

Analyse de l'interaction entre l'éclosion des feux de forêts et les types de bioclimat au Nord du Maroc - cas de la région du Rif occidental -

H. MHARZI ALAOU¹, F. ASSALI¹, M. ROUCHDI¹, S. LAHSSINI², D. TAHIRI¹

(Reçu le 09/12/2015; Accepté le 20/12/2015)

Résumé

Le Maroc, en tant que pays à climat aride et semi-aride vulnérable au changement climatique, présente de nombreux enjeux quant à l'avenir des ressources forestières et principalement leur vulnérabilité aux incendies de forêts. Ceci est d'autant plus important que les forêts marocaines sont extrêmement inflammables, notamment en été quand la teneur en eau des végétaux, du sol et de l'air est très faible. Ceci est particulièrement remarquable dans la région du Rif où se concentre presque 65% du phénomène des incendies à l'échelle du pays. Pour répondre à cette situation inédite, la mise en place des dispositifs de prévention contre les incendies de forêts nécessitent une analyse appropriée du phénomène de feux de forêts et sa réponse face au changement du climat et de l'état de la végétation. C'est dans cette optique que le présent travail vise une analyse spatio-temporelle des incendies en fonction des étages bio-climatiques vu leur caractère intégrateur des relations végétation-climat. Pour ce faire, les incendies survenus dans la région du Rif entre 1997-2011 ont été analysés et classés selon l'ampleur des superficies touchées durant la période des incendies. Cette analyse a montré que presque 80% des superficies incendiées durant toute l'année ont été enregistrées seulement durant les mois de Août et Septembre. Par la suite, l'utilisation d'une ANOVA à deux facteurs a mis en exergue une différence significative de la distribution spatiale des incendies selon les types de bio-climat, principalement pour la variante chaude des types bio-climatiques où le développement de la biomasse de combustible est très important.

Mots clés: Région du Rif, Bio-climat, Incendie de forêts, ANOVA, Changement climatique.

Abstract

Morocco, as a country with arid and semi-arid climate is vulnerable to climate change and presents many challenges for the future of the forest resources, mainly their vulnerability to forest fires. In addition, Moroccan forests are extremely flammable, especially in summer when the water content of plants, soil and the air become very low. This is especially noticeable in the Rif region (North of Morocco) where almost 65% of the phenomenon of wildfires across the country are concentrated. To deal with this new situation, the development of a prevention plan against forest fires requires an appropriate analysis of forest fire phenomenon and its response to the climate and vegetation changes. The present study has the goal to establish a spatio-temporal analysis of fires based on bioclimatic types because of the inclusive relationship between vegetation and climate. The fires that occurred in the rif region between 1997-2011 were analyzed and classified according to the affected area during the fire episode. The analysis has shown that almost 80% of the burnt area during the year were recorded only during August and September. Thereafter, using a two-factor ANOVA showed a significant difference of the fires spatial distribution according to the bioclimatic types, mainly for the warm variant of bioclimatic type where the development of the biomass is very important.

INTRODUCTION

Un des défis actuels, sans doute le plus important, concerne les changements climatiques que connaissent les pays du bassin méditerranéen et qui se traduisent, en premier lieu, par des tendances haussières 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 qui deviennent 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/an de forêts qui partent en fumée, cette situation se trouve aggravée par les difficultés de régénération et de restauration des espaces, marqués par leur vulnérabilité naturelle.

L'adoption de stratégies intégrant l'adaptation aux changements climatiques et la gestion des risques liés aux incendies de forêts devient une nécessité qui se fait pressante par son urgence. Le Maroc a développé des efforts louables en matière de prévention, d'analyse de

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc

² École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Maroc

risques, d'intervention et de réhabilitation des espaces touchés (Cherki et Gmira, 2012) pour endiguer les menaces et diminuer les impacts néfastes de ce fléau.

La région du Rif se trouve principalement confrontée à ce fléau. Elle concentre presque 60 à 80% des départs de feu enregistrés à l'échelle du pays (HCEFLCD, 2011). La fréquence et l'importance des superficies parcourues par le feu dans la région du Rif varient fortement d'une année à l'autre et dépendent de nombreux facteurs, entre autres le type de végétation, sa disponibilité, les conditions climatiques et aussi des facteurs humains (Alexandrian et Rouchdi, 2006).

