

Répartition des incendies de forêts en fonction des facteurs physiques et biophysiques dans la Région du Rif (Maroc)

par Hicham MHARZI ALAOUI, Fouad ASSALI, Mohamed ROUCHDI, Said LAHSSINI et Driss TAHIRI

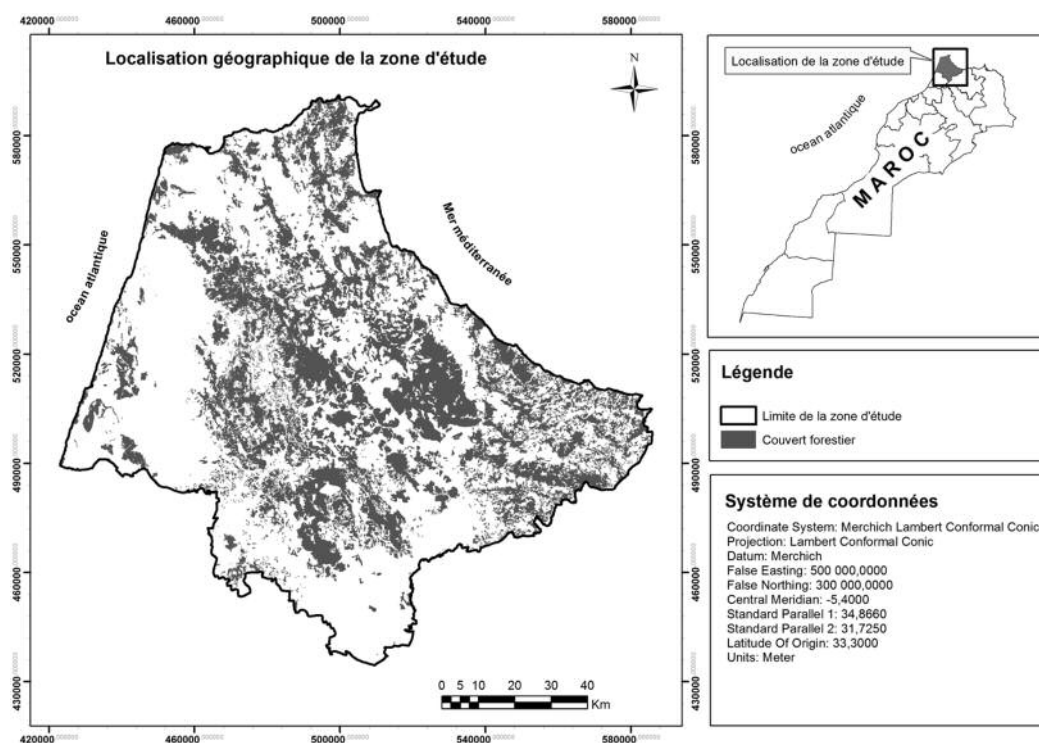
La mise en œuvre d'actions de prévention et de lutte contre les feux de forêt nécessite une compréhension fine de l'occurrence et de la propagation des incendies. Dans cet article très documenté, les auteurs analysent l'influence de différents facteurs : bioclimat, continentalité, pente, altitude... sur la répartition des incendies dans la région du Rif au Maroc. Les résultats, quelquefois inattendus, donneront des informations utiles aux praticiens pour la mise en œuvre de plans d'aménagement cohérents.

Introduction

Un des défis actuels, sans doute le plus important, concerne les changements climatiques que connaissent les pays du bassin méditerranéen. Ils se traduisent, en premier lieu, par une augmentation des températures et des fréquences des phénomènes extrêmes, comme par exemple les vagues de chaleur (IPCC, 2014). Ceci pourrait impacter très négativement les écosystèmes forestiers rendus très vulnérables aux incendies de forêts, d'autant plus que le risque lié à ce phénomène est particulièrement élevé sur tout le pourtour du bassin méditerranéen (JAPPIOT, 1999). Le Maroc n'échappe pas à ce fléau, avec 3000 ha de forêts qui partent annuellement en fumée (HCEFLCD, 2014) ; cette situation se trouve aggravée par les difficultés de régénération et de restauration des espaces, marqués par leur vulnérabilité naturelle.

L'augmentation de la fréquence des périodes de sécheresse, telle qu'elle s'est produite lors des étés 2003, 2004 et 2006 au nord du Maroc (HCEFLCD, 2010), a conduit à de graves incendies qui ont rendu caduques tous les efforts d'aménagement des forêts. Les variations du climat et ses conséquences prévisibles menacent la viabilité des écosystèmes et compromettent la validité des pratiques habituelles des plans d'aménagement. Jusqu'à présent, ces plans d'aménagement s'intéressaient principalement à la production de bois et à la régénération forestière, en omettant en grande partie l'aspect relatif aux incendies de forêt (CHERKI & GMIRA, 2012). La mise en place d'actions visant la résorption des conditions de déclenchement et de propagation des

Fig. 1 :
Situation géographique
de la zone d'étude.



incendies nécessite une compréhension fine du régime des feux et du phénomène incendie de forêt.

La région du Rif au nord du Maroc se trouve principalement confrontée à ce fléau. Elle concentre presque 60 à 80% des départs de feu enregistrés à l'échelle du pays (HCEFLCD, 2012). La fréquence et l'importance des superficies parcourues par le feu dans cette région varient fortement d'une année à l'autre et dépendent de nombreux facteurs, entre autres : le type de végétation, la topographie, les conditions climatiques et aussi la pression humaine (ALEXANDRIAN & ROUCHDI, 2006).

Au vu de ces éléments, la présente étude vise à expliquer la répartition spatiale des incendies survenus dans la région du Rif, entre 1997 et 2011, en fonction des facteurs physique et biophysique pour déceler les

éventuelles interactions possibles entre ceux-ci et les incendies.

Zone d'étude et problématique des incendies

La région du Rif présente des caractères climatiques et édaphiques favorables au développement de la biomasse végétale. La couverture forestière y est très riche et représente 35% de la superficie totale de la région (HCEFLCD, 2010). Cette couverture diversifiée est dominée par le chêne-liège et les formations de matorral, suivis de loin par le chêne vert, les pins, les eucalyptus, le chêne zeen, le thuya, etc. La forêt naturelle représente 84,47% contre 15,53% couverts par les reboisements. Le tableau I illustre la répartition des essences forestières dans la région du Rif (BENABID 2007).

