

# Simulation de feu de forêt

Nehemie Kaingo Ngbalenzela

Mathematics, Computer Sciences and Applications Team (ERMIA)  
ENSA of Tangier, University of AbdelMalek Essaadi, Morocco  
nehemie.kaingongbalenzela@etu.uae.ac.ma, nehememast26@gmail.com

**Abstract.** simulation de feu de forêt est basée sur les automates cellulaires .L'implémentation de la modélisation de simulation de feu de forêt a abouti à une application qui nous permet de non seulement simuler et de voir la propagation de l'incendie forestière mais aussi de contrôler la densité de forêt avant l'incendie, d'avoir le pourcentage de l'étendu brûlé, le nombre d'arbres détruit par le feu. L'évolution de l'incendie déclenchée par la souris permet de prendre en compte la direction et vitesse du vent ,la densité du forêt et l'altitude.

**Keywords:** Feu de forêt · Propagation de l'incendie · Automate cellulaire · Forêt · Aide à la décision · Densité

## 1 Introduction

Le risque le plus courant dans les forêts est le feu de forêt et reste incontestablement un des facteurs de dégradation les plus dévastateurs dans le bassin méditerranéen. Les incendies de forêt sont aussi vieux que les forêts elles-mêmes. Ils constituent une menace non seulement pour la richesse forestière, mais aussi pour l'ensemble du régime de la faune et de la flore, perturbant gravement la biodiversité et l'écologie et l'environnement d'une région. Pendant l'été, quand il n'y a pas de pluie pendant des mois, les forêts se jonchent de feuilles et d'élingues sénescents sèches, qui pourraient s'enflammer à la moindre étincelle. Les forêts du Maroc au nord ne sont pas épargnées par ce désastre, en particulier la forêt de Achacha-Tassift à Chefchaouen ,la forêt diplomatique de Tanger et celle de Haouz al Mellaliyin à M'diq ont brûlé respectivement presque 470 hectares le 4 septembre 2019 , 36 hectares le 21 juin 2020 et 1025 hectares du 1<sup>er</sup> au 2<sup>e</sup> août 2020 dont on ignore le nombre exacte d'arbres détruits cet été. Ce phénomène peut s'accroître dans l'avenir avec le changement climatique, l'élaboration d'outils de prédiction et de prise de décision permettant d'anticiper le risque d'incendie de forêt devient un objectif primordial. Ainsi nous voulons faire ajouter des paramètres fondamentaux tels que la direction et vitesse du vent, effet de l'élévation du sol et la densité d'occupation de la forêt afin de prédire l'évolution du feu.



**Fig. 1.** Évolution du feu. source:<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00003730/document>

On distingue quatre types de feu de forêt à savoir:



**Fig. 2.** type de feu fore.source:<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00003730/document>

1. Le feu de sol dit aussi feu souterrain est un feu qui se propage dans la litière et l'humus. Dans la plupart des forêts denses, un épais manteau de matière organique se trouve au-dessus du sol minéral. C'est un feu qui est difficile à détecter, car il est sans flammes et il peut continuer à brûler pendant des mois et détruire la couverture végétale du sol. Sa vitesse de propagation est faible. Ces feux peuvent endommager les racines des arbres.
2. Le feu de surface, dit aussi feu courant, se propage dans les sous-bois des forêts. Ils brûlent l'herbe et les broussailles. Ce feu est avec flammes et peut se propager rapidement. C'est le feu le plus commun. Il peut avoir comme origine un feu de sol ou se terminer en un feu de sol susceptible de se transformer en un nouveau feu de surface après l'intervention des pompiers.
3. Le feu de cime est un feu qui se propage au niveau de la couronne des arbres. Sa vitesse de propagation est très grande. Ils sont généralement déclenchés par un feu de surface qui gagne en intensité et atteint la couronne des arbres.
4. Enfin, le feu avec braises peut se produire. Les braises sont produites par le feu de cimes ou pour certaines conditions de vent et de topographie. Et nous, on

s'intéresse au feu de surface car se sont les moins difficiles à écrire et qu'ils contiennent déjà tous les mécanismes de base de la propagation de feu de forêt.

## 2 Les automates cellulaires

Dépuis l'invention des automates cellulaires en 1957 par J.Von Neumann [8], de nombreux modèles ont été élaborés afin de modéliser le feu de forêt. La revue bibliographique retient trois grandes classes classiques et leurs limites pour la modélisation de la propagation des feux de forêts. À savoir:

La classe de contagion qui est la première modélisation de la propagation de feu de forêt à Kourtz [9] en 1971. Les études de cette classe d'automate ne font pas lien entre les règles logiques simples de propagation et les mécanismes physiques fondamentaux de la propagation du feu car c'est impossible de caler par les compagnes d'expériences les valeurs des coefficients de règles logiques sur une forêt particulière. Cependant quantitativement la prédiction est bonne mais la quantification de la propagation est difficile.

