

TITRE

Merwan Achibet

Résumé

abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract xabstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstractdx abstract abstract abstract abstract abs-
tract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract

1 Introduction

2 État de l'art

La modélisation de systèmes complexes est longtemps uniquement passée par l'usage de méthodes mathématiques; typiquement, des systèmes d'équations différentielles. Ces techniques permettent de décrire des lois d'évolution et d'observer, ainsi que de prédire par extrapolation, le comportement de phénomènes du réel. Dans le cas de systèmes prenant en compte un vaste jeu de paramètres, cette approche peut néanmoins se révéler délicate à employer. Plus intrinsèquement, même si une telle modélisation est basée sur des observations ancrées dans la réalité, il s'agit d'une représentation conceptuelle d'un problème et aucune mimique des mécaniques sous-jacentes ne s'opère.

D'un point de vue historique, les prémices de l'informatique moderne et d'un tout autre paradigme de modélisation sont à attribuer aux esprits du milieu du vingtième siècle. Alan Turing introduit en 1936 la machine éponyme qui, bien que purement théorique, est capable d'exécuter des procédures. Cette démarche se démarque de l'approche mathématique et semble plus humaine ; on ne résout pas un problème en utilisant des fonctions associant une quantité à un résultat, mais on agit véritablement sur les données du problème. L'idée de base de Turing était d'ailleurs d'assimiler le fonctionnement de sa machine au travail d'une personne remplissant les cases d'un tableau infini. Entraîné par

cette mouvance procédurale et en réaction aux réseaux de neurones de McCulloch et Pitts, John von Neumann introduit le terme d'automate en 1946.

Simplement, un automate est une machine qui, à partir de données fournies en entrées, produit des données en sortie et ce, en fonction de règles internes prédéfinies. On choisit de se concentrer sur une sous-catégorie d'automates, les automates finis à états, changeant leur représentation interne selon des règles de transition. John von Neumann et Stanislaw Ulam joignent leurs travaux pour concevoir le premier automate cellulaire. Un automate cellulaire est un système comprenant un ensemble d'automates finis spatialement localisés, typiquement sous forme de grille, et interconnectés en fonction de leur proximité. Les entrées de chaque automate correspondent alors aux états des automates voisins et de fortes relations d'interdépendance se dégagent de cette organisation. Le jeu de la vie de Conway en est un exemple classique. La simplicité de ses règles, mise en contraste avec la variété des résultats produits témoigne de la richesse des automates cellulaires CITATION.

Les automates cellulaires ont depuis été extensivement étudiés et servent de support à de nombreuses modélisations de phénomènes biologiques et physiques [Gan+]. La motivation d'Ulam lors de leur conception était d'ailleurs de modéliser la croissance de cristaux. Ils sont aussi utilisés, entre autres, pour simuler la dynamique de fluides [FHP86], la croissance de tumeurs CI-

TATION, les dynamiques proies-prédateurs CITATION.

Les automates cellulaires, notamment de par leur caractère spatial, semblent particulièrement appropriés aux applications géographiques, et plus précisément, urbaines. Paradoxalement, ils ne furent pas immédiatement exploités à cet effet et c'est seulement suite à un article de Waldo Tobler, en 1975, que le rapprochement entre les automates cellulaires et le domaine de la géographie apparaît clairement [Tob75].

Il est important de remarquer que la simplicité des règles régissant le fonctionnement d'un automate cellulaire strict s'oppose à la qualité de la modélisation, notamment lors de la conception de modèles spécifiques [TO01]. Dans ce cas, une prise de liberté quant au formalisme originel est autorisée, voire nécessaire, pour obtenir des résultats réalistes [Whi98].

