

Physique/Physique appliquée

## Efficacité des coupures de combustible dans la prévention des feux de forêts

Ahmed Kaiss<sup>a,\*</sup>, Lotfi Zekri<sup>b</sup>, Nouredine Zekri<sup>b</sup>, Bernard Porterie<sup>a</sup>, Jean-Pierre Clerc<sup>a</sup>, Claude Picard<sup>c</sup>

<sup>a</sup> IUSTI/UMR CNRS 6595, université de Provence, 5, rue Enrico Fermi, 13453 Marseille cedex 13, France

<sup>b</sup> LEPM, Département de physique, USTO, BP 1505 El Mnaouer, Oran, Algérie

<sup>c</sup> CEREN, sécurité civile, Valabre, 13120 Gardanne, France

Reçu le 31 janvier 2007 ; accepté après révision le 15 février 2007

Disponible sur Internet le 12 avril 2007

Présenté par Pierre-Gilles de Gennes

### Résumé

Un modèle stochastique est utilisé pour étudier la propagation des feux en milieux forestiers où des coupures de combustible sont aménagées. On établit analytiquement le critère d'efficacité d'une coupure nue dans un milieu forestier homogène. On montre ensuite que, pour une coupure partiellement arborée, l'efficacité dépend de sa densité de végétation et que, même en dessous du seuil de percolation, la coupure n'est efficace que si sa largeur est grande devant la longueur caractéristique d'impact du feu. Dans le cas contraire, des chemins percolants, par lesquels le feu se propage, apparaissent. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la largeur de la coupure est voisine de la longueur caractéristique d'impact. Si le feu engendre des brandons, l'effet d'une coupure nue sur le ralentissement du front est évalué pour différentes distances caractéristiques de saute. *Pour citer cet article : A. Kaiss et al., C. R. Physique 8 (2007).*

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**Fuelbreak efficiency for wildland fire prevention.** A stochastic model is applied to predict fire propagation through forest landscapes with fuelbreaks. The efficiency criterion for a totally cleared fuelbreak is analytically obtained for a homogeneous system. For partially cleared fuelbreaks the efficiency depends on its tree density. It is found that, even for a density smaller than the percolation threshold, the fuelbreak is efficient when its width is large compared with the fire impact characteristic length. On the other hand, percolating paths of fire appear. This phenomenon is all the more pronounced as the fuelbreak width is close to the impact characteristic length. When the fire spreads by brand spotting, a totally cleared fuelbreak slows down the rate of fire spread. This effect is evaluated for different characteristic spotting distances. *To cite this article: A. Kaiss et al., C. R. Physique 8 (2007).*

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés :** Coupure de combustible ; Feu de forêt ; Réseau de petit monde ; Sauts de feu

**Keywords:** Fuelbreak; Forest fire; Small world network; Spotting

\* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : [Ahmed.Kaiss@polytech.univ-mrs.fr](mailto:Ahmed.Kaiss@polytech.univ-mrs.fr) (A. Kaiss), [Zekri@univ-usto.dz](mailto:Zekri@univ-usto.dz) (L. Zekri).

