

Atelier de Recherche Encadré “Dynamic”

1 Présentation rapide des automates cellulaires

Un automate cellulaire est un monde composé de *cellules*. Le monde est de dimension n (finie), il peut donc s’agir d’une ligne ($n = 1$), d’un plan ($n = 2$), etc.

Les cellules peuvent être dans un *état* différent. Dans le cas le plus simple il n’y aura que deux états possibles $\{0,1\}$, mais ici encore il n’y a pas de limite aux nombres d’états possibles.

Dans la suite, on va définir la notion de *voisinage* comme étant les cellules “proches”, par exemple on peut commencer en considérant les cellules directement adjacentes à une cellule. Dans le contexte des automates cellulaires, il est courant de considérer que le monde est un *torus*. Ainsi, la première cellule d’une ligne est voisine avec la deuxième cellule mais également avec la dernière.

L’élément central d’un automate cellulaire est sa dynamique. Il s’agit de définir comment le système évolue, d’un instant t à un instant $t + 1$. Les règles qui régissent cette évolution sont simples, *i.e.* l’état d’une cellule à $t + 1$ ne dépend que de l’état des cellules voisines à l’état t . Par exemple, toujours sur une ligne, on peut spécifier que si les deux voisins sont à l’état 1, la cellule devra être à l’état 0 à la prochaine itération, etc.

Voici pour illustrer un pas dans la dynamique d’un automate unidimensionnel, où la seule règle serait celle donnée ci-dessus. Partant de la situation initiale:

0	1	1	0	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

On obtient le nouvel état:

0	1	1	0	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

La “magie” des automates cellulaires tient au fait que ces règles simples engendrent des comportements d’une grande complexité. Un des automates les plus célèbres est le *jeu de la vie*, proposé par Conway en 1970. Le monde est planaire, et les états binaires. Les règles tiennent en une ligne: une cellule naît si elle possède 3 voisins, et reste en vie si elle en a 2 ou 3. Sur cette base, il est possible d’étudier les configurations stables (qui n’évoluent plus), les états qui ne peuvent jamais survenir (“jardins d’eden”), etc. Il existe de nombreux autres automates cellulaires dont le comportement est relativement bien étudié, et la littérature est riche à ce sujet¹.

2 Un automate cellulaire pour simuler les feux de forêt

On va s’intéresser dans la première partie de l’atelier à la modélisation de la propagation d’un feu de forêt par automate cellulaire. Il s’agit là d’un automate de dimension 2. Les états possibles sont alors au nombre de 4 (pour commencer):

- un état *vide* (en particulier, sans arbre),
- un état *arbre*, qui représente le fait qu’il y a un arbre à cet endroit-là,
- un état *feu*, qui représente un arbre en flamme,
- un état *cendre*, qui représente un arbre brûlé,

Initialement l’état ne contient que des arbres, des cellules vides, et une cellule unique en feu (le départ du feu). La densité forestière d’un état est le nombre d’arbres (dans la configuration initiale), rapporté au nombre de cellules de votre automate. Le taux de destruction de la forêt est le nombre d’arbres brûlés par rapport au nombre d’arbres dans la configuration initiale.

La dynamique de ce système est donnée par les règles suivantes:

- une cellule enflammée (feu) devient de la cendre au moment suivant,
- une cellule arbre devient feu au moment suivant si elle est à proximité d’une cellule feu.

L’objectif sera ici pour vous:

¹Pour commencer, nous suggérons la lecture du très bel article de J.-P. Delahaye sur le jeu de la vie: “Le royaume du jeu de la vie. Pour la Science 378. Avril 2009”. Accessible à <http://www2.lifl.fr/~delahaye/HECI/JeuDeLaVie.pdf>

- d'écrire le code permettant, depuis une situation initiale donnée, de faire évoluer votre automate jusqu'à un état stable (c'est-à-dire qu'il n'évolue plus), et de permettre la visualisation graphique de cette évolution
- d'écrire le code permettant de générer automatiquement une configuration initiale de densité forestière donnée
- de vous livrer à une analyse de votre modèle, en évaluant la manière dont le résultat (le taux de destruction) varie en fonction de certains paramètres. Le paramètre central sera ici pour vous la densité de forêt dans la configuration initiale, mais vous pourrez proposer des critères plus raffinés pour l'analyse (mesures de dispersion de la forêt, par exemple). Pour mener à bien cette évaluation, il vous faudra vous livrer à des séries de simulations qui vous permettront de dégager des tendances générales et de procéder à une évaluation statistique de base (moyenne, écart-type, etc.)
- de proposer une extension simple du modèle. Quelques exemples: faire durer le feu plus d'un pas de temps, varier les types d'essences des arbres, certains étant plus résistant que d'autres et ne s'enflammant que si plusieurs cellules adjacentes sont enflammées, ou que si elles sont en contact assez longtemps avec des cellules enflammées, imaginer d'autres types de cellules, par exemple des canadiens permettant d'éteindre des cellules enflammées, voire des animaux qui s'échappent lorsqu'ils sont au contact du feu, etc.

Toutefois, *cette extension devra rester dans un cadre strictement déterministe, et en gardant à l'esprit que le nouvel état d'un automate ne doit dépendre que de son état précédent.* (Dans la deuxième partie de l'ARE, vous aurez la liberté d'introduire des aspects stochastiques aux systèmes que vous modéliserez).