

Cartographie de la susceptibilité des incendies de forêt à l'aide de données de télédétection, des analyses SIG et AHP (étude de cas de Souhan, Algérie)

[Forest fire susceptibility mapping using remote sensing data, GIS and AHP analysis (Case study: Souhan, Algeria)]

Brahim Elkhail TAIBI, Hadda DRIDI, and Rabah BOUHATA

Department of Geography and Spatial Planning, Batna 2 University, Institute of Earth and Universe Sciences, Batna, Algeria

Copyright © 2020 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 ecosystem loses significant areas of forests each year because of forest fires, in Algeria, many of those fires are registered, especially during the summer period, this situation has become a national concern, because of the great losses of these vegetal covers every year. The municipality of Souhane is greatly affected by forest fires. The purpose of this study is to make a susceptibility map for the risks of fires in the municipality of Souhane, this by combining GIS and AHP analysis. several studies have already proved the effectiveness of this method. Six factors were selected; We calculated their weights using the AHP method. The results indicated that 51% of this municipality total area are included in the areas of high and very high susceptibility.

The fires that occurred in the year 2019 confirmed the relevance of those results, in addition, the combustion index (NBR) calculation has shown that the areas affected by forest fires are those that are once again, located in the areas of high and very high susceptibility.

Thus, those are interesting results and this study can help the fire department to improve its forest fire prevention techniques for the municipality of Souhane.

KEYWORDS: forest fire, susceptibility, Geographic information systems (GIS), analytic hierarchy process (AHP), combustibility index (NBR), Souhane.

RESUME: L'écosystème perd chaque année des surfaces non négligeables de zones forestières à cause des incendies de forêt, en Algérie, un grand nombre de ces feux sont enregistrés, principalement pendant la période estivale, au point de devenir une préoccupation nationale à cause des grandes pertes de ces couverts végétaux chaque année, la commune de Souhane est grandement touchée par les incendies de forêt la forêt en raison de sa nature forestière.

Le but de cette étude est d'établir une carte de susceptibilité aux risques d'incendies dans la commune de Souhane, et ce, en associant le système d'information géographique et la méthode AHP, plusieurs études ont prouvé l'efficacité de cette méthode pour définir la susceptibilité face aux incendies, six facteurs ont été sélectionnés, puis leurs poids calculée par la méthode AHP. Les résultats ont indiqué que 51% de la surface totale de cette commune sont incluses dans des zones dites de susceptibilité élevée et de susceptibilité très élevée, les incendies survenues au cours de l'année 2019 venant confirmer la pertinence des résultats obtenus, de plus, le calcul de l'indice de combustion a montré que les zones les plus touchées par le feu sont celles se situant encore une fois, dans les zones dites de susceptibilité élevée et très élevée.

Les résultats obtenus sont d'un grand intérêt, cette étude pouvant aider les services de protection civile à améliorer leurs méthodes de prévention contre les incendies dans la commune de Souhane.

MOTS-CLEFS: feux de forêts, susceptibilité, système d'information géographique (SIG), Processus d'analyse hiérarchique (AHP), indice de combustibilité (NBR), Souhane.

1 INTRODUCTION

Les forêts représentent 14% de la surface Terrestre [1]. Cependant, ce pourcentage diminue en raison de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont les feux de forêts. La destruction de la végétation due à ces feux est l'un des principaux problèmes dans les zones forestières, à l'heure actuelle ceci est devenu un problème d'ordre mondial [2].

En Algérie, Plus de 9000 hectares de forêts ont été ravagés par le feu au cours de plus de 1312 incendies enregistrés depuis 2019 selon la protection civile, la wilaya de Blida est l'une des régions les plus touchées par les feux, le facteur humain est la principale cause de déclenchement de ces incendies très fréquents durant la saison estivale.

La commune de Souhane est la commune la plus touchée par les incendies dans la wilaya de Blida, les forêts occupant plus de 90% du territoire de cette commune, cela en fait l'une des plus vulnérables aux risques d'incendies.

Les SIG et la télédétection sont devenus un important moyen d'observation et de compréhension des phénomènes naturels tels que les feux de forêt [3], ainsi que des outils de cartographie et de surveillance efficaces des changements du paysage forestier notamment lorsqu'il est touché par les feux [4].

Plusieurs études ont été menées sur l'utilisation d'AHP dans le domaine de la susceptibilité des milieux face aux catastrophes naturelles, en tant qu'outil efficace et qui a donné des résultats très acceptables.