Bien que cette région soit classée, à l'échelle nationale, au premier rang du point de vue de la richesse floristique, elle l'est aussi du point de vue de la superficie détruite par les feux de forêts. En 2007, 62 % de la superficie totale brûlée dans tout le royaume l'ont été dans cette région (HCEFLCD, 2007) et 75 % en 2008. La superficie moyenne annuelle incendiée durant les quinze dernières années est de 1 639 ha, avec une moyenne de 140 départs de feu par an (HCEFLCD, 2012).

Tab. I :
Répartition des essences
forestières
dans la région du Rif.

Espèces	Superficie (ha)	%
Cèdre	4005	1,00
Sapin	3000	0,75
Pin maritime	8200	2,04
Thuya	8460	2,11
Chêne-liège	114670	28,60
Chêne zeen et tauzin	8520	2,13
Chêne vert	24200	6,03
Essences secondaires	163524	40,78
Reboisement résineux	49124	13,04
Reboisement feuillus	14462	3,55

Année	Nombre d'incendie	Superficie totale incendiée	Sup. des mois 6, 7, 8 et 9	% des mois 6, 7, 8 et 9	Sup. des mois 7 et 8	% des mois 7 et 8	Sup. des mois 8 et 9	% des mois 8 et 9
1997	76	298,90	245,18	82,03	85,55	34,89	162,14	54,25
1998	77	290,19	249,62	86,02	125,33	50,21	232,69	80,19
1999	153	4 927,89	4 865,86	98,74	779,23	16,01	4 713,10	95,64
2000	88	793,57	769,19	96,93	737,80	95,92	246,58	31,07
2001	132	699,36	667,04	95,38	602,52	90,33	528,48	75,57
2002	81	195,71	169,52	86,62	142,50	84,06	156,93	80,18
2003	121	1 007,68	1 000,33	99,27	881,21	88,09	921,58	91,46
2004	187	4 283,10	4 077,08	95,19	3 825,84	93,84	3 917,91	91,47
2005	303	3 962,63	3 693,14	93,20	2 196,89	59,49	2 154,01	54,36
2006	127	3 604,07	3 481,70	96,60	434,77	12,49	3 353,27	93,04
2007	155	850,10	433,43	50,99	365,77	84,39	255,57	30,06
2008	108	838,94	796,91	94,99	350,11	43,93	731,45	87,19
2009	199	1 079,08	1 028,64	95,33	996,46	96,87	452,73	41,96
2010	144	111,04	106,48	95,89	79,59	74,75	68,93	62,07
2011	179	204,03	151,13	74,07	67,01	44,34	112,31	55,05
Total	2 130	23 146,29	21 735,24	93,90	11 670,5	53,69	18 007,69	77,80
Moyenne	142	1 543,09	1 449,02	93,90	778,04	53,69	1 200,51	77,80

Tab. II :
Répartition des incendies par année, par mois et groupe de mois.
6 : juin
7 : juillet
8 : août
9 : septembre

Analyse de données

Le travail consiste à comprendre l'évolution temporelle des incendies ainsi que leur répartition spatiale en relation avec des facteurs agissant sur l'occurrence et la propagation des feux.

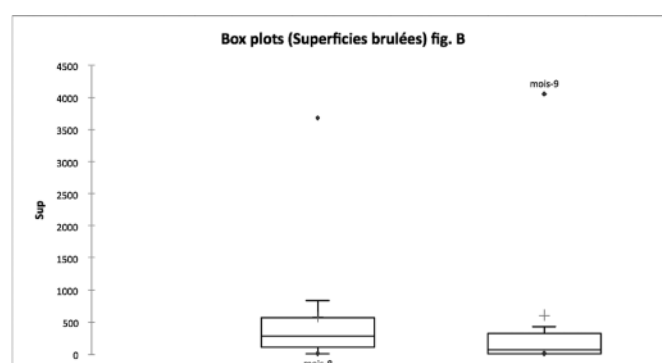
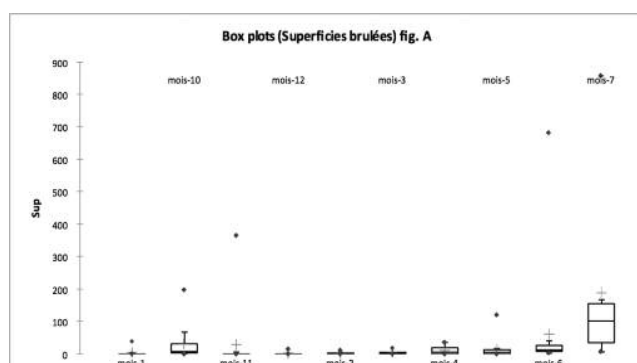
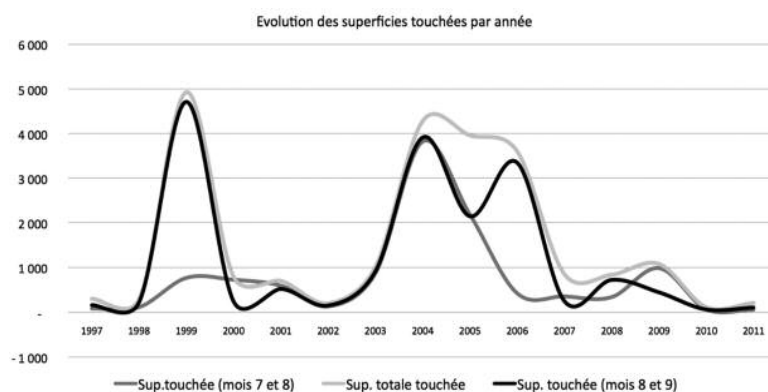
Répartition annuelle et mensuelle des incendies

Au Maroc, les incendies s'étalent sur une période de cinq mois, depuis mai jusqu'à fin septembre (HCEFLCD, 2012). D'après le tableau II et la figure 2, les surfaces brûlées durant les mois d'août et de septembre représentent presque 78% de la variabilité interannuelle, contre 53% de cette variabilité pour les superficies touchées pendant les mois de juillet et d'août.

La variabilité pour les mois d'août et de septembre (Cf. Fig. 3-B) est plus que le triple de celle du mois de juillet (Fig. 3-A). Ce qui montre que les incendies déclarés durant ces deux mois peuvent impacter négativement toute la campagne annuelle des incendies.