## Abridged English version

A fuelbreak is one of the most commonly used wildland fire prevention techniques which reduces the fuel load in strategically important places [1,2]. It reduces the probability and the extension velocity of large fires by attempting to reduce their dynamics, develops forest/urban area safety interfaces or zones, which makes fire fighting safer, stops the firefronts or causes large firefronts to split up into smaller fronts, which are easier to deal with. Until now, apart from the retrospective statistical analysis of past fires and the opinion of experts, compartmentation of high-risk wildland massifs remains empirical. The fuelbreak concept relates to breaks of 20 to 300 meters. The model used here to study the fuelbreak problem is an extension of the small world network model developed by Watts and Strogatz [15]. It has been described in previous works [3,4]. It includes the short-range radiative and convective effects from the flame as well as the long-range spotting effect of firebrands (Fig. 1(a)). For non spotting propagation, the critical width,  $D_c$ , below which a totally cleared break is crossed can be deduced from the analytical equation (3) (Fig. 2) where  $\delta t$  is the time step,  $\delta l$  is the lattice parameter,  $t_c$  and  $t_{DT}$  are the characteristic times of combustion and thermal degradation of a combustible site, and  $l_y$  is the impact characteristic length of a burning site in the fire propagation direction. The efficiency of a partially cleared fuelbreak is observed for a density of active sites in the break smaller than the percolation threshold (Fig. 3(a)) [4], and for a width large compared with the impact characteristic length. When the latter condition is not fulfilled the rate of spread is significantly reduced (Fig. 4) and propagation occurs only through narrow vegetation paths [22]. The efficiency of the fuelbreak can be recovered by inhibiting the percolating paths using, for example, fire retardants. For spotting propagation, the time increase of burning area depends strongly on the number of firebrands emitted per active site. It is found that this increase follows a power-law for small values of the number of firebrands, whereas it varies exponentially for larger numbers [22]. Spotfires that occur ahead from the primary front have enough time to develop and, in turn, cause new spotfires to appear. As expected, totally cleared fuelbreaks are crossed when the characteristic spotting distance is greater than their widths. However, if this occurs, fire spread slows down. This effect is studied for different characteristic spotting distances (Fig. 5).

## 1. Introduction

L'aménagement de coupures de combustible, qui consiste à réduire la charge de combustible dans des zones stratégiquement importantes, est l'une des techniques les plus utilisées dans la prévention des feux de forêts [1,2]. Ces ouvrages, qui existent sous différentes formes (coupures stratégiques, interfaces forêt-habitat, coupures vertes), permettent de : (i) diminuer la probabilité de développement des grands feux ; (ii) créer des aires d'appui et de soutien à la lutte, et notamment lors de phases dynamiques d'une opération ; (iii) ralentir ou interrompre la propagation du feu, ou fractionner les grands fronts de feu en petits fronts plus faciles à traiter.

Le concept de « coupure de combustible » est relié à des coupures de quelques mètres à 300 m de large, alors qu'on parle de « coupe-feux » pour des coupures de quelques mètres. La création et l'entretien de ces ouvrages, qui couvrent en France des dizaines de milliers d'hectares, nécessitent d'importants moyens financiers. La tendance actuelle est d'abandonner les coupures classiques à sol nu, fortement critiquées, au profit de coupures où le combustible n'est que partiellement enlevé. D'une part, la présence de végétation, même parsemée, crée une rugosité qui ralentit les vents au niveau du sol et donc limite l'apport d'air frais vers le front de flamme. Cependant, la typologie des essences d'arbres présentes et la topologie du terrain peuvent modifier cette rugosité, au point de la rendre nulle. D'autre part, l'esthétique s'en trouve également préservée, notamment dans les propriétés privées et les parcs naturels. La compartimentation des massifs forestiers sensibles est encore empirique, ou repose sur l'analyse statistique de feux antérieurs ou à dire d'experts. On présente dans ce travail un modèle stochastique de prédiction [3,4] pour traiter le problème de l'efficacité de ces coupures.

## 2. Modèle et description

Les modèles de propagation des feux de forêt sont classiquement regroupés en modèles statistiques, empiriques, et physiques [5]. Jusqu'à présent, la modélisation statistique de la combustion en milieu hétérogène, en particulier celle des feux de végétation, utilisait des réseaux réguliers [6–11]. Les automates cellulaires ont été également utilisés sur ces réseaux pour inclure une pondération sur les sites [12–14]. Cependant, ces réseaux ne peuvent inclure les effets à longue distance comme le rayonnement de la flamme ou les brandons qui sont à l'origine des sautes de feu.