La présente étude vise à analyser l'interaction entre les types bio-climatiques et les points d'éclosion des incendies survenus dans cette région, entre 1997 et 2011, en fonction des types bio-climatiques, vu leurs caractères intégrateurs des relations végétation-climat (Michallet, 1996) afin de déceler les éventuelles interactions entre celles-ci, les points d'éclosion et l'ampleur des incendies.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone de l'étude et problématique des incendies

La région du Rif présente des caractères climatiques et édaphiques favorables à la prolifération de la biomasse végétale. Par conséquent, la couverture forestière y est très riche et représente 35% de la superficie totale de la région. 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 zen, le thuya etc... La forêt naturelle représente 84,47% contre 15,5% couvert par les reboisements. Le tableau 1 illustre la répartition des essences forestières dans la région forestière (Benabid, 2007):

Tableau 1: 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

Bien que la région du Rif est classée au premier rang à l'échelle nationale du point de vue richesse floristique (Benabid, 1985b), elle l'est aussi du point de vue superficie détruite par le feu de forêts. En effet, 62 % de la superficie totale brûlée de tout le royaume a été enregistrée dans cette région en 2007 (HCEFLCD, 2007) et 75 % en 2008. La superficie moyenne annuelle incendiée durant les quinze dernières années est de l'ordre de 1543 ha, avec une moyenne de 140 départs d'incendies par an (HCEFLCD, 2012).

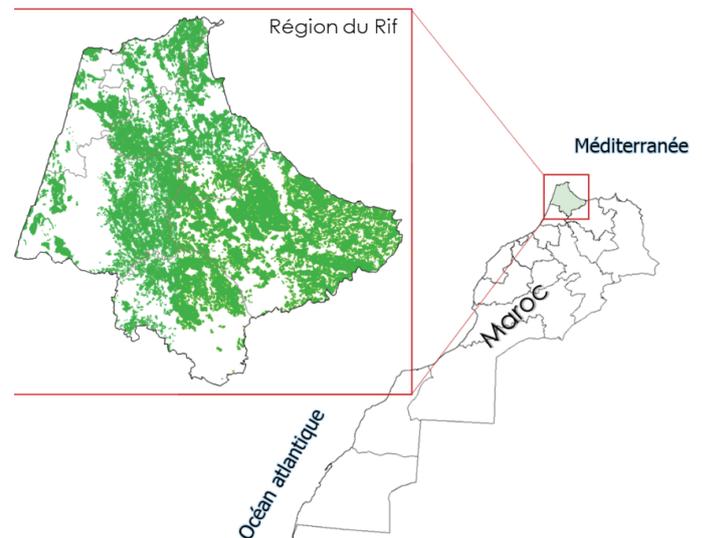


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude

Méthodologie de Travail

La méthodologie de travail adoptée et illustrée dans la figure 2 comporte trois phases:

1- Analyse des données statistiques des incendies de point de vue fréquence et ampleur durant la période 1997-2011

Cette étape consiste en une analyse descriptive visant à déceler les périodes (mois et années) dites de références durant lesquelles de grandes superficies touchées ont été enregistrées dans la zone d'étude. Une étude similaire a été réalisée au Portugal et qui a permis de déceler que les mois de Juillet et Août sont les mois de référence (DaCamara, 2011).

2- Analyse de la répartition spatiale des incendies en fonction des types bio-climatiques

Cette étape consiste à attribuer pour chaque incendie, à l'aide du SIG, le type de bioclimat dans lequel il s'est développé. Par la suite, on calcule la pression annuelle de mise à feu (PAMF) par type de bio-climat après avoir calculé la superficie boisée par bio-climat.

$$PAMF = \frac{\% \text{Nombre incendie déclaré dans chaque type de bioclimat}}{\% \text{Superficie boisée de chaque type de bioclimat}}$$

3- Caractérisation des périodes de références en rapport avec les caractéristiques de types de bioclimat

Cette étape a pour objectif d'analyser les spécificités de chaque période en fonction de l'importance des incendies de forêts, ceci afin d'étudier les particularités des années sévères de point de vue types bio-climatiques.

Une ANOVA déséquilibrée à deux facteurs est recommandée pour ce genre d'analyse (Francour, 2007).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ce travail consiste à comprendre, dans un premier temps, l'évolution des incendies au fil des années ainsi que leur répartition spatio-temporelle en relation avec les types bio-climatiques.

Répartition mensuelle des incendies

La période des incendies au Maroc s'étale sur une période de cinq mois, depuis le mois de Mai jusqu'au fin Septembre (HCEFLCD, 2012). Cependant, selon le tableau 2 et la figure 3, on remarque que les surfaces brûlées durant les mois Août (mois 8) et Septembre (mois 9) représentent

presque 80% de la variabilité inter-annuelle, contre 53 % de cette variabilité pour les superficies touchées pendant les mois de Juillet (mois 7) et Août.

Les années dont le pourcentage des superficies touchées durant les mois 7 et 8 a dépassé celui des mois 8 et 9 sont des années en général ayant connu de très faibles superficies incendiées durant toute l'année (132 ha en 2001, 111 ha en 2010, 850 ha en 2007).

La variabilité pour les mois d'Août et Septembre (Figure 4 B) est plus que celle du mois de Juillet. Ceci montre que les incendies déclarés durant ces deux mois peuvent impacter négativement toute la campagne des incendies durant toute une année.