La classe empirique dit aussi modèle de Rothermel [9] de 1973. Contrairement à la première classe, ces coefficients peuvent être calés par des compagnes d'expériences sur chaque type de forêt particulière. Malgré sa nature quantitative avec un calcul de vitesse très rapide elle est limitée par l'amalgame de plusieurs mécanismes physiques différents et les formes arbitraires choisies. La très grande hétérogénéité des conditions d'évolution et leur variabilité sur de petits espaces dans la zone méditerranéenne en compromettent beaucoup l'usage.

La classe réseau dit "petit monde" développée par Albinet et al. [?] en 1986. Portier [12] en 2006 et Billaud [13] en 2012 ont développé un modèle de propagation de type "petit monde" basé sur des bilans thermiques

## 3 Les methods

La modélisation de modèle petit monde de feu de surface sous la forme d'une grille carrée de taille  $n \times n$  contenant  $n \times n$  cellules. Ces cellules respectent la règle suivante:

Type de cellules	couleur de cellules	code
sol vide	ivory	1
Arbre existant	verte	2
Arbre en feu	rouge	3
Arbre en cendre	grise	4

Le sol vide peut représenter les zones

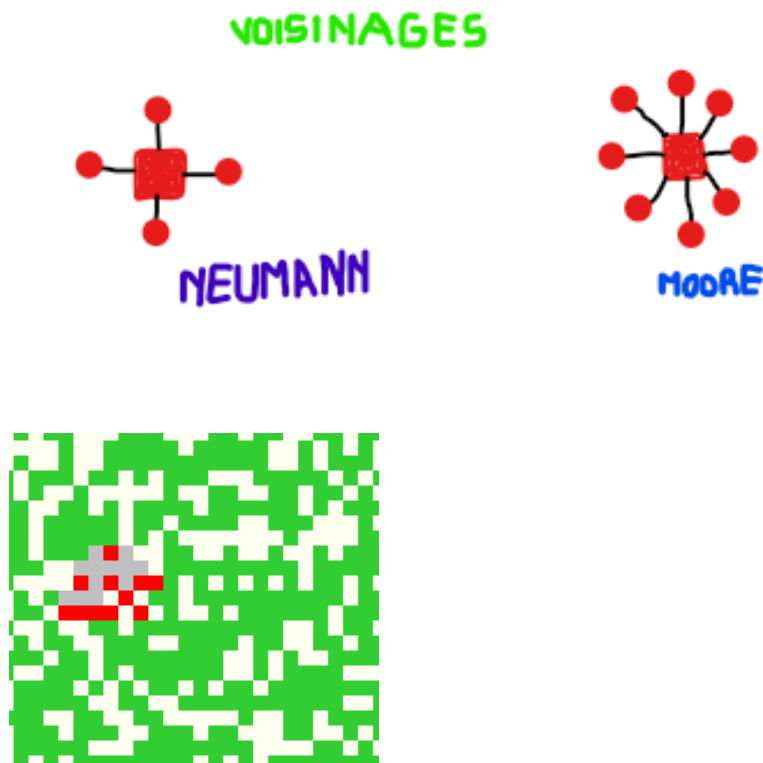
occupées par des choses non combustibles (eau, espace vide, etc)

L'évolution de la grille dont les cellules changent d'état. Chaque cellule passe d'un **état courant  $t$**  à un **état suivant  $t+1$**  : c-à-d L'arbre à  $t$  prend feu à  $t+1$ , le feu à  $t$  devient cendre à  $t+1$

### 3.1 Le déplacement du feu

La direction du vent impacte sur la propagation du feu en créant des zones non incendiée .Ainsi le vent et la pente du relief modifie l'inclinaison des flammes par rapport à la végétation et par conséquent, affecte la vitesse de propagation du feu. Cette propagation de feu en foret est soumise à une équation de chaleur dite équation de type de diffusion qui regroupe tous les phénomènes physico-chimiques accompagnant l'incendie.