Notre étude tente d'exploiter les capacités des techniques de télédétection et de SIG, tout en proposant une méthodologie la cartographie des zones à risque d'incendie dans le milieu forestier. Ainsi que le traitement et le calcul de l'influence des différents critères ayant un impact sur les feux de forêt, le processus de hiérarchie analytique (AHP) a été utilisé comme un puissant outil de calcul des poids et de poursuite d'analyse multicritère et ce afin de produire une évaluation potentielle unique et de modéliser virtuellement un feu de forêt dans la commune de Souhane [5].

L'objectif final de cette étude est de cartographier la vulnérabilité du milieu forestier face aux risques d'incendies dans la commune de Souhane à l'aide de SIG et d'AHP.

Le calcul de l'indice de combustion des images satellitaires prises après la vague de feu de 2019 vient confirmer l'efficacité de ces outils.

2 MATERIELES ET METHODES

2.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Souhane est une commune montagnaise située à environ 47 km au Sud-Est d'Alger et à 50 km à l'Est de la wilaya de Blida, elle s'étend sur une superficie de 7142 hectares sur les topographiques centrales de la chaîne atlastique tellienne entre les latitudes Nord 35°28' /36°34', les longitudes Est 3°10'/3°18', et à 670 mètres d'altitude.

Elle comptait environ 300 habitants lors du dernier recensement de 2008 et est considérée comme l'une des communes les plus pauvres d'Algérie.

La commune de Souhane possède un climat méditerranéen, caractérisé par des pluies peu fréquentes et de courte durée ainsi que par une longue sécheresse estivale, cette période est caractérisée par les siroccos ; vents chauds excessivement secs ou à humidité relative assez faible.