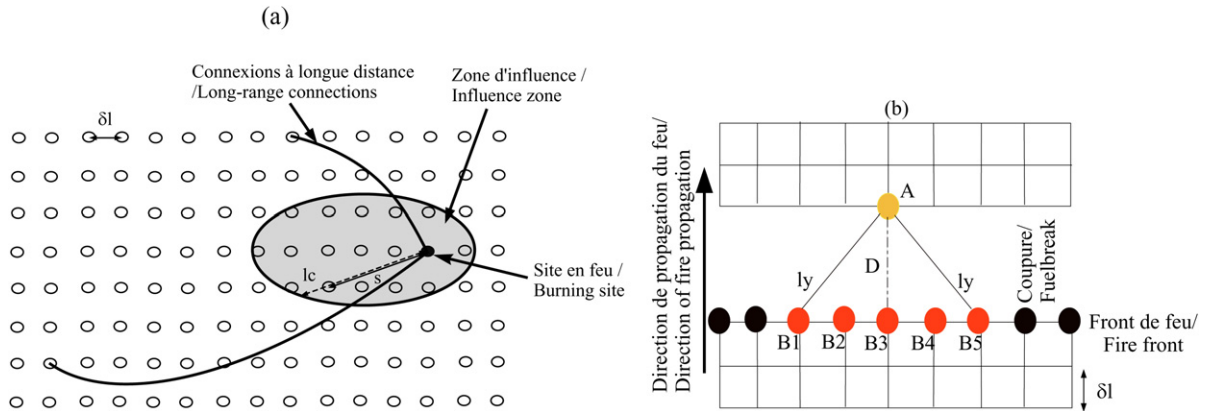


Fig. 1. (a) Réseau de petit monde construit à partir d'un réseau régulier carré. Les connexions à courte distance correspondent à la zone d'influence d'un site en feu, celles à longue distance sont dues à l'action des brandons. (b) Représentation schématique d'une coupure de combustible.

Fig. 1. (a) A small world network built from a regular square network. The short-range connections correspond to the influence zone of the burning site. Long-range connections are due to firebrands. (b) A schematic representation of a fuelbreak.

À la fin des années 1990, Watts et Strogatz [15] ont proposé un modèle de réseau appelé réseau de « petit monde » (rpm) qui permet, en plus de la création d'amas, des connexions à longue distance en un nombre fini d'étapes [15,16]. L'expérience de Milgram en 1967 [17] suscita l'intérêt des chercheurs qui formulèrent l'hypothèse de « petit monde » : avec six intermédiaires, en moyenne, on peut relier deux individus quelconques d'une même communauté. Le réseau de petit monde utilise donc deux types de connexions, les unes impliquant les plus proches voisins, les autres à longue distance. Ces dernières sont engendrées aléatoirement avec une probabilité uniforme sur tout le réseau. L'extension du modèle à la propagation des feux de forêts consiste tout d'abord à remplacer la notion de connexions entre plus proches voisins d'un site en feu par celle d'une zone d'influence thermique autour de ce site (Fig. 1). Le transfert thermique par conduction n'est pas très important pour la propagation des incendies de forêts, à l'exception des feux qui se propagent dans le sol, comme les feux de tourbe. C'est pourquoi, dans la présente étude, seuls les transferts radiatif et convectif sont considérés. La zone d'influence est ici définie à partir de deux longueurs caractéristiques,  $l_x$  et  $l_y$ , exprimées en unité arbitraire de longueur,  $\delta l$ , correspondant au paramètre du réseau. Ces longueurs dépendent des conditions locales météorologiques (vent, humidité relative), topographiques et de végétation (teneur en eau, typologie, occupation spatiale, biomasse). Elles doivent être déterminées préalablement par des expériences spécifiques et/ou numériques. Tous les sites se trouvant dans la zone d'influence sont connectés au site en feu. Pour un feu se propageant de façon isotrope, comme c'est le cas en absence de vent et sur terrain plat, la zone d'influence est circulaire ( $l_x = l_y$ ). Une grande valeur du rapport des longueurs caractéristiques  $l_y/l_x$  correspond à une forte anisotropie du front de feu engendrée par des effets de pente et/ou de vent dans la direction  $y$ . La zone d'influence devient alors elliptique. L'extension du modèle consiste aussi à introduire une pondération des sites basée sur les temps caractéristiques de dégradation thermique nécessaire pour enflammer un site actif (combustible) situé sur le contour de la zone d'influence d'un site en feu,  $t_{DT}$ , et de combustion d'un site,  $t_c$ . Le temps nécessaire à l'inflammation d'un site exposé croît avec sa distance  $s$  au site en feu comme  $t = t_{DT}^{s/l_c}$  où  $l_c$  est la distance séparant le site en feu du contour de sa zone d'influence dans la direction du site exposé (Fig. 1(a)). Les conditions locales, évoquées précédemment, affectent les paramètres du modèle (i.e. les longueurs et temps caractéristiques), mais ne modifient pas la procédure de pondération. L'émission de brandons, responsables des sautes de feu, caractérise les connexions à longue distance. La densité des brandons au sol décroît exponentiellement avec la distance au front de feu [18–20]. On simule les sautes de feu en permettant à chaque site en feu d'émettre un nombre de brandons,  $N(t)$ , dépendant à la fois du type de combustible végétal et de l'état de combustion du site en feu. Lorsqu'un brandon tombe sur un site combustible qui n'a pas encore brûlé, une saute de feu est susceptible de se produire avec une probabilité d'inflammation,  $p_i(t)$  qui dépend du contenu en eau et du type du matériau qui constitue le site réceptif [21]. En raison des variations dans la direction du vent, les brandons sont ici émis aléatoirement dans un angle de  $\pm 30^\circ$  par rapport à la direction principale du vent, supposé d'intensité constante.