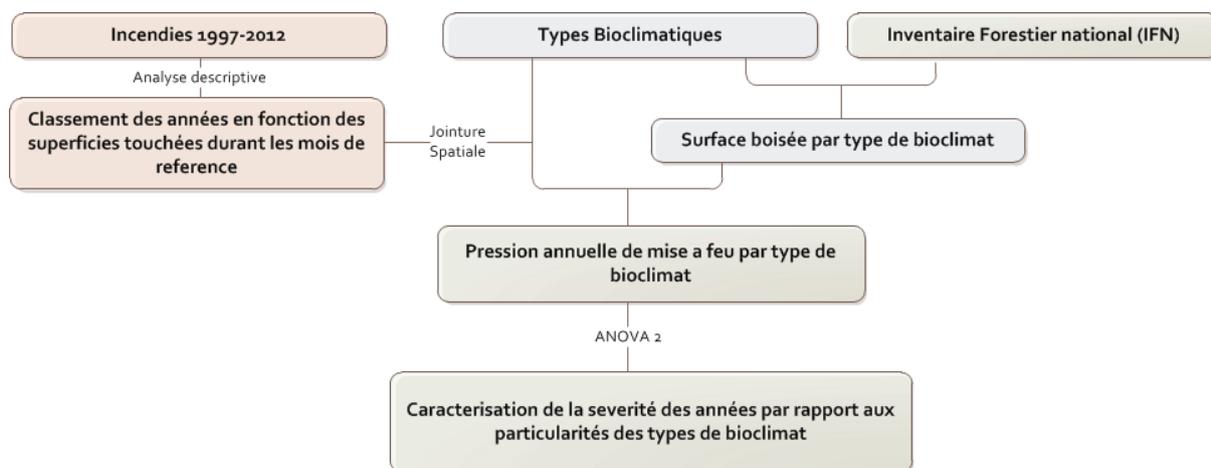


Figure 2: différentes étapes de la méthodologie

Tableau 2: Répartition des superficies incendiées (en hectares) par année, par mois et groupe de mois

Année	Nbr. d'incendie	Sup. totale incendiée	Sup. des mois 6,7,8 et 9	% des mois 6,7,8 et 9	Sup. touchée (mois 8 et 7)	% des mois 7 et 8	Sup. touchée (mois 8 et 9)	% des mois 8 et 9
1997	76	299	245	82,0	85	34,9	162	54,2
1998	77	2902	250	86,0	125	50,2	233	80,2
1999	153	4 928	4 866	98,7	779	16,0	4 713	95,6
2000	88	794	769	96,9	738	95,9	247	31,1
2001	132	6994	667	95,4	602	90,3	528	75,6
2002	81	196	169	86,6	142	84,1	157	80,2
2003	121	1 008	1 000	99,3	881	88,1	922	91,5
2004	187	4 2831	4 077	95,2	3 826	93,8	3 918	91,5
2005	303	3 963	3 693	93,2	2 197	59,5	2 154	54,4
2006	127	3 604	3 482	96,6	435	12,5	3 353	93,0
2007	155	850	433	51,0	366	84,4	256	30,1
2008	108	839	797	95,0	3501	43,9	731	87,2
2009	199	1 079	1 029	95,3	996	96,9	453	42,0
2010	144	111	106	95,9	80	74,7	69	62,1
2011	179	204	151	74,1	67	44,3	112	55,0
Total	2 130	23 146	21 735	93,9	11 670	53,7	18 008	77,8
Moyenne	142	1 543	1 449	93,9	778	53,7	1 200	77,8