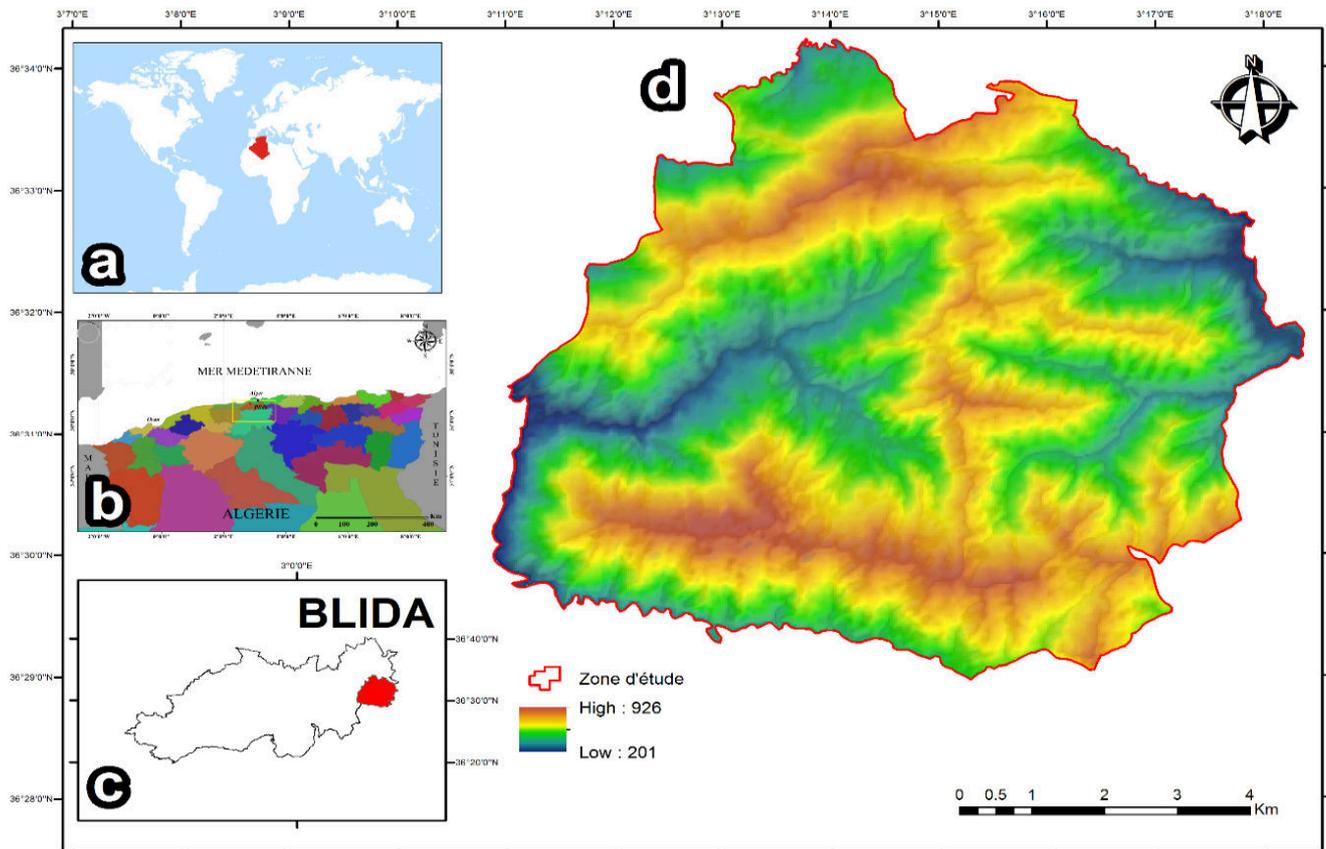


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2 DONNEES D'ENTREES

Il n'y a pas des facteurs spécifiques utilisés pour cartographier la sensibilité pour les feux de forêt, Ces facteurs changent d'une étude à l'autre en fonction de l'avis et des décisions des spécialistes.

Il existe plusieurs facteurs physiques et anthropiques liés aux incendies de forêt dans la zone d'étude. Les facteurs physiques comprennent : la pente, l'exposition des versants, l'altitude et le type de végétation. Les facteurs humains sont : la proximité des agglomérations et la proximité des routes. Les données topographiques sont l'un des principaux paramètres des incendies de forêt.

2.2.1 LA PENTE

Le feu se déplace plus rapidement sur une pente élevée et moins vite sur une pente faible. De plus, le taux de propagation du feu peut augmenter sur les fortes pentes en raison de l'inclinaison des flammes plus près de la surface du sol[6].

2.2.2 L'EXPOSITION DES VERSANTS

L'aspect est corrélé à la quantité d'énergie solaire reçue par une zone. Le sud reçoit plus de lumière solaire, des températures plus élevées, des vents forts et une faible humidité. Par conséquent, la végétation est généralement plus sèche et moins dense sur les pentes exposées au sud que celles du côté nord[7].

2.2.3 L'ALTITUDE

L'humidité et la température ont un plus grand effet sur le feu dans les zones à haute altitude que dans celles à basse altitude[8]. Elles jouent donc un rôle important dans la propagation du feu.

Dans notre étude, les informations relatives à la pente, l'altitude et l'exposition des versants ont été extraites à partir du modèle numérique de terrain (DEM) déterminé par le satellite de télédétection ASTER GDEM en utilisant un logiciel SIG.

2.2.4 LA VEGETATION

La densité et les types de végétation sont des facteurs importants dans l'évaluation des feux de forêt. Différents types de plantes ont différentes teneurs en carbone ainsi que des compositions chimiques qui réagissent de manière distincte lors d'un incendie. La végétation dense et sèche est plus vulnérable au feu[9].

2.2.5 LA PROXIMITE DES AGGLOMERATIONS

Les zones forestières et les prairies situées à proximité des zones de peuplement sont plus susceptibles de prendre feu, car les habitants peuvent provoquer des incendies au sein de la forêt de manière volontaire ou accidentelle [10].

2.2.6 LA PROXIMITE DES ROUTES

La distance et la densité du réseau routier sont des paramètres importants car les routes construites non loin des forêts et prairies ou les traversant, offrent aux gens une meilleure accessibilité à ces lieux, ce qui accroît le risque d'incendies [11].