Fig. 2 (ci-dessous) :
Evolution des superficies (totale, des mois 7 et 8, des mois 8 et 9) touchées par année.

Fig. 3 (en bas) :
Diagramme en boîte (Box & Whiskers) des superficies touchées par mois durant la période 1997-2011.



Ceci nous amène à choisir août et septembre comme mois de référence pour classer les années en fonction des superficies touchées (Cf. Fig. 4 et 5).

Selon cette classification, il a été identifié la présence de cinq années sévères (1999, 2004, 2006, 2005, 2003), quatre années à sévérité moyenne (2008, 2001, 2009, 2007) et six années à faible sévérité (2000, 1998, 1997, 2002, 2011 et 2010).

Pour comprendre la particularité des années sévères, on sait qu'en plus de l'énergie d'activation et de mise à feu, il existe d'autres facteurs agissant sur l'occurrence et la propagation des incendies à savoir : le climat, la topographie et la végétation (ALEXANDRIAN, 2007).

Dans le présent article, l'analyse s'est concentrée sur l'étude de l'effet du bioclimat, de la continentalité, de l'altitude et de la pente sur l'occurrence d'incendies dans chaque groupe d'années.

Bioclimat

L'effet des facteurs climatiques est capital sur la végétation. En effet, le climat fournit des conditions indispensables à l'évolution des végétaux tout comme la lumière, l'eau et le dioxyde de carbone (BENABID, 2000). De nombreux indices bioclimatiques ont été proposés par des géographes (LANG, DE MARTONNE) et par des botanistes (GAUSSEN, EMBERGER) pour caractériser le climat. La plupart de ces indices bioclimatiques combinent les deux facteurs indispensables aux activités végétatives à savoir : les précipitations et les températures (MICHALLET, 1996).

Dans le cas du Maroc, le botaniste Emberger propose une définition des types bioclimatiques fondée sur la combinaison graphique du degré d'aridité du climat (évalué annuellement en utilisant le quotient pluviothermique Q2) et la rigueur hivernale (la moyenne des minimas du mois le plus froid : T_{min}).

Selon la classification d'Emberger (Q2 et T_{min}), le Maroc compte six grands étages bioclimatiques allant du per-humide, humide, sub-humide, semi-aride, aride jusqu'au saharien, avec des variantes relatives à la température minimale du milieu, soit un total de 27 étages bioclimatiques.

La carte des étages bioclimatiques utilisé dans la présente étude est celle qui a été réalisée par SAUVAGE (1963) et publiée dans l'*Atlas du Maroc* en 1977 (Cf. Fig. 6).

Pour comprendre la répartition des points d'éclosions enregistrés durant les mois d'août et septembre selon les différents types bioclimatiques, une jointure spatiale a été créée à l'aide du système d'information géographique (ArcSIG), en vue d'attribuer à chaque incendie le type de bioclimat dans lequel il s'est déclaré (Cf. Fig. 7). Par la suite, la pression annuelle de mise à feu par type de bioclimat (PAMF bioclimat) a été calculée selon la formule suivante :

PAMF bioclimat =

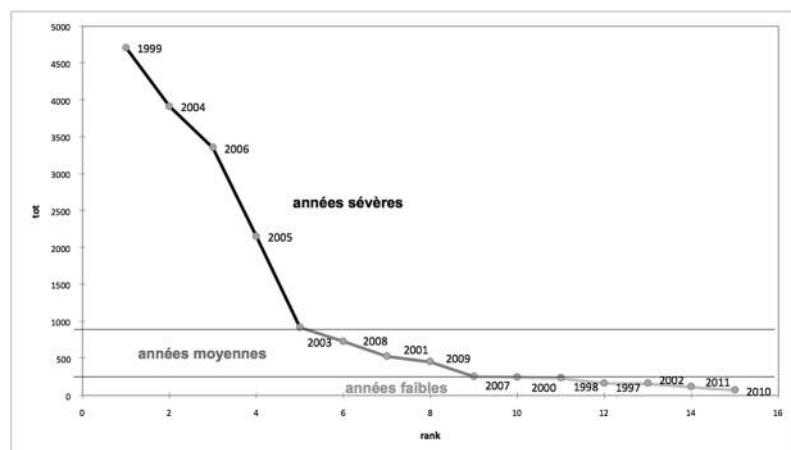
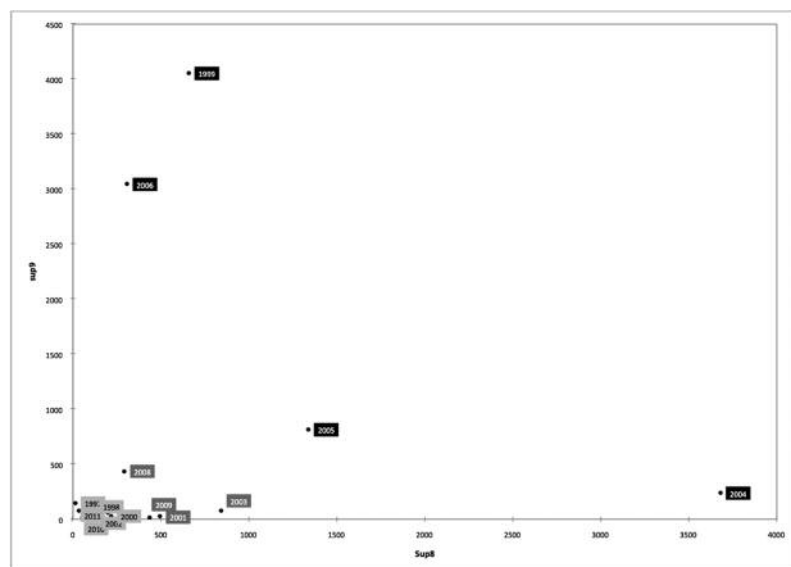
$$\frac{\% \text{ nombre d'incendies déclarés dans chaque type de bioclimat}}{\% \text{ superficie boisée par type de bioclimat}}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau III et la figure 8.

Pour étudier le degré de dépendance des incendies selon aussi bien la sévérité de l'année que les types de bioclimat, une analyse de variance ANOVA déséquilibrée (car il y a différents nombres d'années dans chaque

Fig. 4 (ci-dessous) :
Répartition des années en fonction des superficies brûlées durant les mois d'août et septembre.

