 2021), les incendies dans la région étudiée ont pris fin le 14 août. La carte du NBR pré-incendie présente des valeurs qui variaient de -0.77 (absence de végétation/sol nu) à 0.83 correspondant à une couverture végétale saine,

la carte du NBR post-incendie présente un changement remarquable des valeurs de pixels allant de -0.78 à 0.83, où les valeurs les plus faibles correspondent spatialement à une forêt modérée et dense pendant la période précédant l'incendie. Le Tableau 2 résume les pourcentages et la distribution des niveaux de gravité des brûlures, respectivement basés sur la reclassification de la carte du RdNBR (Figure 2a), les surfaces brûlées sont également évaluées et délimitées (Figure 2b).

Tableau 2. Répartition des surfaces brûlées en fonction de l'indice relativisé de brûlure RdNBR.

Classes sévérité	Superficies en ha			Total (ha)	Total (%)
	Tizi Ouzou	Bejaïa	Setif		
Croissance améliorée, élevée	603	69	1	673	0
Croissance améliorée, faible	792	371	6	1,168	0
Non brûlé	119,462	101,856	2,474	223,792	65
Faible gravité	50,019	25,806	721	76,546	22
Gravité faible à modérée	19,930	6,036	0	25,966	8
Gravité modérée à élevée	11,282	5,647	0	16,930	5
Gravité élevée	4	10	0	14	0
Sous-total superficies brûlées	31,216	11,694	0	42,910	12
Total	202,091	139,795	3,203	345,089	100

Sur la base de la carte du RdNBR, on peut déduire qu'il ne se produit aucune croissance améliorée élevée et faible significative, les classes de zones non brûlées et de faible gravité prédominent avec respectivement 65 et 22 %.

Le total des superficies brûlées est de l'ordre de 42,910 ha, représentant 12 % de la région d'étude, dont 31,216 ha à la wilayate de Tizi Ouzou, et 11,694 ha à Bejaia. Les superficies ayant subies une brûlure à gravité élevée sont de l'ordre de 14 ha, dont 10 ha à Bejaia et 4 ha à Tizi Ouzou, tandis que les zones à gravité modérée à élevée et à gravité faible à modérée, représentent respectivement 5 et 8 %. Les superficies ayant subies une brûlure à gravité élevée sont de l'ordre de 14 ha, dont 10 ha à Bejaia et 4 ha à Tizi Ouzou.

La Figure 2c montre que les superficies brûlées s'étendent sur la plupart des communes de la région étudiée ; les communes de Larbaa Nath-Irathen, Béni Yenni, El Hammam, Ait Agouacha (wilayate de Tizi Ouzou), et celles d'Adekar, Toudja et Kseur (Bejaia) sont les plus touchées par les incendies du 9 mai 2021.

Outre la présence de source de combustion, l'initiation et la propagation des incendies de forêts dépendent de facteurs climatiques (vitesse/direction du vent, température, humidité...), et aussi du contexte physique et écologique de l'écosystème entre autres les altitudes, pentes, exposition, type de végétation ...etc. [5]. Les forêts de la région d'étude présentant des conditions favorables à la genèse et propagation des incendies ; ceci est dû à dominance des hauts reliefs, fortes pentes et dense couvert forestier.