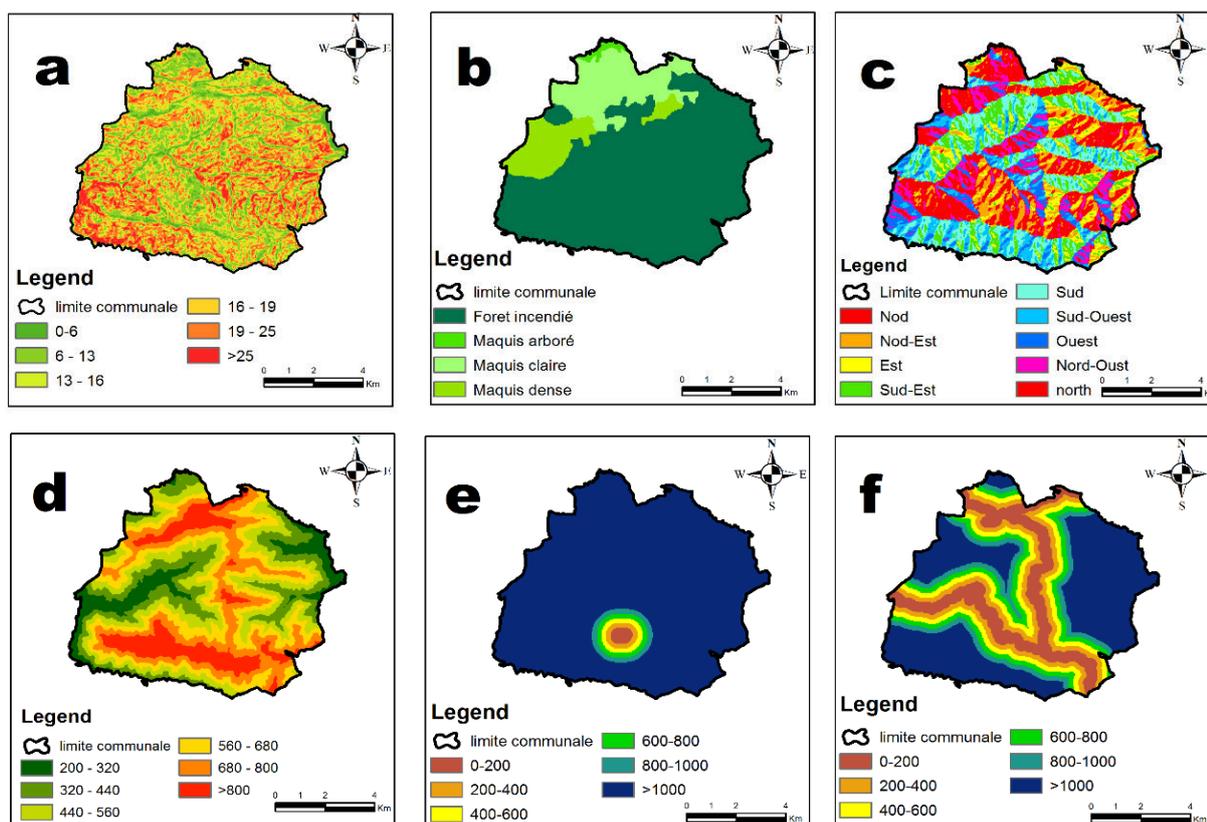


Fig. 2. Cartes de données d'entrée : a : pente ; b : type de végétation ; c : l'exposition des versants ; d : Altitude ; e : proximité des agglomérations ; f : proximité des routes.

3 METHODOLOGIE

La méthode AHP est une approche de prise de décision multicritère. Elle est basée sur des calculs complexes utilisant l'algèbre matricielle, elle a été développée par [12]. Cette méthode a été utilisée dans plusieurs domaines tels que : la planification des transports combinés, le rationnement de l'énergie, la gestion des risques, l'analyse comparative des

opérations logistiques, le risque d'inondation, la susceptibilité aux feux de forêts. La popularité de l'AHP est due à sa simplicité, sa flexibilité, sa facilité d'utilisation et d'interprétation[13].

La méthode AHP consiste à appliquer les étapes suivantes :

- 1) **Hiérarchiser le problème de la prise de décision.**
- 2) **Établir un jugement comparatif.**
- 3) **Synthétiser les propriétés et estimer la cohérence.**

Plusieurs travaux ont fait appel à la méthode AHP pour la cartographie de susceptibilité de feux de forêts, comme le travail de [14] et [15].

Dans cette étude, l'approche AHP sera utilisée pour attribuer le poids des facteurs causant les incendies. Dans le modèle AHP, pour calculer le poids de chaque facteur, une matrice de comparaison par paires devra être établie (**Tableau 2**). Pour ce faire, on compare chaque facteur à d'autres en utilisant une valeur comprise entre 1 et 9 en fonction du degré d'efficacité (**Tableau 1**).

Tableau 1. Echelle de Comparaison

Echelle	Définitions	Explications
1	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent également à l'objectif.
3	Un élément est un peu plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5	Un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre
7	Un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	Un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible

Tableau 2. Matrice de comparaison par paire des facteurs

Paramètres	L'exposition des versants	Proximité agglomération	Proximité routes	Pente	Type de Végétation	Altitude
L'exposition des versants	1	0.333	0.333	1	0.143	2
Proximité agglomération	3	1	1	2	0.2	1
Proximité routes	3	1	1	2	0.2	1
Pente	1	2	2	1	0.111	0.333
Type de végétation	7	5	5	9	1	2
Altitude	1	1	1	3	0.5	1

Après avoir calculé les poids, il convient de calculer la cohérence des jugements pour valider les priorités obtenues. Ces jugements sont confirmés en utilisant le ratio de consistance défini comme :

$$CR = \frac{CI}{IA}$$

Où :

RC : est le ratio de consistance qui varie de 0 à 0,1,

CI : est l'indice de cohérence estimé selon l'équation (2) :

$$CI = \lambda_{\max} - 1/n - 1$$

: est la valeur propre calculée à partir de la matrice de comparaison

n : le nombre de comparaison.