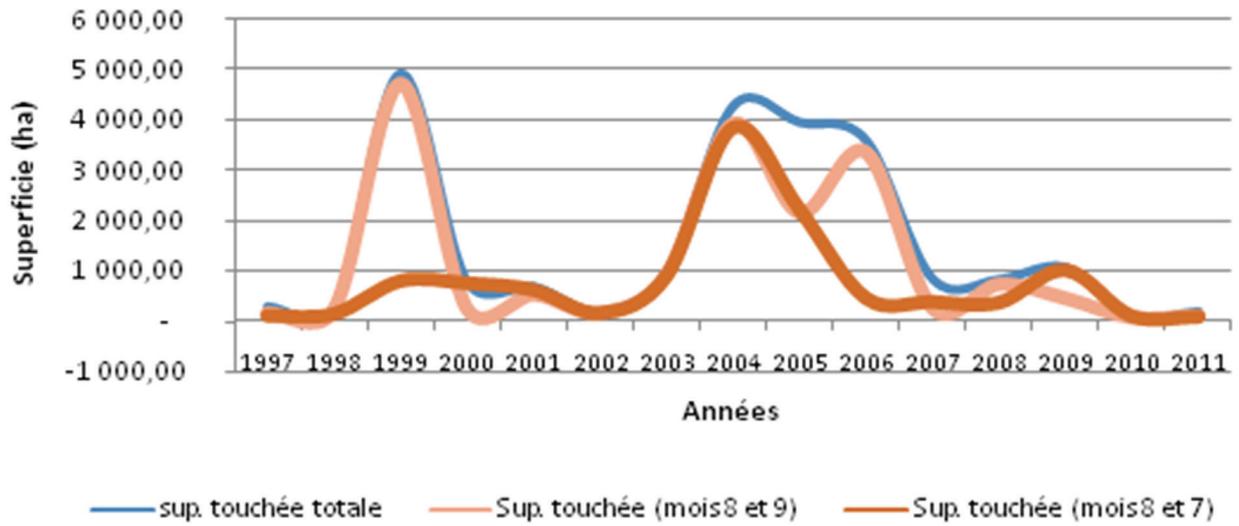


Figure 3: Évolution des superficies (totale, des mois 7 et 8, des mois 8 et 9) touchées par année

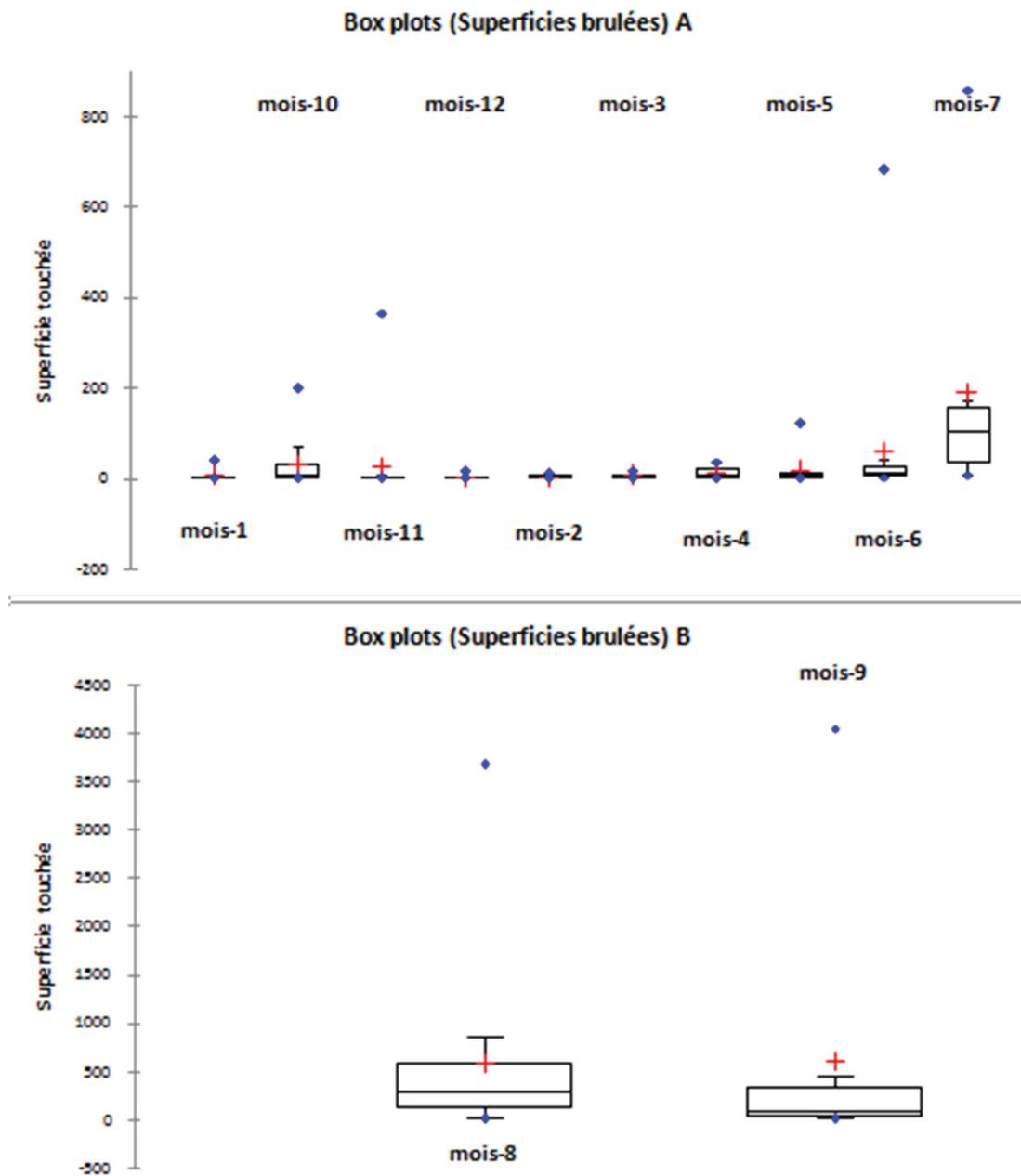


Figure 4: Box and Whiskers des superficies touchées par mois durant la période 1997-2011

Ceci nous amène à choisir ces deux mois (Août et Septembre), connus comme les plus chauds et les moins arrosés, comme mois de référence pour classer les années en fonction des incendies enregistrés durant ces deux mois (figure 5).