Fig. 5 (en bas) :
Classement des années en fonction des superficies brûlées durant les mois d'août et septembre.



groupe) à deux facteurs (sévérité de l'année et le type de bioclimat) a été utilisée, les résultats sont résumés dans les tableaux IV et V.

Le tableau IV montre que presque 57% de la variabilité ($R^2 = 0,574$) est expliquée par les types de bioclimat, la sévérité de l'année et leur interaction. Le reste de la variabilité est explicable par des effets qui n'ont pas été identifiés au cours de la présente étude.

Le test du F de Fisher est utilisé dans le tableau de l'ANOVA (Cf. Tab. V). Etant donné que la probabilité associée au F est de 0,0001, cela signifie que l'on prend un risque de 0,01% en concluant que les variables explicatives (bioclimat et sévérité de l'année) apportent une quantité d'information significative au modèle pour expliquer la pression de mise à feu des mois d'août et de septembre. Nous pouvons donc conclure que les deux variables (type de bioclimat et sévérité de l'année) et leur interaction apportent une information significative pour expliquer la distribution du nombre d'incendie.

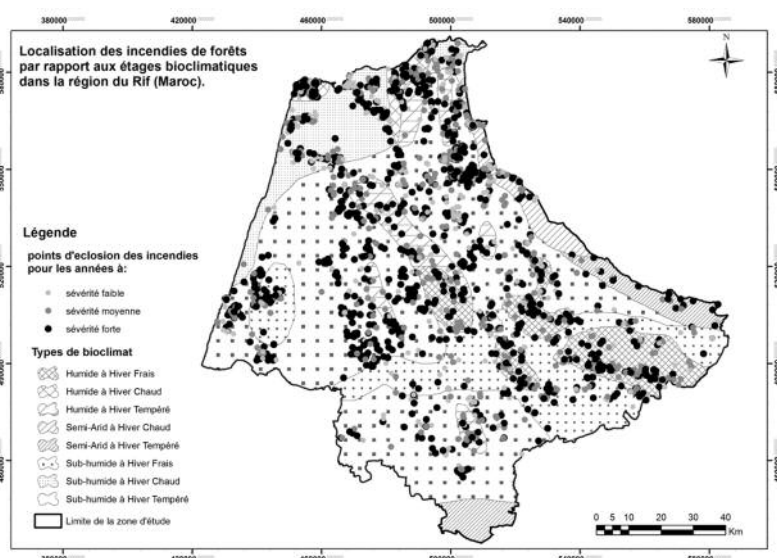
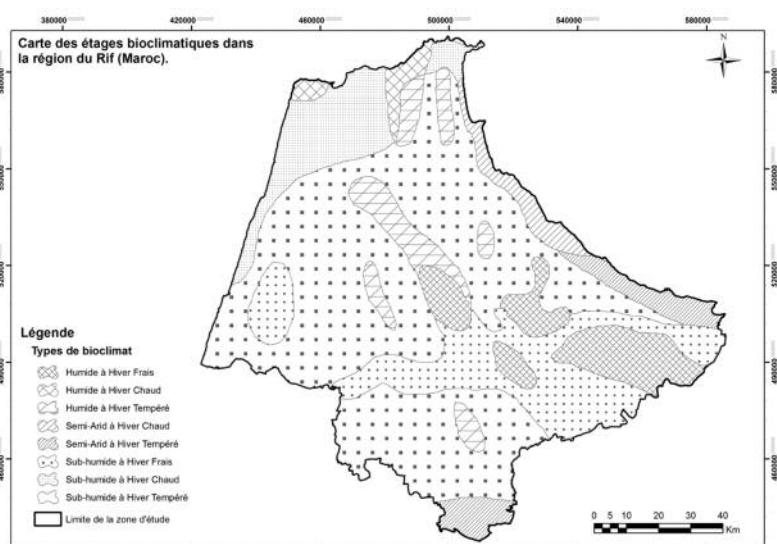


Fig. 6 (en haut) :
Carte des étages bioclimatiques dans la région du Rif.

Fig. 7 (ci-contre) :
Localisation spatiale des incendies enregistrés
durant les mois d'août et septembre
par rapport aux types de bioclimat.

Tab. III (ci-dessous) :
Distribution des incendies par type de bioclimat
et par groupe d'années.

Bioclimat *	Nombre d'incendies			Nombre total	Sup. boisée	PAMF			PAMF moyenne
	G1	G2	G3			G1	G2	G3	
H à H Frais (11)	41	16	76	133	68 697	0,96	0,37	0,99	0,82
H à HC (12)	24	1	96	121	7 344	5,28	0,22	11,64	6,96
H à HT (13)	28	26	27	81	37 768	1,20	1,10	0,64	0,91
SA à HC (31)	2		37	39	7 966	0,41	-	4,14	2,07
SA à HT (32)			8	8	16 281	-	-	0,44	0,21
SH à H Frais (21)	33	19	48	100	65 991	0,81	0,46	0,65	0,64
SH à HC (22)		8	99	107	26 043	-	0,49	3,39	1,74
SH à HT (23)	140	201	95	436	202 791	1,12	1,58	0,42	0,91
Total	268	271	486	1025	432 885	1,00	1,00	1,00	1,00

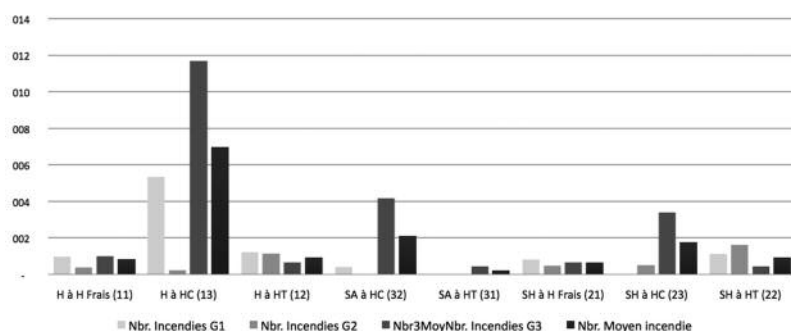
*11 Humide à hiver frais, 12 Humide à hiver chaud, 13 Humide à hiver tempéré, 31 Semi-Aride à hiver chaud, 32 Semi-aride à hiver tempéré, 21 Subhumide à hiver frais, 22 Subhumide à hiver chaud, 23 Subhumide à hiver tempéré

G1 : groupe d'années à faible sévérité d'incendies (2000, 1998, 1997, 2002, 2011 et 2010)

G2 : groupe d'années à sévérité moyenne d'incendies (2008, 2001, 2009 et 2007)

G3 : groupe d'années à sévérité forte d'incendies (1999, 2003, 2004, 2005 et 2006).