Le nombre de brandons susceptibles de générer une saute de feu dans un système de taille  $L \times L$  est donné par

$$N_b = N_f [1 - \exp(-L/D_0)] \times \frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} N(t) p_i(t) dt \quad (1)$$

où  $D_0$  est la distance caractéristique de saute, qui dépend étroitement de la vitesse du vent, de l'intensité du feu et de certaines propriétés physiques du brandon [19], et  $N_f$  le nombre de sites en feu.

Si dans un milieu homogène, un seul type de végétation couvre tout le système, le milieu hétérogène se caractérise par la coexistence de deux ou plusieurs types de végétation (e.g. espèces différentes, espèces identiques avec des contenus en eau différents) ou par l'occupation partielle de la végétation. Dans ce dernier cas, il existe aussi un seuil géométrique, dit de percolation,  $p_c$ , défini comme la concentration minimale en sites combustibles au delà de laquelle la propagation se fait d'un bord à l'autre du système. Pour des systèmes infinis, la taille du plus gros amas diverge à cette concentration.

La coupure de combustible est représentée par une bande perpendiculaire à la direction de propagation et coupant le système en deux parties. Elle peut être dépourvue de végétation ou partiellement arborée.

### 3. Résultats et discussion

Le rôle de la coupure de combustible sur la propagation du front est étudié pour des feux présentant ou non des sautes. Les simulations présentées correspondent à une forte anisotropie du front de feu (due aux effets de pente et/ou de vent dans la direction  $y$ ) pour laquelle  $l_x$  est fixé à  $3\delta l$  et  $l_y$  à 7 ou  $10\delta l$ . La taille du système est de  $300\delta l \times 300\delta l$  et le point d'éclosion du feu a pour coordonnées  $(150\delta l, 1\delta l)$ . Les temps caractéristiques de combustion et de dégradation thermique du végétal sont respectivement de  $t_c = 30\delta t$  et  $t_{DT} = 100\delta t$ . La coupure de largeur  $D$  est placée à  $200\delta l$  du point d'éclosion. En unités physiques, si la distance moyenne entre deux arbres est de 5 m, le réseau considéré couvre une superficie de 225 ha. Les durées de dégradation thermique et de combustion d'un site combustible de 500 s et 150 s fournissent un ordre de grandeur de l'unité arbitraire de temps :  $1\delta t = 5$  s.