Les figures 5 et 6 montrent le classement des années en fonction de la sévérité des incendies enregistrés chaque années (superficie totale brûlée). Nous avons identifié cinq années sévères (1999, 2004, 2006, 2005, 2003), quatre années à sévérité moyenne (2008, 2001, 2009, 2007) et six années avec une 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 y a deux principaux facteurs agissant sur les incendies à savoir: le climat et la végétation (Alexandrian, 2006). Cette classification nous a amené à pousser l'analyse sur les particularités des incendies déclarés durant chaque groupe d'année en fonction des type de bio-climat, vu leur caractère intégrateur à la fois des types de végétation et des conditions climatiques.

Bio-climat

L'effet des facteurs climatiques est capital sur la végétation. En effet, le climat fourni des conditions indispensables

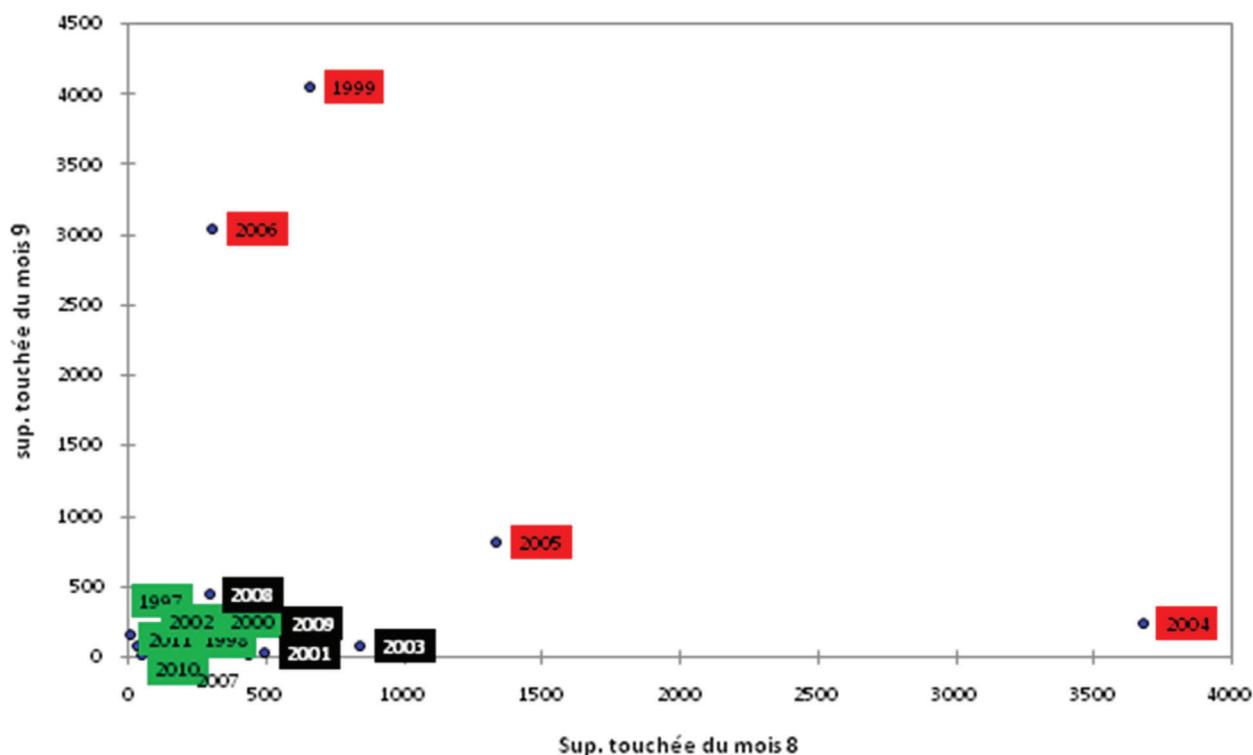


Figure 5: Répartition des années en fonction des superficies brûlées durant les mois d'Août et Septembre.