PAMF : Pression annuelle de mise à feux par type de bioclimat.



11 Humide à hiver frais, 12 Humide à hiver chaud, 13 Humide à hiver tempéré, 31 Semi-Aride à hiver chaud, 32 Semi-aride à hiver tempéré, 21 Subhumide à hiver frais, 22 Subhumide à hiver chaud, 23 Subhumide à hiver tempéré

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	23	1184,799	51,513	6,084	0,0001
Erreur	104	880,501	8,466		
Total corrigé	127	2065,300			
Bioclimat	7	1090,622	155,803	18,403	0,0001
Sévérité	2	8,687	4,344	0,513	0,600
bioclimat*Sévérité	14	15,572	1,112	0,131	1,000

Fig. 8 (ci-dessus) :
Répartition du nombre d'incendies rapporté à la superficie boisée par type de bioclimat et selon la sévérité de l'année.

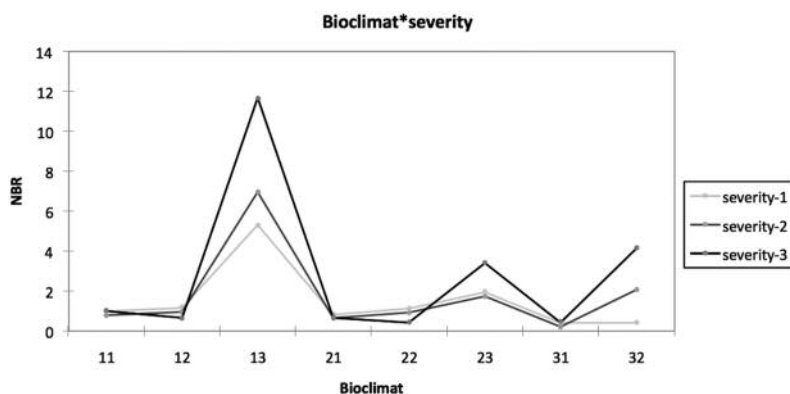
Tab. IV (ci-contre) et V (ci-dessus) :
Tableau ANOVA 2 (Bioclimat x Sévérité).
DDL : degré de liberté
R² : coefficient de détermination ;
MCE : moyenne des carrés des erreurs.

Fig. 9 (ci-dessous) :
Répartition du nombre d'incendies par type de bioclimat.

Coefficients d'ajustement :

Observations	128,000
Somme des poids	128,000
DDL	104,000
R ²	0,574
R ² ajusté	0,479
MCE	8,466

La figure 9 montre que le nombre d'incendies est plus important dans la variante chaude des types de bioclimat humide, subhumide et semi-aride, ceci est particulièrement remarquable pour les années sévères. Cette variante bioclimatique est caractérisée par une production abondante de la biomasse pendant l'hiver, principalement la strate herbacée et arbustive qui participent



grandement au processus de déclenchement et de propagation des incendies. Ce qui montre que la disponibilité du combustible est un facteur prépondérant pour avoir des années sévères en termes de superficies incendiées.

Continentalité

Plusieurs études ont montré que l'humidité de l'air exerce une influence considérable sur l'inflammation et ensuite le développement des feux (TRABAUD, 1989). En effet, grâce aux échanges permanents entre l'air et le combustible, plus l'humidité de l'air est élevée, plus la teneur en eau du combustible est élevée et, par conséquent, il faudra plus d'énergie pour que ce dernier s'enflamme.

Le gradient de continentalité affecte considérablement l'humidité relative de l'air. En effet, plus on s'éloigne de l'océan plus l'humidité diminue, ce qui conduit à une augmentation de l'évapotranspiration et rend la végétation et le milieu plus secs et plus vulnérables au feu.

Pour étudier cet aspect, il a été procédé, à l'aide du logiciel ArcSIG, au calcul de la distance euclidienne de part et d'autres de la zone côtière (océan atlantique et mer Méditerranée). Par la suite, et comme pour le bioclimat, la PAMF a été calculée dans chaque 10 km de distance. La carte (Cf. Fig. 10) illustre la répartition des points d'éclosion des incendies en fonction du gradient de continentalité.

Les résultats de cette analyse sont repris dans le tableau VI.

L'utilisation de l'ANOVA 2, pour la détermination du degré de liaison entre la continentalité et le nombre de points d'éclosion selon les classes de sévérité, a donné les résultats résumés dans le tableau VII et la figure 11.

D'après le tableau de l'ANOVA 2 (Cf. Tab. VII), la continentalité n'a pas d'influence sur la sévérité de l'année puisque le test F de Fisher est de l'ordre de 13%, cela veut dire que les incendies pendant les années sévères ont le même comportement vis-à-vis de la continentalité. Aussi, et a contrario des résultats attendus quant à l'augmentation du nombre d'incendies en fonction de l'éloignement de la mer ou de l'océan, le graphique (Cf. Fig. 11) montre qu'il y a une nette diminution du nombre d'éclosion, ceci pourrait être attribué aux effets combinés des influences marines de part et d'autre de la zone d'étude.

Classe de distance	Nombre d'incendies			Nombre total	Sup. boisée (ha)	PAMF continentalité			PAMF continentalité moyenne
	G1	G2	G3			G1	G2	G3	
20	53	39	80	172	76465	1,09	1,05	0,84	0,95
30	45	42	115	202	80348	0,88	1,08	1,15	1,06
40	25	16	76	117	72742	0,54	0,45	0,84	0,68
50	14	20	63	97	48272	0,45	0,85	1,05	0,85
60	10	5	19	34	38445	0,41	0,27	0,40	0,37
70	4	5	10	19	23365	0,27	0,44	0,34	0,34
80	5	1	7	13	10520	0,74	0,20	0,53	0,52
Total	276	210	539	1025	432428	1,00	1,00	1,00	1,00

G1 : groupe d'années à faible sévérité d'incendies (2000, 1998, 1997, 2002, 2011 et 2010)

G2 : groupe d'années à sévérité moyenne d'incendies (2008, 2001, 2009 et 2007)

G3 : groupe d'années à sévérité forte d'incendies (1999, 2003, 2004, 2005 et 2006).

