**Prévention des feux de forêts : Modélisation et Percolation**

Les feux de forêts sont en augmentation constante en raison du dérèglement climatique, de plus en plus violents, comme en 2020, en Australie ou en Californie. Par conséquent, la prévention de ces derniers est un enjeu de grande importance pour de nombreux pays.

Une modélisation des feux de forêt permettrait de prévoir leur évolution. La propagation des feux de forêt peut être assimilée à un phénomène diffusif qui dépend de nombreux facteurs, tels que le vent, le réseau de plantation, la nature du bois ou encore la pente du terrain. Après avoir proposé une modélisation d’un incendie de forêt, nous étudierons l’influence des principaux facteurs.

**Professeur encadrant du Candidat :**

* Jean WOLFF (Physique)
* Matthieu LUTZ (Mathématiques – Informatique)
* M. STEINMETZ (Physique)

**Ce TIPE fait l’objet d’un travail de groupe**

**Liste des membres du groupe :**

* Léo MEISSNER
* Gabriel DE HÉDOUVILLE

**Positionnement thématique :**

*INFORMATIQUE (Informatique Pratique), PHYSIQUE (Physique statistique), Mathématiques (Topologie / Théorie des graphes)*

**Mots Clés :**

**Mots clés** (en français) **Mots clés** (en anglais)

Feu Fire

Automate cellulaire Cellular automaton

Statistique Statistics

Modélisation Modelling

Percolation Percolation

**Bibliographie commentée :**

Depuis 2007 en France, en moyenne 3 600 feux de forêts ont consumé 11 400 ha par an [1]. La détection et la prévention de ces incendies est donc un enjeu majeur. Actuellement, il existe différentes techniques pour lutter contre ces catastrophes. Le système Adélie (Guetteur du feu) en est un exemple. Un logiciel traite les images de plusieurs caméras disposées sur une tour [2]. L’utilisation de drones est également une solution envisagée par le laboratoire Sciences Pour l’Environnement (projet Goliat) [3].

L’utilisation d’automates cellulaires est un moyen efficace de modéliser la percolation. Cette technique de programmation a été inventée par John von Neumann inspiré des travaux de Stanislas Ulam dans les années 1940[4]. Le plus fameux est le Jeu de la Vie de John Horton Conway [5]. Nous pourrons obtenir un système complexe à partir de règles simples. Il s’agit de diviser l’espace en une grille constituée de cellules puis l’utilisation de règles discrètes au voisinage de chaque cellule permet alors l’obtention d’un comportement à l’échelle macroscopique. Cette méthode permet ainsi une grande liberté dans l’élaboration des contraintes.

Ensuite nous pourrons étudier les caractéristiques de ce milieu en utilisant la théorie de la percolation. Le coloriage aléatoire d’un réseau et, par correspondance, notre feu de forêt sont des modèles de percolation [6]. Il s’agit de déterminer si le feu pourra traverser la forêt de proche en proche. Pour mieux comprendre ce phénomène, nous avons réalisé une expérience qui nous a permis de faire l’analogie entre la percolation du feu et la conductivité du courant électrique.

Pour simuler ce phénomène, nous nous sommes aussi intéressés aux lois de diffusion. Adolf Fick propose en 1855 les lois mathématiques de la diffusion particulaire. Ses recherches le conduisent à réaliser une analogie avec la conduction de la chaleur et de l’électricité. Ainsi la diffusion de particules peut être décrite sur la même base mathématique que la loi de Fourier établie en 1807 ou la loi d’Ohm pour l’électrocinétique de 1827. En suivant la démarche de Fourier, il obtient alors la loi générale de la diffusion [7]. La discrétisation de cette loi nous permettrait d’obtenir un comportement global régissant une loi physique réelle.

Enfin, ce qui change essentiellement le seuil de la percolation est le maillage du terrain qui peut prendre la forme d’un carré, d’un triangle, d’un nid d’abeille. En modifiant la communication des arbres entre eux, nous impactons la manière dont se propage le feu. Ainsi, nous pourrons observer cette différence et en déduire quelle est la meilleure solution pour empêcher la diffusion du feu [8].