IA : est la moyenne de l'indice de consistance obtenu en fonction de l'ordre de la matrice donnée par Saaty.

Pour notre étude La cohérence a été calculée automatiquement par la matrice de comparaison à l'aide de logiciel SIG CR= 0.086, ce qui est admissible selon [12]. Cela montre aussi que le jugement sur les facteurs acceptable et donc est que donc des résultats plus corrects.

Pour la pondération de chaque catégorie de facteurs Nous avons créé un rang de 1 à 7 Selon le degré de susceptibilité.

Enfin, la carte susceptibilité de feu de forêts utilisant la méthode AHP a été construite à l'aide de logiciel SIG avec l'équation suivante :

$$I = \sum_{R=1}^{R=n} RN(Ci) \times P(cr) \quad (3)$$

RN(Ci) : Rang normalisé de chaque classe, P (cr) : Pondération de chaque paramètre calculé selon AHP.

Tableau 3. Rang normalisé de chaque classe et la pondération des paramètres calculée selon AHP

Paramètre	Classe	Rang	Rang normalisé	Pondération AHP
Pente (%)	0-6	1	0.03	0.055
	6-13	2	0.07	
	13-16	4	0.14	
	16-19	5	0.17	
	19-25	6	0.21	
	>25	7	0.24	
Végétation	Forêt incendiée	7	0.30	0.475
	Maquis arboré	4	0.17	
	Maquis claire	4	0.17	
	Maquis dense	6	0.26	
L'exposition des versants	Nord		0.04	0.083
	East	3	0.11	
	Sud-Est	5	0.18	
	Sud	7	0.25	
	Sud-Ouest	6	0.21	
	Ouest	2	0.07	
	Nord-Ouest	2	0.07	
Altitude (m)	200-320	1	0.29	0.127
	320-440	2	0.25	
	440-560	2	0.17	
	560-680	4	0.08	
	680-800	6	0.08	
	>800	7	0.04	
Proximité aux agglomérations (m)	0-200	7	0.28	0.128
	200-400	6	0.24	
	400-600	5	0.20	
	600-800	3	0.12	
	800-1000	2	0.08	
	>1000	1	0.04	
Proximité aux routes (m)	0-200	7	0.28	0.128
	200-400	6	0.24	
	400-600	5	0.20	
	600-800	3	0.12	
	800-1000	2	0.08	
	>1000	1	0.04	

4 RESULTAT ET DISCUSSION

Le résultat de cette étude est une carte des zones sensibles au risque de feux de forêt dans la commune de Souhane, cette carte est créée par l'introduction des facteurs associés aux incendies de forêt par la méthode AHP. Le poids des critères a été calculé, en multipliant chaque pixel du facteur raster par son poids relatif, et ce afin de créer une carte de chaque critère via le logiciel SIG, la superposition de ces cartes nous donne une nouvelle carte, reclassée pour obtenir une carte de susceptibilité en cinq zones (nul, faible, moyen, fort et très forte) **fig03**.