PAMF : Pression annuelle de mise à feu

Tab. VI (ci-dessus) :

Distribution des incendies par classe de distance à la mer et par sévérité de l'année.

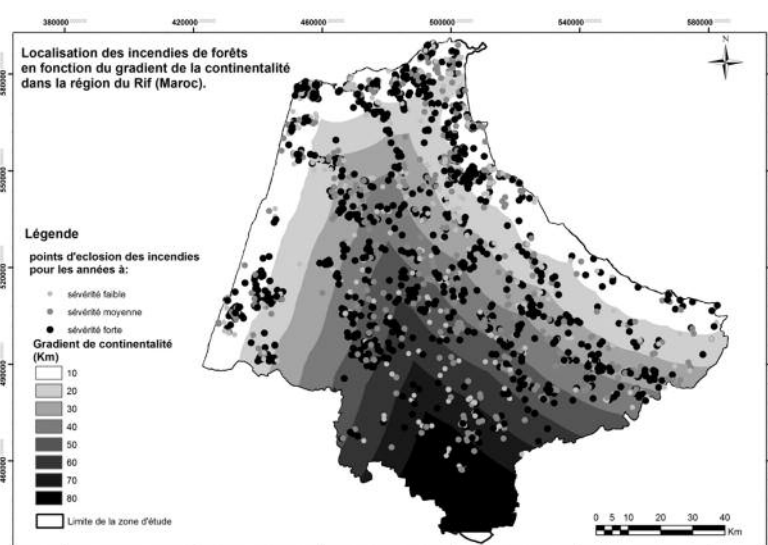
Altitude

A partir du modèle numérique de terrain (MNT) d'une résolution de 30 m, la carte d'altitude a été dérivée en utilisant le logiciel ArcGIS. Ensuite, l'utilisation de la fonction « *Extract Values to Points* » d'ArcGIS a été d'une grande utilité pour attribuer à chaque incendie la valeur d'altitude lui correspondant.

Les résultats de l'évaluation de la présence de différences significatives entre les classes de sévérité et la pente sont présentés dans le Tab. VIII.

Le test F de Fisher (Cf. Tab. IX) est de l'ordre de 2%, ce qui signifie que, l'altitude et la sévérité de l'année apportent une quantité d'information suffisante, pour expliquer le nombre d'incendies déclarés durant les mois d'août et septembre.

En revanche, la différence entre les groupes années n'est significative que pour les altitudes dépassant 2000 m, où l'on constate un pic du nombre d'incendies durant les années sévères. Ceci laisse dire



Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	22	6,849	0,311	32,034	0,139
Erreur	1	0,010	0,010		
Total corrigé	23	6,859			

Ci-contre et de haut en bas,

Fig. 10 :

Localisation spatiale des incendies par classe de continentalité.

Tab.VII :

Tableau ANOVA 2 (continentalité x sévérité).

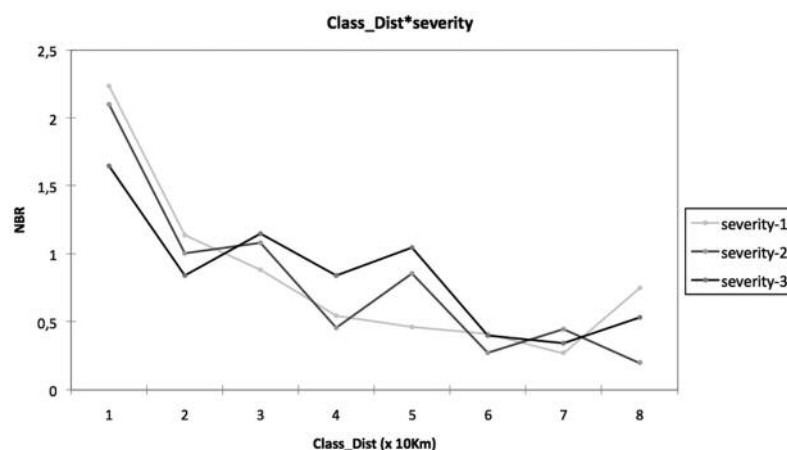
DDL : degré de liberté

R² : coefficient de détermination ;

MCE : moyenne des carrés des erreurs

Fig. 11 :

Répartition du nombre d'incendies par classe de distance à la mer.



Classe d'altitude (m)	Nombre d'incendies			Nombre total	Sup. boisée (ha)	PAMF altitude		
	G1	G2	G3			G1	G2	G3
200	111	74	159	344	82 550	2,11	1,85	1,55
400	80	57	150	287	106 712	1,18	1,10	1,13
600	23	25	81	129	81 538	0,44	0,63	0,80
800	16	12	44	72	49 198	0,51	0,50	0,72
1000	16	11	26	53	30 113	0,83	0,75	0,69
1200	11	11	18	40	28 553	0,60	0,79	0,51
1400	11	13	35	59	27 288	0,63	0,98	1,03
1600	4	6	15	25	17 446	0,36	0,71	0,69
1800	3	1	8	12	8 051	0,58	0,26	0,80
2000	1		2	3	1 312	1,20	0,00	1,22
2200			1	1	161	0,00	0,00	4,97
Total	276	210	539	1025	432 927	1,00	1,00	1,00

G1 : groupe d'années à faible sévérité d'incendies (2000, 1998, 1997, 2002, 2011 et 2010)

G2 : groupe d'années à sévérité moyenne d'incendies (2008, 2001, 2009 et 2007)

G3 : groupe d'années à sévérité forte d'incendies (1999, 2003, 2004, 2005 et 2006).

PAMF : Pression annuelle de mise à feu

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	31	24,071	0,776	1258,329	0,022
Erreur	1	0,001	0,001		
Total corrigé	32	24,072			

Tab. VIII (en haut) :
Distribution des incendies par classe d'altitude et par groupe d'années.