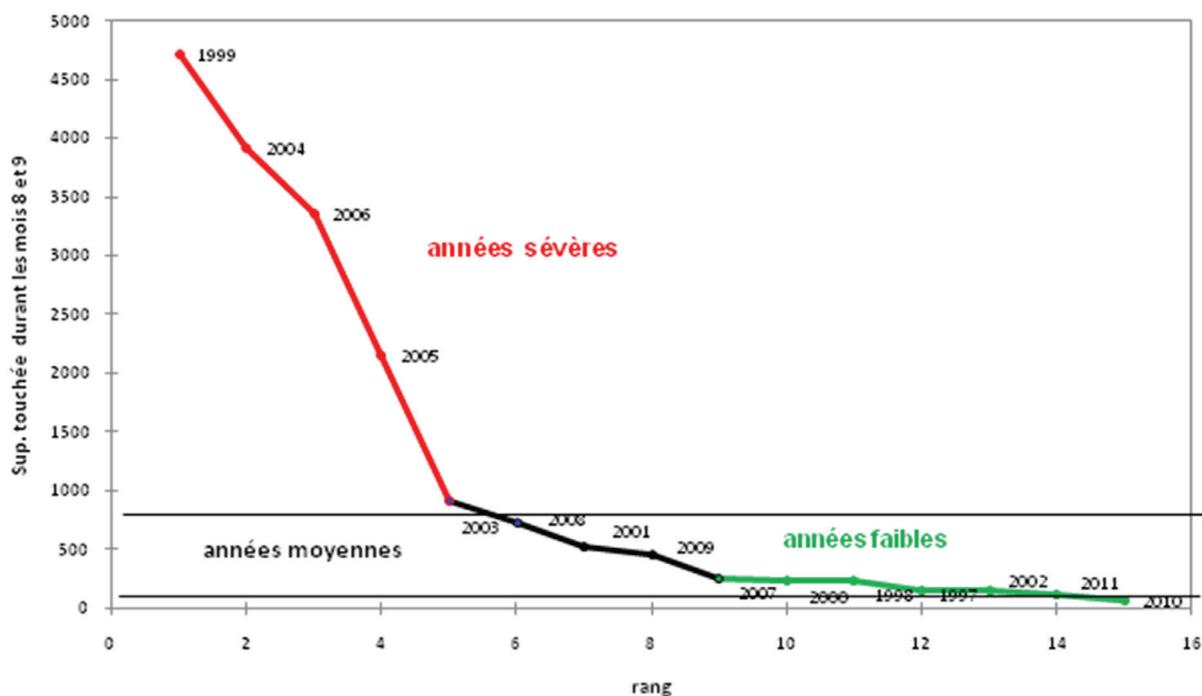


Figure 6: Classement des années en fonction des superficies brûlées durant les mois Août et Septembre

à l'évolution des végétaux tout comme la lumière, l'eau le dioxyde du carbone (Benabid, 2000). Pour associer la répartition de la végétation à des variables climatiques, de nombreux indices bio-climatiques ont été proposés par des géographes (Lang, de Martonne) et par des botanistes (Gausсен, Emberger). La plupart de ces indices bio-climatiques combinent les deux facteurs indispensables aux activités végétatives à savoir: les précipitations et les températures.

Dans le cas du Maroc, le botaniste Emberger propose une définition des types bio-climatiques fondée sur la combinaison graphique du degré d'aridité du climat (évalué annuellement en utilisant le quotient pluviométrique: Q2) et la rigueur hivernale (la moyenne des

minimas du mois le plus froid) (Michallet, 1996).

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 (SIG), en vue d'attribuer à chaque incendie le type de bioclimat dans lequel il s'est déclaré (Figure 7). Par la suite, le nombre d'incendie dans chaque type a été pondéré selon la superficie boisée par type de bio-climat ce qui a donné le tableau 3 et la figure 7. Les résultats de cette analyse sont synthétisés dans le tableau 3.

La représentation graphique de la répartition des incendies de forêt en fonction des types bio-climatiques est donnée dans la figure 8.