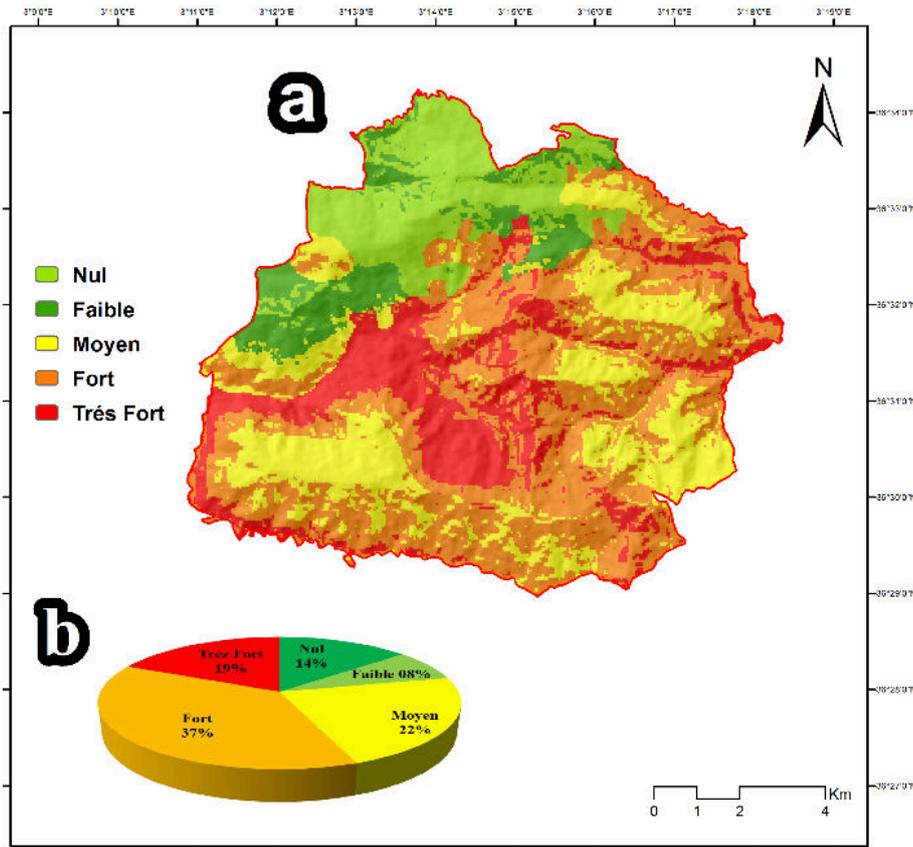


Fig. 3. Carte zonage de susceptibilité en feux de forêts

Le degré de susceptibilité, le pourcentage et la superficie de chaque zone sont indiqués dans le tableau 4. Dans la zone d'étude, 17% de la superficie de la commune se situe dans la zone de susceptibilité dite « Très Forte », 34% dans la zone de susceptibilité «Fort », 25% de la superficie dans une zone à susceptibilité «moyenne» et 22% dans une zone à susceptibilité allant de «faible» à «Nul».

Tableau 4. Pourcentage et superficie des zones à risque d'incendie

Degré de susceptibilité	Pourcentage %	Superficie km ²
Nul	14	9.86
Faible	08	5.38
Moyen	25	15.96
Fort	34	27.10
Très Fort	17	12.77
Total	100	71.07

5 VALIDATION

La dernière étape importante consiste à valider les résultats et ce avec deux manières différentes, la première est la superposition des points représentant l'historique des incendies de l'année 2019 à partir des enregistrements de la protection civile sur la carte de susceptibilité (**fig04**). Nous notons que les incendies se sont produits dans les zones de susceptibilité Forte et Très forte.