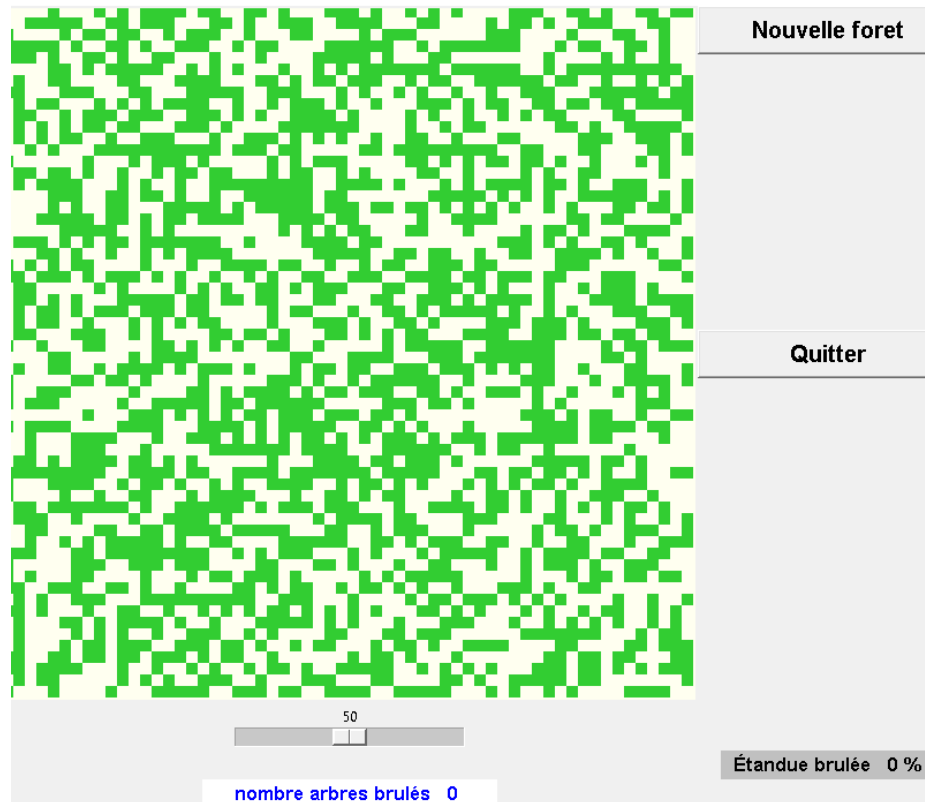
L'idée du déplacement du feu dans la foret selon le voisinage de Von Neumann (4 voisin proches) limite sa propagation .Hors le feu se deplace dans toute la direction en condition naturelle dans la foret,donc le voisinage selon Moore (8 voins proches) est mieux adpté au déplacement du feu dans la foret



### 3.2 Programmation de feu de forêt

L'implementation du programme est fait en python avec la bibliothèque ktinker pour le graphique et l'animation .L'appel de fonction `init()` permet d'initialiser

la grille ( la forêt) sous forme d'un tableau,le  **curseur** qui permet de contrôler la densité du forêt; deux boutons dont l'un est **Nouvelle forêt** qui sert à réinitialiser tout en modifiant la configuration du forêt mais avec la même densité,et l'autre **Quitter**.



### 3.3 Simulation d'étude

On constate en première ligne que la structure du forêt se diffère d'une colonne à l'autre à chaque nouvelle forêt .La direction du vent est Nord-Sud.Plus le l'incendie se trouve déclencher au Nord ensemencant de brandons et moins de zones non brulées au Sud.

## 4 Resultats et discussion

L'étude de simulation de feu de forêt à plusieurs endroits du parcelle a permi de connaître les emplacements très critique de la forêt avec une probabilité de



densité dans les intervalles suivantes :

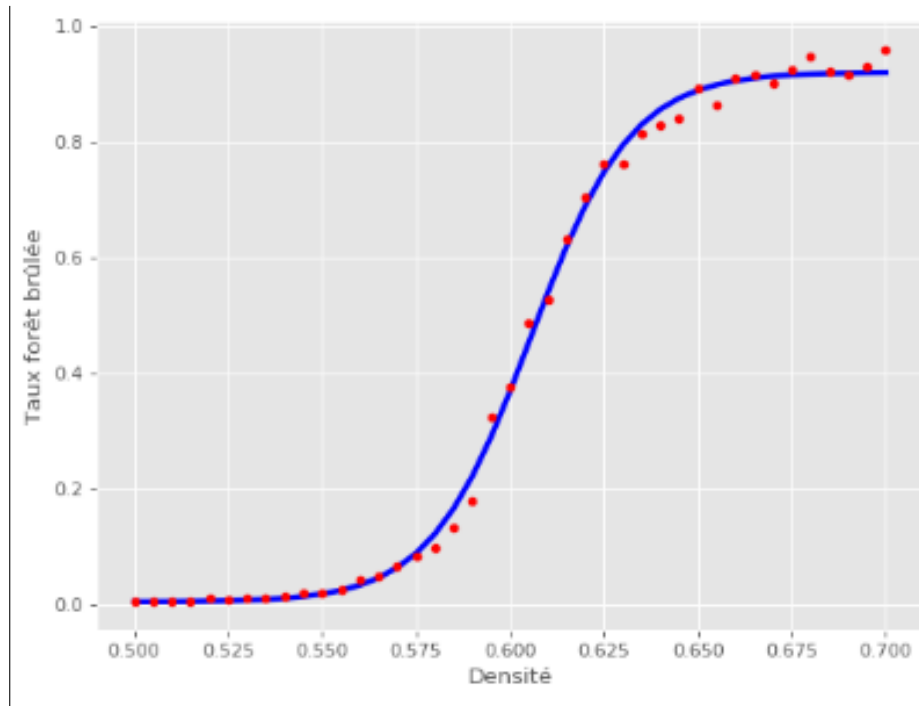
densité $\mathbf{p}$	
$[0.6, 0.8]$	le pourcentage de l'étendu brûlé diminue à mesure qu'on s'éloigne du Nord pour le Sud dû à la direction du vent
$[0.81, \infty]$	Au-delà de cet intervalle de densité la forêt se transforme quasiment en cendre