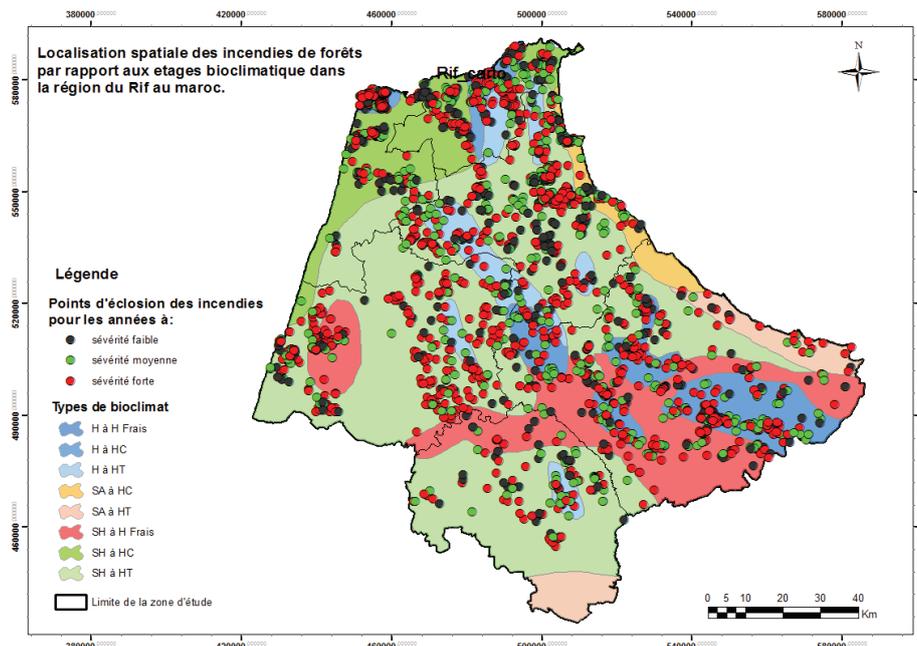


Figure 7: Localisation spatiale des incendies enregistrés durant les mois de Août et Septembre par rapport aux types de bio-climat

Tableau 3: Distribution des incendies par type de bio-climat et par groupe d'années

Bio-climat *	Nbr incendie G1**	Nbr incendie G2***	Nbr incendie G3****	Nbr. Total	Sup. boisée	PAMFG1	PAMF G2	PAMF G3	PAMF Moyenne
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	37 767	1,20	1,10	0,64	0,91
SA à HC (31)	2		37	39	7 967	0,41	-	4,14	2,07
SA à HT (32)			8	8	16 282	-	-	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	202 792	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'année à faible sévérité d'incendies (2000, 1998, 1997, 2002, 2011 et 2010)

*** G2: groupe d'année avec une sévérité moyenne d'incendies (2008, 2001, 2009 et 2007)

**** G3: groupe d'année avec une sévérité forte d'incendies (1999, 2003, 2004, 2005 et 2006).

PAMF: Pression annuelle de mise à feu par type de bio-climat

Pour étudier le degré de dépendance des incendies selon aussi bien la sévérité de l'année que les types de bio-climat, une ANOVA déséquilibrée (car il y a différents nombres d'années dans chaque groupe) à deux facteurs (sévérité de l'année et le type de bio-climat) a été utilisée, les résultats sont résumés dans les tableaux et graphique ci-après:

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

Tableau 4: Tableau ANOVA 2 (Bio-climat x Sévérité)

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			

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Bio-climat	7	1090,622	155,803	18,403	0,0001
Sévérité	2	8,687	4,344	0,513	0,600
bio-climat*Sévérité	14	15,572	1,112	0,131	1,000

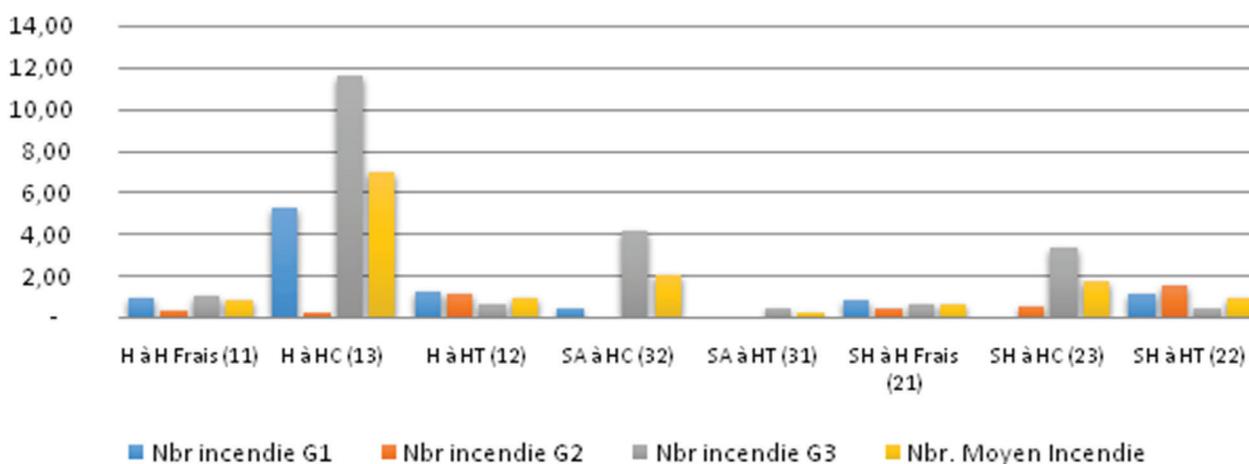


Figure 8: Répartition du nombre d'incendies rapporté à la superficie boisée par type de bioclimat et selon la sévérité de l'année