#### 3.1. Propagation sans brandons

##### 3.1.1. Coupure nue

La végétation qui couvre le système, en dehors de la coupure, est considérée homogène ( $p_s = 1$ ). Lorsque la coupure est dépourvue de combustible, la largeur critique,  $D_c$ , au delà de laquelle la propagation du feu s'interrompt, peut être calculée analytiquement. Dans l'exemple de la Fig. 1(b), un site  $A$  placé de l'autre côté de la coupure se trouve dans la zone d'influence du site  $B_3$  situé sur le front de feu. Lorsque  $D$  est de l'ordre de  $l_y$ , le site en feu  $B_3$  s'éteindra avant de dégrader complètement le site  $A$ . Le temps nécessaire à sa dégradation complète,  $t_r$ , est relié à la largeur de la coupure par la relation  $t_r = t_{DT}^{D/l_y}$ . La condition pour que le site  $B_3$  enflamme le site  $A$  permet d'estimer la largeur critique  $D_c$  de cette coupure :  $D_c = l_y \log(t_c)/\log(t_{DT})$ . Pour un front de feu arrivant sur la coupure, les sites  $B_1, B_2, B_4$  et  $B_5$  du front de feu, dont les zones d'influence contiennent le site  $A$ , contribuent également à la dégradation thermique de ce site. Chacun d'eux augmente d'une unité le niveau de dégradation thermique du site  $A$  à chaque étape de temps  $\delta t$ . La largeur critique de la coupure devient donc

$$D_c = l_y \frac{\log(t_c + n\delta t)}{\log(t_{DT})} \quad (2)$$

où  $n = 2\sqrt{(l_y^2 - D_c^2)}/\delta l$  représente le nombre de sites du front contribuant à la dégradation thermique du site  $A$ .

La Fig. 2 représente la variation de cette largeur critique en fonction de la longueur caractéristique d'impact  $l_y$ . Elle définit le domaine d'efficacité d'une coupure de combustible sur un réseau carré d'arbres.

##### 3.1.2. Coupure partiellement arborée

On considère maintenant un système hétérogène de densité en sites combustibles  $p_s = 0,5$  avec une coupure partiellement arborée de largeur  $D = 30\delta l$  et de densité  $p_{cp} < p_s$ . La Fig. 3 montre la position avancée du front de feu pour des valeurs de  $p_{cp}$  comprises entre 0 et  $p_s$  et des longueurs caractéristiques d'impact de  $3\delta l$  (Fig. 3(a)) et  $7\delta l$

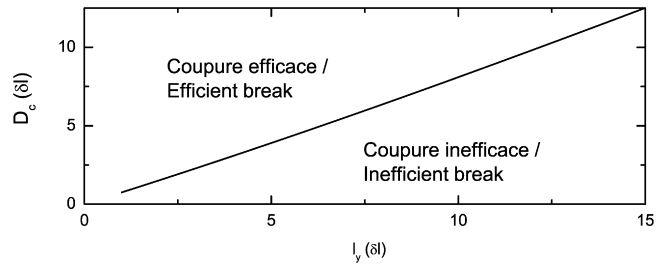


Fig. 2. Domaine d'efficacité d'une coupure de combustible (voir Éq. (3)).

Fig. 2. Efficiency domain of a fuelbreak (see Eq. (3)).

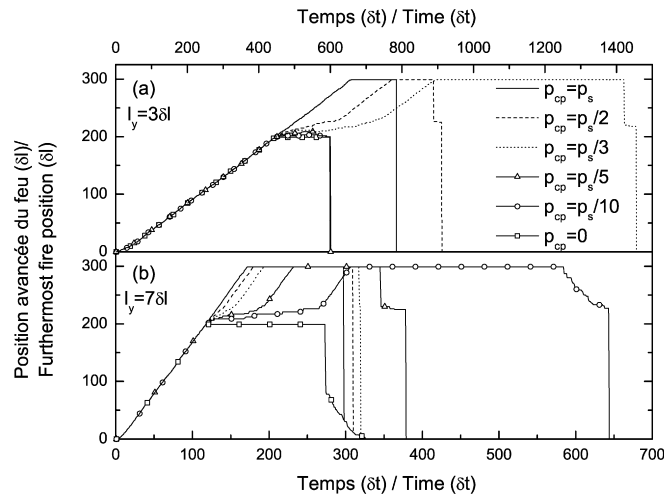


Fig. 3. Evolution de la position la plus avancée du front de feu au cours du temps pour un système de densité  $p_s = 0,5$  et des coupures de largeur  $D = 30\delta l$  moins dense en sites actifs : (a)  $l_y = 3\delta l$  ; (b)  $l_y = 7\delta l$ .