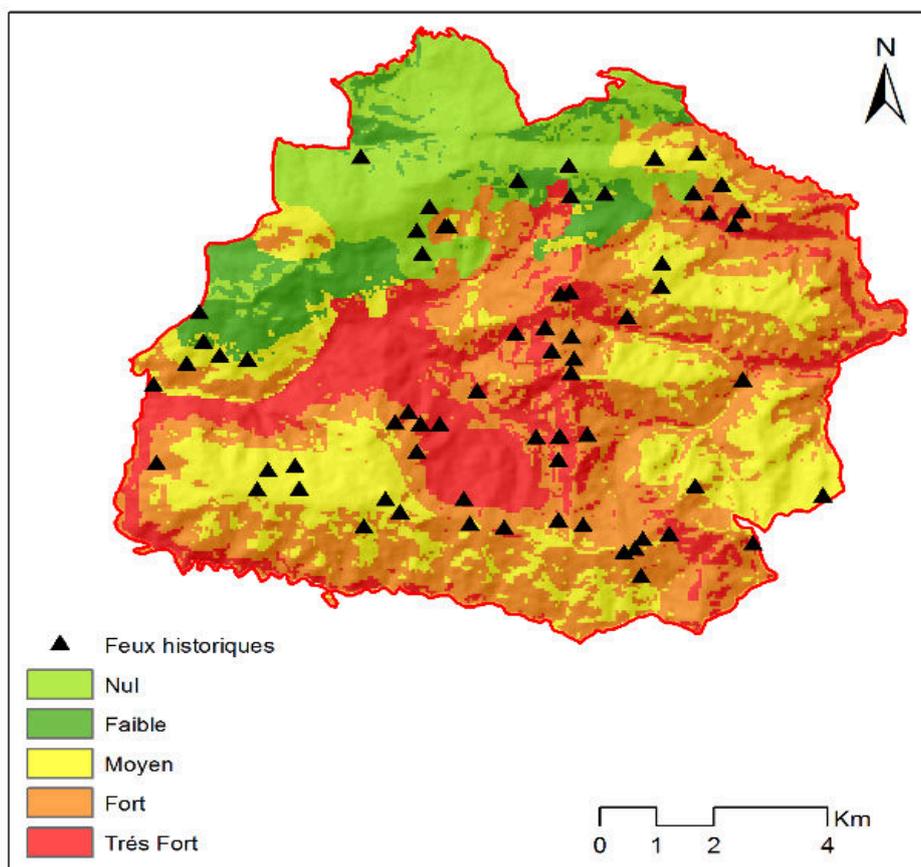


Fig. 4. Carte validation avec des feux historiques

La seconde méthode de validation consiste en la comparaison entre la carte de susceptibilité et la carte de l'indice de combustibilité (NBR) réalisée à l'aide d'une image satellitaire du satellite LANDSAT_8 prise le 26-08-2019. L'indice de combustion (NBR) est un paramètre important lors de la modélisation de l'impact des incendies de forêt sur l'écosystème et le système climatique[16], et il est défini comme suite:[17]

$$NBR = \frac{BANDE\ 5 - BANDE\ 7}{BANDE\ 5 + BANDE\ 7}$$

Où :

- Bande 05 : Onde proche infrarouge
- Bande 07 : Onde courte infrarouge

L'intégration de cette équation dans le software SIG produit une carte d'indice de combustibilité **fig04**.

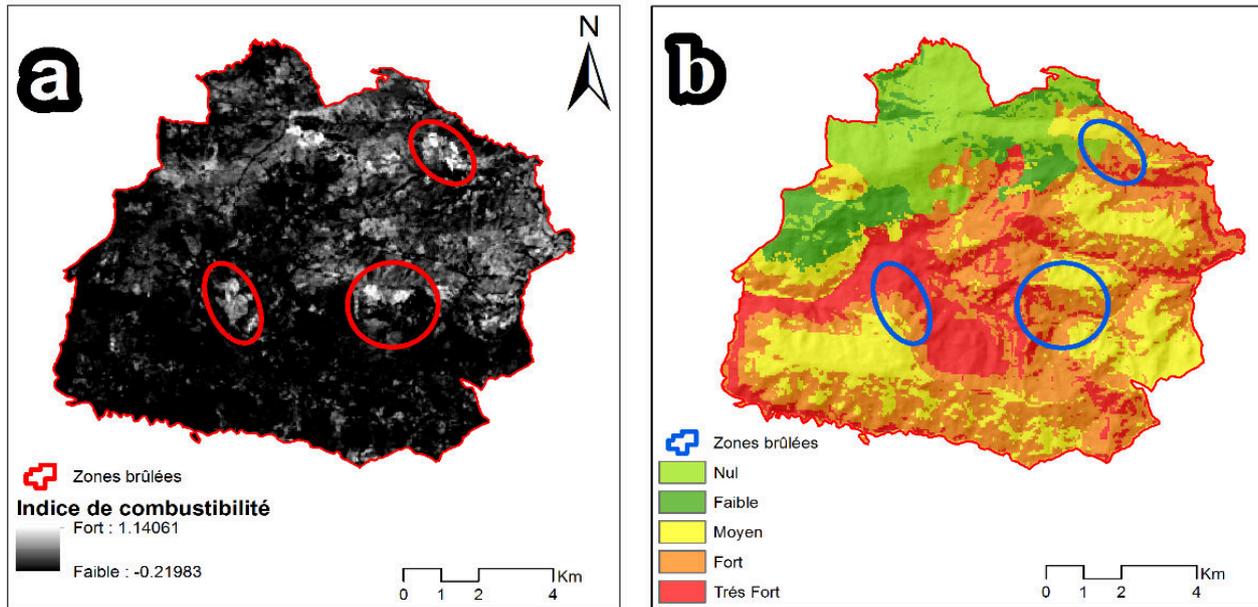


Fig. 5. Carte de validation avec l'indice NBR

La comparaison entre les deux cartes prouve que les zones brûlées sont situées dans les zones à Forte et Très forte susceptibilité.

6 CONCLUSION

Dans cette étude, la méthode AHP et SIG ont été combinés afin de réaliser une cartographie de la susceptibilité aux feux de forêt dans la commune de Souhane, la carte finale a été classée en cinq zones de susceptibilité, nulle, faible, moyenne, forte et très forte. Nous avons constaté que 51% de la superficie communale de Souhane est située dans des zones à susceptibilité dite forte ou très forte. L'historique des incendies et la télédétection ont été utilisés comme outil de validation. Cela prouvant l'efficacité et la fiabilité de la méthodologie utilisée.