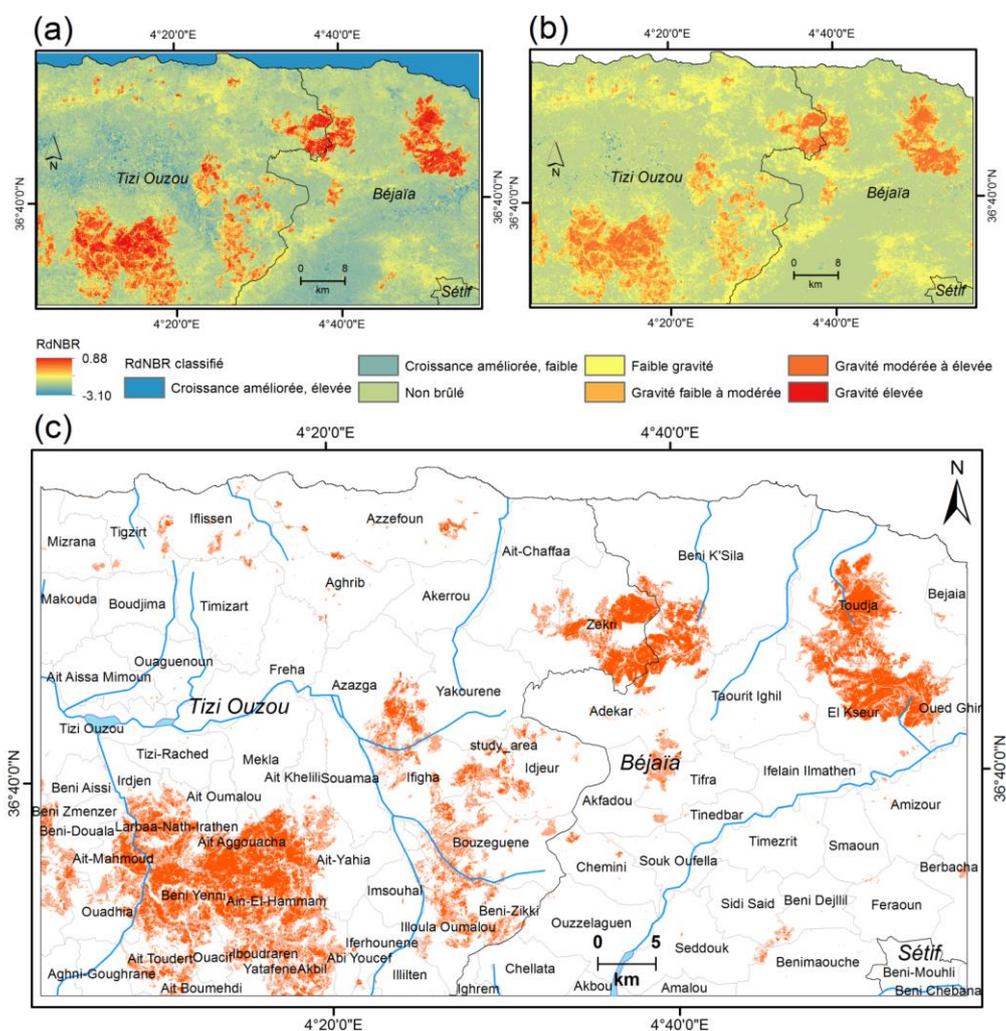


Figure 2. Carte RdNBR représentant la nuance de gravité de l'incendie (a). Carte RdNBR classifié montrant les classes de gravité du feu de forêt (b). Distribution spatiale des superficies brûlées dans la région d'étude (c)

Tableau 3. Répartition des surfaces brûlées en fonction des classes d'altitude, pente et densité de la végétation.

Paramètres	Valeurs	Classes	Superficies brûlées	
			Ha	%
Altitude (m)	Faible	0–425	8,478	20
	Moyenne	425–851	27,827	65
	Forte	851–1277	6,230	15
	Très forte	1277–1703	377	1
Végétation (NDVI)	Faible	0.20–0.30	16,182	38
	Moyenne	0.30–0.40	18,659	43
	Dense	0.40–0.50	6,341	15
	Très dense	0.50–0.83	1,726	4
Pente (%)	Faible	0–25	11,718	27
	Moyenne	25–50	24,373	57
	Forte	50–75	6,570	15
	Très forte	75–100	250	1

Le Tableau 3 et la Figure 3 mettent en évidence la répartition des surfaces brûlées suite à l'incendie du 9 août 2021, en fonction des classes d'altitude, pente et densité de la végétation. On peut remarquer que 80 % des superficies incendiées (34,057 ha) correspondent aux formations forestières localisées sur des terrains de hautes altitudes (425 à 1,277 m) ; ces zones constituent l'essentiel des monts de Djurdjura au sud-ouest, les versants ouest du Dj. Akfadou et Dj. Toudja à Bejaia plus à l'est. Outre la topographie, les pentes étaient un facteur important ; 72 % (30,943 ha) des surfaces brûlées coïncident avec des versants à moyenne et fortes pentes, dont les pentes sont comprises entre 25 et 47 % ; seulement 1 % des forêts brûlées se trouvent sur des terrains à très fortes pentes (supérieure à 75 %). Quant à la densité du couvert végétal, on peut constater que 38 % des zones incendiées sont des formations à faible densité, dont le NDVI est compris entre 0.20 et 0.30, et que 58 % (25,000 ha) correspondent à des formations de moyenne à forte densité, dont le NDVI est défini par l'intervalle 0.30–0.50, seulement 1,726 ha (4 %) de forêts très denses ont été incendiées. Ces constats confirment [16], [5] et [6] qui, mentionnent que la propagation des incendies de forêt est proportionnelle à des plusieurs facteurs écologiques et morpho topographiques, dont les pentes, les altitudes et la densité du couvert végétal.