Fig. 3. Time evolution of the furthestmost position of the fire front for a system of density  $p_s = 0,5$  and for  $30\delta l$ -wide fuelbreaks having smaller densities of active sites: (a)  $l_y = 3\delta l$ ; (b)  $l_y = 7\delta l$ .

(Fig. 3(b)). La propagation est considérablement ralentie dans la coupure quand sa densité diminue. Pour  $l_y = 3\delta l$ , la coupure est totalement efficace si  $p_{cp} < p_s/3$ , ce qui correspond au seuil de percolation [4]. Pour un feu présentant une forte anisotropie ( $l_y = 7\delta l$ ), le front peut être considérablement ralenti mais continue à se propager dans la coupure même pour une densité de  $p_s/10$ , inférieure au seuil de percolation  $p_s/7$ . En dessous du seuil de percolation (avant l'apparition d'un amas infini [8]), des amas de taille finie apparaissent dans la coupure. Ces derniers permettent la percolation avec une grande probabilité si la largeur de la coupure est suffisamment faible, c'est-à-dire du même ordre que leur taille. Dans la Fig. 4, on considère trois largeurs de coupure ayant la même densité en sites actifs  $p_{cp} = p_s/10$ . L'efficacité de la coupure apparaît à partir de  $D = 60\delta l$  correspondant à environ 9 fois la longueur caractéristique d'impact. Cette largeur est donc plus grande que la taille du plus grand amas pour la concentration  $p_{cp}$  considérée dans la coupure. En d'autres termes, la longueur de corrélation du système constitué par la coupure de densité  $p_s/10$  est inférieure à  $60\delta l$ . Cette longueur caractéristique est définie par la distance moyenne entre deux sites appartenant au même amas [8]. Elle tend vers la taille du plus grand amas lorsque la densité de végétation s'approche du seuil de percolation. L'efficacité d'une coupure partiellement arborée dépend donc de sa densité de végétation et de sa largeur. En diminuant cette largeur, des chemins percolants étroits apparaissent [22]. Ces chemins permettent au feu de franchir la discontinuité, responsable d'un net ralentissement de sa propagation. Ils contiennent des liens simplement connectés de longueur égale à la longueur caractéristique d'impact, analogues aux liens critiques en percolation [8,23]. Même si la largeur de la coupure n'est pas suffisante pour interrompre la propagation, il paraît plus facile de lutter contre le feu en coupant quelques liens critiques, grâce aux retardants par exemple. Pour  $D = 60\delta l$ , tous les amas créés ont une taille inférieure à la largeur de la coupure et n'atteignent pas le bord opposé.

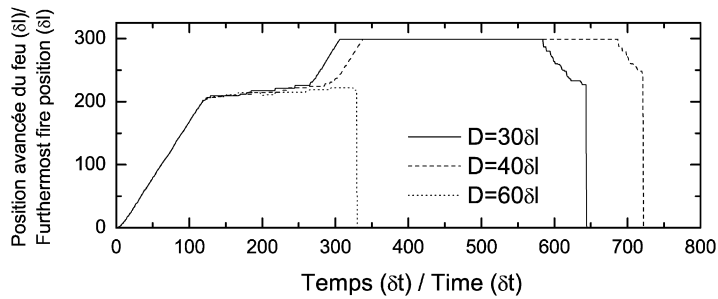


Fig. 4. Evolution de la position la plus avancée du front de feu au cours du temps pour des coupures de différentes largeurs. La densité du système est  $p_s = 0,5$ , celle de la coupure est  $p_s/10$ . Dans tous les cas,  $l_y = 7\delta l$ .

Fig. 4. Time evolution of the furthestmost position of the fire front for fuelbreaks of different widths. The density of the system is  $p_s = 0.5$  whereas that of the fuelbreak is  $p_s/10$ . For all cases  $l_y = 7\delta l$ .