Valable dans un réseau  $n \times n$  avec  $n$  respectivement égale à 40,50,60 et 70

La propagation prend en compte la densité des arbres ( $p = N \times n \times n$ ,  $N$  nombre d'arbres), la vitesse et direction du vent dans la forêt.

On suppose les arbres repartis aléatoirement selon une loi uniforme.

Si la densité, la vitesse et la direction du vent sont élevées, c'est très claire que les dégâts sont plus étendus. En fait, en jouant avec ces paramètres, on se rend compte qu'elle admet une valeur critique, dite seuil de percolation :



en deçà, l'incendie reste très limité, au-delà, et presque immédiatement, la propagation est beaucoup plus importante.

Une simulation pourrait produire la courbe suivante :

## 5 Conclusion

Malgré la direction et vitesse du vent, la propagation de l'incendie dépend de la densité du forêt qui aussi dépend du voisinage du feu. La propagation du feu est conditionnée par la structure de la forêt, la densité, le voisinage d'arbres et la direction du vent.

L'application permet aussi de connaître la structure hétérogène et aléatoire de la forêt à travers l'évolution (accélération, ou extinction) du feu

## References

1. Khalid cherki "Analyse de la répartition spatiale des incendies de forêt en fonction des facteurs anthropiques, écologiques et biophysiques. Le cas de la forêt de la Mâamora (Maroc septentrional)", journal, reference ,date
2. Elizabeth Jay Allouche "Un incendie détruit 1024 hectares de forêt à M'diq, au nord du Maroc", <https://www.moroccoworldnews.com/2020/08/314307/fire-destroys-1024-hectares-of-forest-in-mdiq-northern-morocco> ,2020
3. Firestorm, [http ://www5.ced.berkeley.edu :8005/aegis/home/projects/eastbay/scon.htm](http://www5.ced.berkeley.edu:8005/aegis/home/projects/eastbay/scon.htm) ,date

4. <https://www.lesiteinfo.com/maroc/feu-de-foret-a-chefchaouen-le-bilan/> ,date
5. Catchpole E.A. and De Mestre N.J., Physical models for a spreading line fire, Aust. For., 1986, Vol. 49, No.2, p.102-111.
6. <https://vikaspedia.in/energy/environment/know-your-environment/forest-fires>
7. Peet G.B., The shape of mild fires in Jarrah forest, Aus. Forestry, 1967, Vol. 31, pp.121-127.
8. Von Neumann J., Theory of self reproducing Automata, Edited and completed by A.W. Burks, University of Illinois Press, 1970.
9. Kourtz P., O'Regan W.G., A model for a small forest fire ... to simulate burned and burning areas for use in a detection model, For. Sci., 1971, Vol. 17, No. 2, pp. 163-169.
10. Jonathan Margerit "Modélisation et Simulations Numériques de la Propagation de Feux de Forêts" ,1998,p.6-26.
11. Rothermel R.C, How to predict the spread and intensity of forest and range,USDA Forest Service , 1983, General technical report INT-143, Ogden, Utah, USA,161 p.
12. G. Albinet, G. Searby, and D. Stauffer. Fire propagation in a 2-d random medium. Journal ofPhysics,47 :1-7, 1986.
13. B. Porterie, N. Zekri, J-P. Clerc, and J-C. Loraud. Modeling forest fire spread and spotting process with small world networks. Combustion and Flame, 149 :63-78, 2007.
14. Y. Billaud, N. Zekri, A. Kaiss, M. Drissi, Y. Pizzo, Z. Acem, A. Collin, P-A. Santoni, F. Bosseur,P. Boulet, and B. Porterie. A hybrid small-world network/semi-physical model for predicting wildfire spread in heterogeneous landscapes. Journal ofPhysics : Conference Series, 395, 2012.
15. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01449385/document> .