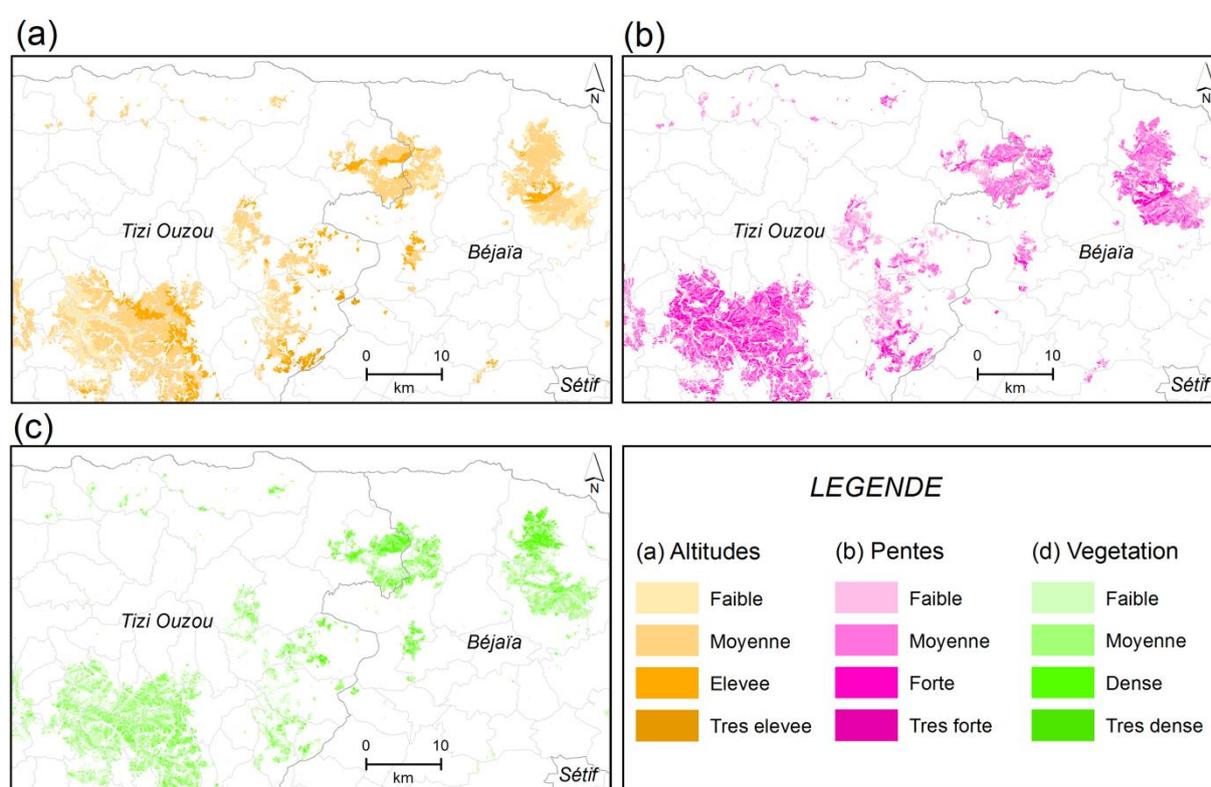


Figure 3. Cartographie des superficies brûlées et leur identification en fonction de : Classes d'altitude (a), Classes de pente (b) et Densité de la végétation (c)