### 3.2. Propagation par sautes

Dans un travail précédent, nous avons examiné l'effet des brandons sur la propagation du feu en supposant que chaque site en feu émet un brandon susceptible de provoquer une saute de feu [3]. Cette valeur correspond à des situations extrêmes de feux [21]. On distingue deux comportements différents de l'évolution temporelle du nombre de sites en feu en début de propagation : une augmentation en loi de puissance pour de faibles valeurs du nombre de brandons émis par site en feu et une augmentation exponentielle lorsque ce nombre dépasse 1 pour 10 sites en feu [22]. En effet, lorsque ce nombre est faible, la plupart des brandons tombent près du front primaire de feu et les sites enflammés sont par conséquent rapidement absorbés par celui-ci ; le nombre de sautes est alors proportionnel au nombre de sites en feu. Lorsque le nombre de brandons émis est grand, certains d'entre eux créent des sautes de feu loin devant le front primaire. Ces sautes ont le temps de se développer avant d'être rattrapées par le front primaire et d'émettre à leur tour des brandons efficaces. Dans ce qui suit, on suppose qu'un brandon efficace est émis pour cinq sites en feu. L'effet des brandons sur la propagation du feu dans un système homogène avec une coupure de combustible nue de largeur  $D = 30\delta l$  est étudié pour  $l_y = 7\delta l$ . La coupure semble efficace en dessous d'une certaine distance caractéristique de saute  $D_0 = D/4$  (Fig. 5(a)). Dans le cas d'une coupure efficace, le front se propage plus rapidement jusqu'à la coupure, mais ne la franchit pas et seule la végétation située avant la coupure brûle totalement. Dans le cas de grandes distances caractéristiques (e.g.  $D_0 = 20\delta l$ ), le front se propage deux fois plus vite que dans le cas où il n'y a pas d'émission de brandons, à cause du développement des sautes loin du front primaire (Fig. 5). Dans la Fig. 5(b), pour  $D_0 = 10\delta l$ , l'évolution du nombre de sites en feu au cours du temps est non monotone. Dans ce cas, quelques brandons traversent la coupure et le développement consécutif des sautes de feu se fait plus lentement, contrairement au cas  $D_0 = 20\delta l$  où un grand nombre de brandons ont franchi la discontinuité.

## 4. Conclusion

Un modèle étendu de réseau de petit monde est utilisé pour examiner l'efficacité d'une coupure de combustible sur la propagation d'un feu de forêt. Dans le cas d'une propagation sans brandons en milieu homogène, cette efficacité est évaluée analytiquement pour une coupure nue. Si la coupure est partiellement arborée, celle-ci reste efficace si sa densité en sites actifs est inférieure au seuil de percolation et si sa largeur est suffisamment grande comparée à la longueur caractéristique d'impact d'un site en feu. Si cette dernière condition n'est pas satisfaite, la propagation du feu est considérablement ralentie et se fait dans la coupure à travers des chemins étroits. Dans le cas d'une propagation par sautes, le nombre de brandons générés par site en feu influe significativement, en début de propagation, sur l'augmentation de la surface en feu au cours du temps. L'augmentation en puissance devient exponentielle pour des valeurs élevées du nombre de brandons. Ceci est dû à l'apparition de sautes de feu loin du front primaire qui ont ainsi le temps de se développer et d'émettre, à leur tour, d'autres brandons.

Le modèle rpm est en cours de validation sur des feux réels, en prenant en compte le rôle des coupures et l'action des retardants sur le processus de propagation.