Notre étude mettra donc en évidence l’influence de ces paramètres sur le seuil de percolation et nous pourrons trouver des solutions pour l’augmenter.

**Problématique retenue :**

Comment prévenir les risques de feux de forêts grâce à une modélisation et à l’étude du seuil de percolation du terrain ?

**Objectif du TIPE du candidat :**

Le premier enjeu est de faire une modélisation informatique des feux de forêts afin de réaliser une étude statistique pour étudier la percolation du milieu. Nous pourrons alors comparer nos résultats à la percolation sur un modèle plus simple. Dans un second temps nous modifierons les paramètres du modèle afin d’observer leurs influences sur le seuil de percolation. Je m’intéresserais notamment au maillage de la forêt sur la propagation du feu et donc sur le seuil de percolation.

**Objectif du TIPE du second membre du groupe :**

Après avoir réalisé une modélisation informatique des feux de forêts, nous avons comparé nos résultats avec ceux d’une expérience que nous avons menée sur la percolation. Celle-ci mettait en place un réseau de billes en fer et en verre à travers lequel le courant électrique pouvait circuler ou non.

Ensuite, nous avons amélioré notre modèle afin qu’il respecte les principes de la physique diffusive.

Enfin, nous avons proposé une amélioration de notre modèle en prenant en compte de nouveaux facteurs. Pour ma part, je me suis intéressé à l’influence du vent dominant sur la propagation du feu.

**Références bibliographiques :**

1. A-S. LEBRITON (2020). Feux de forêts: les prévenir et s’en protéger. p.8. (consulté le 11/01/2021) [en ligne] <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020.06.19-DP_Feux_foret_campagne_2020_vf.pdf>
2. Paratronic. Détection Automatique des incendies et feux de forêts ((En Ligne)). (Page consultée le 11/09/2020). <http://www.paratronic.info/contenus/actualite.php?IDL=6&IDA=14#:~:text=Bien%20avant%20qu'un%20arbre,incendies%20et%20feux%20de%20for%C3%AAts.>
3. Le journal CNRS. Des outils pour « prévoir » les feux de forêt ? ((En ligne)). (Page consultée le 10/01/2021) <https://lejournal.cnrs.fr/articles/des-outils-pour-prevoir-les-feux-de-foret>
4. J. VON NEUMANN, A.W. BURKS (1966). Theory of Self-Reproducing Automata. University of Illinois Press
5. M. Gardner (1970). Mathematical Games – The Fantastic Combinations of John Conway’s New Solitaire « Game Life », Scientific American Vol. 223, p. 120-123
6. CNRS images des mathématiques. La percolation, jeu de pavages aléatoires. ((En ligne)). (Page consultée le 30/11/2020)

<https://images.math.cnrs.fr/La-percolation-jeu-de-pavages-aleatoires.html>

1. A. FICK (1855). « Über Diffusion », Annalen der Physik und Chemie. Vol.94, p. 59-86
2. M. JARRY, P. CAMPET (2010). Modélisation d’un feu de forêt. Master pro de didactique de mathématiques, Mémoire de modélisation.

**DOT :**

1. Septembre - Octobre : Création d’un automate cellulaire simple, recherche du seuil de percolation et 1ère étude statistique.
2. Fin Octobre : Expérience sur la percolation à travers l’étude de la conductivité électrique d’un milieu percolant (billes en métal et en plastique) et comparaison avec notre première modélisation.
3. Décembre : Rapprochement insatisfaisant de l’automate cellulaire avec les résultats théoriques de diffusion.
4. Janvier : Amélioration du modèle grâce à la diffusion de particules.
5. Mars : Implémentation du vent et solution pour maîtriser le seuil de percolation.
6. Mi-Mai: Comparaison entre un maillage carré et triangulaire de la forêt.