L'étude a prouvé que l'AHP et le SIG sont utiles pour la réalisation d'une carte de susceptibilité aux feux de forêts. Il a également été démontré que l'approche d'analyse multicritères était réalisable pour une gestion idéale des feux de forêts. Un inconvénient de cette méthode reste le choix des critères qui demeure lié aux décisions des experts. Par conséquent, il n'y a pas de facteurs spécifiques pour obtenir une carte de susceptibilité. Cette recherche peut cependant être utile à la prise de décision de la part des autorités locales en ce qui concerne l'utilisation des terres et la planification notamment dans les zones de haut ou très haut risque, Cette étude peut également être utilisée par les services de protection civile pour une intervention rapide et efficace en cas des incendier futur.

REFERENCES

- [1] W. Chen, K. Moriya, T. Sakai, L. Koyama, et C. X. Cao, "Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 2, no. 1, pp. 384-402, 2016.
- [2] D. K. Bernard et al., "PREVENTION AGAINST VEGETATION FIRE IN WEST AFRICA, CAS DISTRICT ZANZAN, NORTHEAST OF THE IVORY COAST: THE PHENOMENON AND ANALYSIS OF THRESHOLD FAVOURABLE CLIMATE," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 20, no. 2, pp. 500–516, 2017.
- [3] A. M. T. Arfa, M. E. H. Benderradji, T. Saint-Gérard, et D. Alatou, "Cartographie du risque feu de forêt dans le Nord-est algérien : cas de la wilaya d'El Tarf," *Cybergeog : European Journal of Geography*, 2019.
- [4] A. C. Axel, "Burned Area Mapping of an Escaped Fire into Tropical Dry Forest in Western Madagascar Using Multi-Season Landsat OLI Data," *Remote Sensing*, vol. 10, no. 3, pp. 371, 2018.
- [5] N. Nuthammachot et D. Stratoulis, "A GIS- and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand," *Geocarto International*, vol. 0, no. 0, pp. 1–14, 2019.
- [6] H. Adab, K. D. Kanniah, et K. Solaimani, "Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques," *NATURAL HAZARDS -DORDRECHT- KLUWER ACADEMIC-*, vol. 65, no. 3, pp. 1723–1743, 2013.

- [7] V. K. Prasad, K. V. S. Badarinath, et A. Eaturu, "Biophysical and anthropogenic controls of forest fires in the Deccan Plateau, India," *J. Environ. Manage.*, vol. 86, no. 1, pp. 1–13, 2008.
- [8] P. A. Hernandez-Leal, M. Arbelo, et A. Gonzalez-Calvo, "Fire risk assessment using satellite data," *Advances in Space Research*, vol. 37, no. 4, pp. 741–746, 2006.
- [9] N. Kayet, A. Chakrabarty, K. Pathak, S. Sahoo, T. Dutta, et B. K. Hatai, "Comparative analysis of multi-criteria probabilistic FR and AHP models for forest fire risk (FFR) mapping in Melghat Tiger Reserve (MTR) forest," *J. For. Res.*, 2018.
- [10] R. S. Ajin, A.-M. Loghin, P. G. Vinod, "Forest Fire Risk Zone Mapping Using RS and GIS Techniques: A Study in Achankovil Forest Division, Kerala, India," *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 109, 2016.
- [11] X. Dong, D. Li-min, S. Guo-fan, T. Lei, et W. Hui, "Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China," *Journal of Forestry Research*, vol. 16, no. 3, pp. 169–174, 2005.
- [12] T. L. Saaty, *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York; London: McGraw-Hill International Book Co., 1980.
- [13] A. Yalcin et F. Bulut, "Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey)," *Nat Hazards*, vol. 41, no. 1, pp. 201–226, 2007.
- [14] D. Stipaničev, T. Vuko, et L. Bodrožić, "Location Determination of Automatic Forest Fire Monitoring Stations based on AHP and GIS data," *Proc. of TIEMS (The International Emergency Management Society) 2007 Int.Conference*, 2007.
- [15] S. B. Rasooli, A. E. Bonyad, et M. Pir Bavaghar, "Forest fire vulnerability map using remote sensing data, GIS and AHP analysis (Case study: Zarivar Lake surrounding area)," *Caspian Journal of Environmental Sciences*, vol. 16, no. 4, pp. 369–377, 2018.
- [16] X. Cao, J. Chen, B. Matsushita, H. Imura, et L. Wang, "An automatic method for burn scar mapping using support vector machines," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 30, no. 3, pp. 577–594, 2009.
- [17] T. A. Warner, N. S. Skowronski, et M. R. Gallagher, "High spatial resolution burn severity mapping of the New Jersey Pine Barrens with WorldView-3 near-infrared and shortwave infrared imagery," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 38, no. 2, pp. 598–616, 2017.