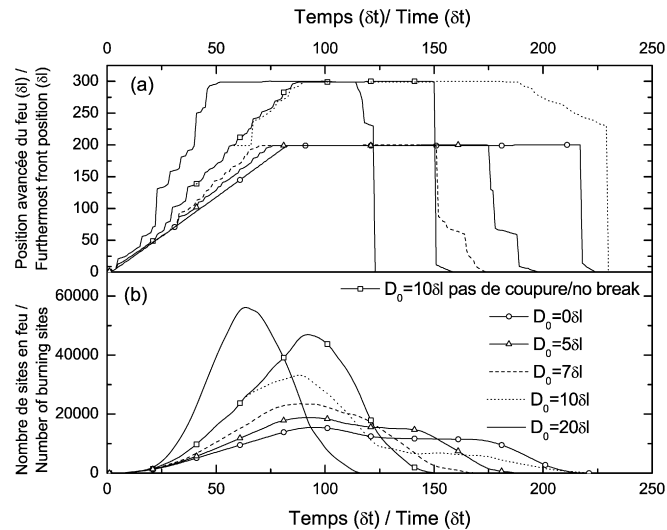


Fig. 5. Évolution de la position la plus avancée du front de feu au cours du temps pour une coupure nue de largeur  $D = 30\delta l$  et différentes distances caractéristiques de sautes. Le système est homogène et  $l_y = 7\delta l$ .

Fig. 5. Time evolution of the furthestmost position of the fire front for a  $30\delta l$ -wide totally cleared fuelbreak and different characteristic spotting distances. The system is homogeneous and  $l_y = 7\delta l$ .

## Remerciements

Un des auteurs (N.Z.) remercie l'École Polytechnique Universitaire de Marseille, de l'Université de Provence, pour son soutien financier. Ce travail a bénéficié du soutien financier du CNRS (ANR PIF NT05-2-44411) et du Ministère de la Recherche (ERT Feux).

## Références

- [1] R. Velez, Institutional support to R and D on forest fires in Spain, in: 3rd Int. Conf. on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal, 1998, pp. 55–66.
- [2] E. Rigolot, M. Costa (Eds.), Conception des coupures de combustible, Document Réseau Coupures de combustible n° 4, Editions de la Cardère, Morières, 2000.
- [3] B. Porterie, N. Zekri, J.P. Clerc, J.C. Loraud, C. R. Physique 6 (2005) 1153.
- [4] N. Zekri, B. Porterie, J.P. Clerc, J.C. Loraud, Phys. Rev. E 71 (2005) 046121.
- [5] R.O. Weber, Prog. Energy Combust. Sci. 17 (1991) 67.
- [6] G. Albinet, G. Searby, D. Stauffer, J. Phys. (Paris) 47 (1986) 1.
- [7] J. Nahmias, H. Téphany, E. Guyon, Rev. Phys. Appl. 24 (1989) 773.
- [8] D. Stauffer, A. Aharony, Introduction to Percolation Theory, Taylor and Francis, Londres, 1991.
- [9] J. Nahmias, H. Téphany, J.A.M.S. Duarte, C. R. Acad. Sci. II 322 (1996) 113.
- [10] J.A.M.S. Duarte, in: D. Stauffer (Ed.), Annual Reviews of Computational Physics, World Scientific, Singapore, 1997, p. 1.
- [11] H. Téphany, J. Nahmias, J.A.M.S. Duarte, Physica A 242 (1997) 57.
- [12] J. Margerit, O. Séro-Guillaume, in : 13ième Congrès de Mécanique, Poitiers, 1997, pp. 235–238.
- [13] G.L. Ball, D.P. Guertin, Int. J. Wildland Fire 2 (1992) 47.
- [14] F.J. Barros, M.T. Mendes, Simulation Practice and Theory 5 (1997) 185.
- [15] D.J. Watts, S.H. Strogatz, Nature 393 (1998) 440.
- [16] D.J. Watts, Small Worlds, Princeton University Press, Princeton, 1999.
- [17] S. Milgram, Psychology Today 2 (1967) 60.
- [18] <http://www.ffp.csiro.au/nfm/fbm/vesta/spotfire.html>.
- [19] N. Sardoy, J.L. Consalvi, B. Porterie, C. Fernandez-Pello, Combust. Flame (2007), in press.
- [20] P.L. Andrews, C.H. Chase, BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system—BURN subsystem part 2. National Wildfire Coordinating Group Publication PMS 439-3, NFES 277, 1989.
- [21] W.W. Hargrove, R.H. Gardner, M.G. Turner, W.H. Romme, D.G. Despain, Ecological Modelling 135 (2000) 243.
- [22] <http://iusti.polytech.univ-mrs.fr/~edr/index.html>.
- [23] A. Coniglio, Phys. Rev. Lett. 46 (1981) 250.