Tab. IX (ci-dessus) :
Tableau ANOVA 2 (Altitude x Sévérité).
DDL : degré de liberté
R² : coefficient de détermination ;
MCE : moyenne des carrés des erreurs

que, durant ces années, la végétation des hautes altitudes devient plus vulnérable aux incendies, éventuellement à cause de l'augmentation des températures et de périodes de sécheresse plus longues.

Pente

La pente exerce une influence considérable sur la vitesse de propagation du feu. Plus la pente est grande, plus le rayonnement utile à la propagation du feu est important (TRABAUD, 1989).

Ainsi, pour les années sévères, où de grandes superficies incendiées ont été enregistrées, on s'attend à avoir une sélectivité à des pentes plus ou moins fortes par rapport aux autres années.

La carte des pentes a été dérivée à partir du modèle numérique de terrain (MNT), par la suite, le degré de la pente a été attribué à chaque départ de feu en utilisant la fonction « *Extract Values to Points* » d'ArcGIS.

Les résultats de l'analyse sont présentés dans le tableau X.

A partir du tableau de l'ANOVA, le test F de Fisher est de l'ordre de 67%, cela signifie que la pente et la sévérité de l'année n'apportent qu'une faible information au modèle pour expliquer la distribution des incendies. Donc aucune influence de la pente sur l'occurrence des incendies ne peut être observée.

Conclusion

La présente étude qui se penche sur le diagnostic et l'analyse spatio-temporelle des incendies survenus dans la région du Rif, a montré que presque 78% de la totalité des superficies touchées annuellement sont concentrées seulement pendant les mois d'août et de septembre. Ceci dénote que les feux déclarés durant ces deux mois peuvent impacter négativement toute la campagne

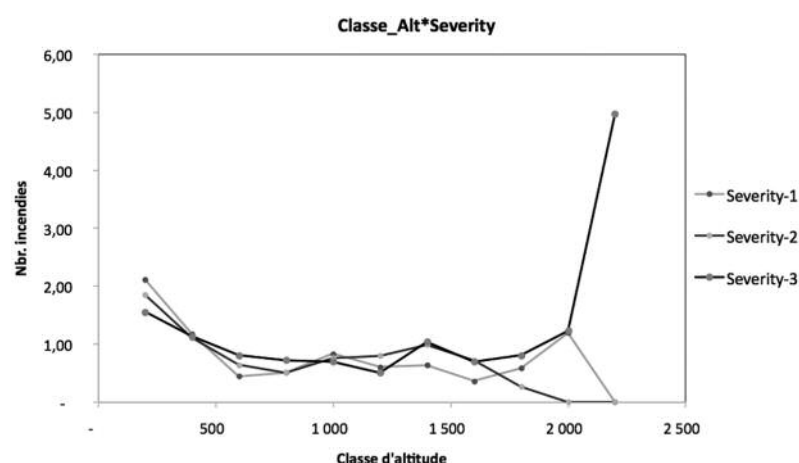


Fig. 12 (ci-contre) :
Répartition du nombre d'incendies par classe d'altitude.

Classe de pente	Pente en %	Nombre d'incendies			Nombre total	Sup. boisée (ha)	PAMF pente			PAMF pente moyenne
		G1	G2	G3			G1	G2	G3	
1	5	32	15	52	99	39915	1,26	0,77	1,05	1,05
2	10	54	33	91	178	94612	0,90	0,72	0,77	0,79
3	15	63	51	131	245	97691	1,01	1,08	1,08	1,06
4	20	46	45	106	197	78661	0,92	1,18	1,08	1,06
5	25	31	29	70	130	55257	0,88	1,08	1,02	0,99
6	75	50	37	89	176	66789	1,17	1,14	1,07	1,11
Total		276	210	539	1025	432927	1,00	1,00	1,00	1,00

des incendies durant l'année. Des efforts de prévention et de lutte doivent donc être maintenus à leur niveau maximal même lors des phases finales de la campagne.

L'utilisation d'une ANOVA déséquilibrée à deux facteurs, sur la distribution des incendies enregistrés durant ces deux mois, a permis de constater que, durant les années sévères, les incendies se caractérisent par une sélectivité vis-à-vis de la variante chaude des types de bioclimat humide, sub-humide et semi-aride, lesquels sont caractérisés par une production abondante de la biomasse pendant l'hiver. Ceci laisse dire que la disponibilité du combustible est un facteur prépondérant, aussi bien pour la propagation que pour l'occurrence des incendies.

En outre, l'étude révèle qu'il y a une nette diminution de l'occurrence des incendies plus on s'éloigne des zones côtières, ceci pourrait être attribué aux effets combinés des influences marines de part et d'autre de la zone d'étude.

Par ailleurs, on ne peut pas se passer du constat important de l'effet remarquable de l'altitude sur l'occurrence des incendies des années sévères. En effet, l'étude révèle que la différence entre la sévérité de l'année n'est significative que pour les altitudes dépassant 2000 m, où le nombre d'incendies durant les années sévères présente un pic, ce qui laisse dire que, durant ces années, il y a une conjugaison d'un certain nombre de facteurs comme l'augmentation des températures et de périodes de sécheresse plus longues qui rendent plus vulnérable la végétation des hautes altitudes.

En revanche, les effets de la pente et de la continentalité conjugués avec la sévérité de l'année sur l'occurrence des incendies, ne sont pas significatifs, puisque toutes les classes de pente et de continentalité sont touchées avec le même degré.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	16	0,370	0,023	0,985	0,671
Erreur	1	0,023	0,023		
Total corrigé	17	0,394			

En définitive, afin d'affiner la particularité des années ayant connu un grand nombre d'incendies et de superficies touchées durant les mois d'août et de septembre, il est important d'étudier les conditions régnant avant et pendant ces deux mois en terme de climat et d'état du combustible.

Tab. X (en haut) :

Distribution des incendies par classe de pente et par groupe d'années.