4. Conclusions

L'objectif de cette recherche est l'étude est l'évaluation et la cartographie du degré et extension des zones brûlées, suite aux feux de forêt généralisés survenus à Bejaia et Tizi Ouzou le 9 août 2021, et ce ayant recours aux données satellitaires de Landsat et aux systèmes d'information géographique. L'utilisation du ratio relativisé de brûlure RdNBR a permis l'évaluation des zones incendiées et leur degré d'endommagement ; une importante superficie de 42,910 ha de couvert végétal, soit 12 % de la région d'étude, a été brûlée, dont 31,216 ha à Tizi Ouzou (communes de Larbaa Nath-Irathen, Béni Yenni, El Hammam, Ait Agouacha), et 11,694 ha à Bejaia (Adekar, Toudja et Kseur). Le contexte topomorphologique était un facteur important dans la propagation des incendies, la recherche met en évidence que la grande partie des surfaces incendiées correspondent à des terrains de moyennes à fortes altitudes, pentes et densités du couvert végétal. Cette étude montre que les données télédéteectées et les systèmes d'information géographique sont des outils

efficaces pour l'évaluation, la classification et la cartographie des étendues des feux de forêts. Cette étude préliminaire doit être complétée par l'étude précise des types des formations forestières, afin de comprendre l'effet de la combustibilité des espèces ainsi la classification des strates forestières, la biomasse etc., dans l'optique d'une meilleure analyse et interprétation. L'atténuation de la gravité et propagation des feux de forêt nécessite l'adoption et la mise en place de stratégies appropriées et plans intégrés d'atténuation des risques et dégâts, et cela avant, pendant et après la survenance des incendies.

References

1. FAO. *Global Forest Resources Assessment 2020*, FAO: Main report, Rome; 184 p.
2. BNEDER. Etude d'inventaire forestier national. Rapport sur la caractérisation des formations forestières 2009. Wilaya de Tizi Ouzou. Alger.
3. Sebki, K., Meddour, R., Zanndouche, O. Utilization of Alsat 2A image for the vegetation mapping of an anthropised forest: example of the Tamgout national forest (Tizi Ouzou, Algeria). *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* 2021, 7(4), 2177-2182.
4. Meddour, R., Sahar, O., Bouxin, G. Syntaxonomical survey of cork oak forests (*Quercus suber* L.) in the province of Tizi Ouzou, Kabylia, Northern Algeria. *Hacquetia* 2022, 21(2), 297–325.
5. Merdas, S. Report of forest fires in some Algerian governorates, cases of east Algeria: Bejaia, Jijel, Setif and Bordj Bou-Arredj. Master, University Mentouri of Constantine, 2007.
6. Sahar, O., Meddour, R. Diagnostic des incendies de forêt dans le Nord Centre Algérien : cas des provinces boisées et peuplées de Boumerdes, Bouira et Tizi Ouzou. *Cinq Continents* 2020, 10 (22), 282-303.
7. Parks, S.A., Dillon, G.K., Miller, C. A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. *Remote Sens.* 2014, 6, 1827-1844.
8. Arellano, S., Vega, J.A., Rodríguez, Y., Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J.G., Ruiz-González, A.D. Validation of the remote sensing indices dNBR and RdNBR to assess fire severity in the Oia-O Rosal (Pontevedra) wildfire in 2013. *Revista de Teledetección* 2017, 49, 49-61.
9. Parajuli, A., Gautam, A.P., Sharma, S.P., Krishna, K.B., Sharma, G., Thapa, P.B., Bist, B.S., Poudel, S. Forest fire risk mapping using GIS and remote sensing in two major landscapes of Nepal. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 2020, 11(1), 2569-2586.
10. Boulghobra, N. Sentinel 2 imagery and burn ratios for assessing the July 5, 2021 wildfires severity in the region of Khenchela (northeast Algeria). *Geographia Technica* 2021, 16(2), 95-104.
11. Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.W., Harlan, J.C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green-wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFCT Type III Final report 1974, Greenbelt, MD, USA.
12. Roy, D.P., Boschetti, L., Trigg, S.N. Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the Performance of the Normalized Burn Ratio. *IEEE Geoscience and remote sensing letters* 2006, 3(1), 112-116.
13. Mallinis, G., Mitsopoulos, I., Chrysafi, I. Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIScience & Remote Sensing* 2018, 55(1), 1-18.
14. Konkathi, P., Shetty, A. Inter comparison of post-fire burn severity indices of Landsat-8 and Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine. *Earth Sci Inform* 2021, 14, 645-653.
15. Quintano, C., Fernández-Manso, A., Fernández-Manso, O. Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn severity. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 2018, 64, 221-225.
16. Rahmani, S., Benmassoud, H. Modeling of forest fire risk spatial distribution in the region of Aures, Algeria. *Geoadria* 2019, 24(2), 79-91.