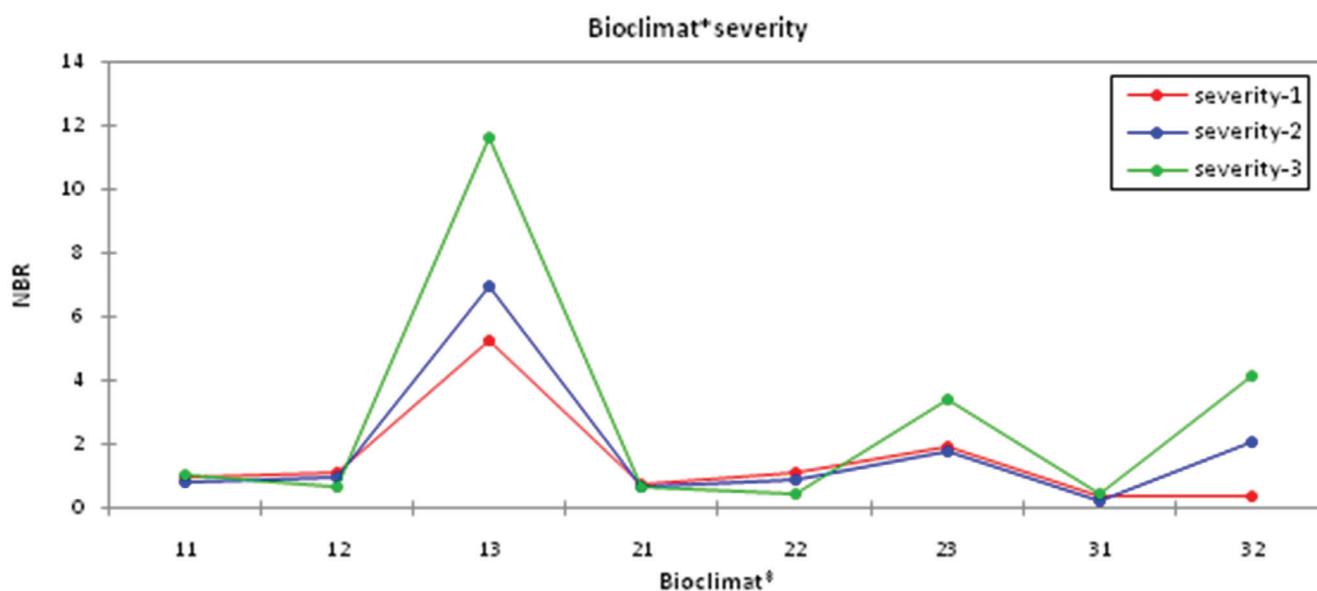


Figure 9: Répartition du nombre d'incendies par type de Bio-climat

*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

Le test F de Fisher est utilisé dans le tableau de l'ANOVA. Étant donné que la probabilité associée à 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, enregistrée durant les mois Août et Septembre. Nous pouvons donc conclure que les deux variables (type de bio-climat et sévérité de l'année) et leur interaction apportent une information significative pour expliquer la distribution du nombre d'incendie.

La figure 9 quant à elle, montre que le nombre d'incendie est plus important dans les types de bio-climat à hiver chaud (humide, subhumide et semi-aride) pour tous les groupes d'années, mais il l'est encore plus durant les années sévères. Ce qui montre que les incendies déclarés dans ces types de bio-climat risquent de ravager des superficies importantes. Ceci s'explique par la rapidité de la croissance du combustible durant l'hiver, saison caractérisée par des précipitations importantes et par une température favorable (entre 3°C et 7°C) à la croissance de la végétation (biomasse abondante) (Benabid, 1986).

CONCLUSION

La présente étude a consisté en une analyse spatio-temporelle des incendies survenus dans la région du Rif. Elle a montré que presque 80% des superficies touchées annuellement sont déclarées pendant la période allant d'Août à Septembre. Par ailleurs, les 15 années étudiées ont été classées en trois groupes en fonction de la sévérité des incendies survenus durant les deux mois retenus comme période de références.

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 bio-climat humide, subhumide 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'éclosion des incendies.

Aussi, il est important de prendre en considération par le gestionnaire des forêts la nécessité d'intensifier les actions de sylviculture préventives et de débroussailllements et la densification du réseau de pistes et de tranchées pare-feu dans les zones ayant un bio-climat à hiver chaud surtout pendant les années sévères.

En définitive, afin d'affiner la particularité des années ayant connues des incendies durant les mois Août et Septembre, il est important d'étudier la disponibilité du combustible et de la biomasse végétale ainsi que les conditions climatiques régnant durant les deux mois retenus, ceci pourrait être facilité en faisant appel à l'imagerie satellite et aux indices de végétation permettant d'appréhender la charge du combustible disponible.

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. (1985)b. Les écosystèmes forestiers Marocains : Diversité, biogéographie et dégradation. Forêt méditerranéenne, Marseille, T.7.
- 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: 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.
- DaCamara, (2011). Fire risk, Pre-fire condition and the FRM product, IDL - University of Lisbon, Portugal, 2011.
- Francour P. (2007). Cours de Biostatistiques appliquées: Analyse de variance à un ou plusieurs facteurs. University of 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 (2008). 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, 2007.
- 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 (2013). 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, 2012.
- 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.