Tab. XI (ci-dessus) :

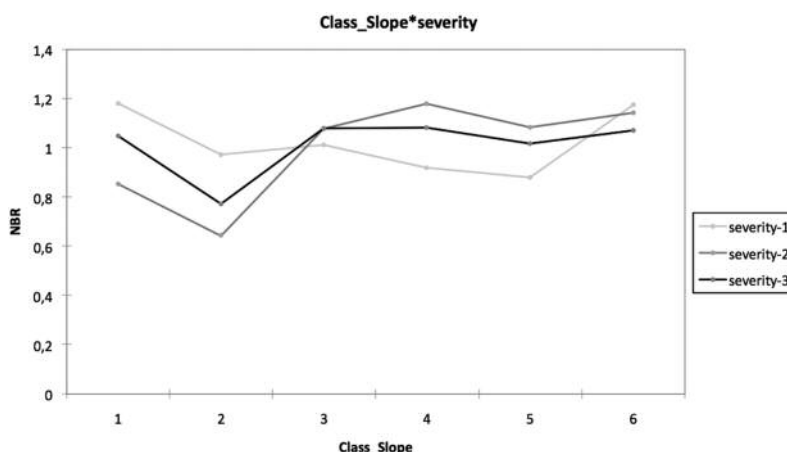
Tableau ANOVA 2 (pente X sévérité).

Références bibliographiques

- Alexandrian D., Rouchdi M., 2006, Cartographie du risque d'incendies de forêts au Maroc. Rapport Mission-FAO, UTF/MOR/028. 46p.
- Benabid A., 1986, Grands écosystèmes naturels marocains, équilibre de fonctionnement, perturbation, préservation et restauration : 117-190 in *Grande Encyclopédie du Maroc*, Vol. Flore et Végétation, Rabat.
- Benabid A., 2000, *Flore et écosystème du Maroc* :

Fig. 13 (ci-dessous) :

Répartition du nombre d'incendies par classe de pente.



Hicham MHARZI
ALAOUI
Fouad ASSALI
Mohamed ROUCHDI
Driss TAHIRI
Institut agronomique
et vétérinaire
Hassan II
Rabat
MAROC

Said LAHSSINI
Ecole Nationale
Forestière
d'Ingénieurs, Salé,
MAROC

Mél : hicham.
mharzialaoui@
gmail.com

- évaluation et préservation de la biodiversité*. Ibis Press, Paris, 357 p.
- Benabid A., 2007, Description de la composition et de la structure des types de combustibles, « Appui à la mise en œuvre du programme forestier national - Élaboration des cartes de risques aux incendies de forêts du Nord du Maroc », 14p.
- Cherki K. et Gmira N. 2012, Répartition spatiale des incendies dans la forêt de la Mâamora (Maroc) en fonction des facteurs humains et physiques, *Forêt méditerranéenne* t. XXXIII, n° 1, mars 2012, p 19-30.
- Francour P. 2007, Cours de biostatistiques appliquées : analyse de variance à un ou plusieurs facteurs. Université de Nice-Sophia Antipolis, Nice, France. 42p.
- Giorgi F. et Lionello P. 2008, Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change*, Volume 63, Issues 2–3, September 2008, p 90-104.
- HCEFLCD, 2010 : Rapport interne sur la monographie de la région du Rif. Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte contre la Désertification du Rif, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Tétouan, Maroc.
- HCEFLCD, 2012, Rapports annuels des incendies de forêts et bases de données du Service de la protection des forêts, bilans internes, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Rabat-Chellah, Maroc, 2011.
- HCEFLCD, 2014, Rapports annuels des incendies de forêts et bases de données du Service de la Protection des Forêts, Bilans internes, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Rabat-Chellah, Maroc, 2013.
- IPCC, 2014, *Climate change 2014: Synthesis report*
- Jappiot M., 2000 : *Cartographie du risque d'incendie de forêt : besoins, méthodes et données. Essai de normalisation*.
- Michallet R., 1996, a new bioclimatic synthesis of mediterranean environments application to northern morocco, *Rev. Ecol. Alp.*, Grenoble, tome I, p. 60-80.
- Sauvage Ch., 1963 : Le coefficient pluvio-thermique d'Emberger, son utilisation et la représentation géographique de ses variations au Maroc. *Ann. Ser.*
- Trabaud L., 1989 : *Les feux de forêts, Mécanismes, comportement et environnement*, France Sélection, Aubervillier, 278 p.

Résumé

L'évolution actuelle du régime des incendies de forêts pose de nouveaux défis quant aux pratiques habituelles des plans d'aménagement et stratégies de gestion de ce fléau. La mise en œuvre d'actions de prévention et de lutte nécessite une compréhension fine de l'occurrence et de propagation des feux. Le présent travail vise en une analyse spatio-temporelle des feux de forêt en fonction des facteurs physiques et biophysiques dans la région du Rif au Maroc, considérée comme une des régions les plus touchées par ce fléau à l'échelle nationale. Les incendies survenus dans cette région, entre 1997 et 2011, ont été analysés et classés en trois groupes de sévérité selon l'ampleur des superficies touchées. Cette analyse a montré que presque 80% des superficies incendiées ont été enregistrées durant les mois d'août et septembre. Par la suite, l'utilisation d'une analyse de variance déséquilibrée à deux facteurs a permis de montrer la présence d'une différence significative entre la sévérité de l'année et les types de bioclimat, notamment pour les bioclimats à hiver chaud caractérisés par une production abondante de biomasse. Aussi, l'étude révèle que pendant les années sévères, la végétation des hautes altitudes devient plus vulnérable aux feux, particulièrement pour les altitudes dépassant 2000 m, en revanche, l'effet de la pente et de la continentalité n'est pas significatif et ne présente aucune influence sur l'occurrence des feux.

Summary

Distribution of wildfire as a function of physical and biophysical factors in the Rif region (Morocco)

The current evolution of forest fire regimes has created new challenges for the usual management plans, practices and strategies to deal with this scourge. Implementation of prevention and control action requires a detailed understanding of the fires' occurrence and spread. This work aims at an analysis both in space and time of forest fires in the light of physical and biophysical factors in the Rif region, considered as one of the most highly-affected regions across Morocco. The fires that occurred in this region between 1997 and 2011 were analyzed and classified into three groups according to the severity scale in the affected areas. This analysis shows that almost 80% of the area burned was recorded in just the two months of August and September. Subsequently, the application of unbalanced two-factor ANOVA has revealed the presence of a significant difference between the severity of the year and the bio-climatic types, especially for bioclimates with a warm winter in which the development of biomass is very abundant. In addition, the study found that during the severe years, vegetation at high altitude becomes more vulnerable to fires, especially above 2000 m. In contrast, slope steepness and a continental climate influence are not significant, with no observable influence on wildfire occurrence has been observed.