La première limite que le formalisme de base impose est la discrétisation des états que chaque cellule peut adopter. Même si cette caractéristique fait partie intégrante des particularités qui confèrent aux automates cellulaires leur simplicité, la description de quantités pouvant arborer un large éventail de valeurs est alors impossible. Plus concrètement, il est aisé de catégoriser les cellules d'un espace selon le fait, par exemple, qu'elles contiennent des installations humaines ou non (état booléen) [BCR04 ; CD] ou de façon plus sophistiquée, en fonction de leur usage terrestre (résidentiel, commercial ou industriel [LTM] et plus [DPGL03]). Pour

L'homogénéité d'un automate cellulaire fait partie intégrante de sa définition de base. En mettant de côté l'état qu'elles adoptent, toutes les cellules sont identiques en forme et en structure de voisinage. Dans le cadre de notre problématique, cette approche est limitante car,

dans une ville, les parcelles ne sont que rarement identiques et alignées. TESSELATION DE VORONOI / TRIANGULATION DE DELAUNAY

De la même façon, la notion de voisinage est clairement à redéfinir. Pour des problèmes classiques, les voisinages de von Neumann et de Moore sont régulièrement utilisés mais la relation par contiguïté qu'ils décrivent ne convient pas à la représentation des liens de dépendance à plus grande échelle se développant dans un système urbain. Le positionnement d'un bâtiment résidentiel dans une ville se base évidemment sur le voisinage direct des zones considérés (on veut ajouter une maison dans un quartier résidentiel) mais il faut aussi prendre en compte les alentours plus distants (la centrale thermique se trouvant à 500 mètres du site envisagé). Une solution possible est d'étendre les voisinages de von Neumann et de Moore tout en conservant leur forme caractéristique CITATION. Une autre idée est d'utiliser un automate cellulaire graphe pour représenter un espace [O'S01].

La problématique temporelle est à aborder. Un automate cellulaire strict est synchrone, i.e. les changements d'état de toutes les cellules s'effectuent simultanément. Si le choix était fait de mettre à jour chaque état de façon asynchrone, le comportement d'un automate cellulaire serait lourdement impacté. Par exemple, les qualités auto-réplicatives de certaines entités du jeu de la vie ne seraient pas garanties. Il est pourtant légitime de se questionner sur l'intérêt et la validité d'un tel choix dans une simulation urbaine. BLABLA

EXEMPLE (POTENTIEL)

AUTRES APPROCHES (L/GEOM/VEC)

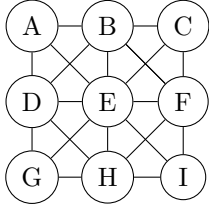
ROUTES

Références

- [BCR04] Lucien BENGUIGUI, Daniel CZALANSKI et Rafael ROTH. *Modeling Cities in 3D : A Cellular Automaton Approach*. Rap. tech. 11. Israel Institute of Technology, 2004, p. 1829–1841.
- [CD] Jeremy CORNU et Adrien DELCOURT. *Simulation de la dynamique spatiale urbaine par automate cellulaires*. Rap. tech.
- [DPGL03] Edwige ; DUBOS-PAILLARD, Yves ; GUERMOND et Patrice LANGLOIS. “Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire : le modèle SpaCelle”. Dans : *L'Espace géographique* 32 (2003), p. 357–.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

(a) Automate cellulaire simple



(b) Automate cellulaire graphe

FIGURE 1

- [FHP86] U FRISCH, B HASSLACHER et U POMEAU. “Lattice-gas automata for the Navier-Stokes equation”. Dans : *Physical review letters* (1986). URL : <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.56.1505>.
- [Gan+] Niloy GANGULY et al. “A Survey on Cellular Automata”. Dans : (), p. 1–30.
- [LTM] Tom LECHNER, Seth TISUE et Andy MODDRELL. “Procedural Modeling of Urban Land Use”. Dans : ().
- [O’S01] David O’SULLIVAN. “Exploring Spatial Process Dynamics Using Irregular Cellular Automaton Models”. Dans : 33.1 (2001).
- [TO01] Paul M TORRENS et David O’SULLIVAN. “Cellular automata and urban simulation : where do we go from here?” Dans : *Environment and Planning B : Planning and Design* 28.2 (2001), p. 163–168. ISSN : 0265-8135. DOI : 10.1068/b2802ed. URL : <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b2802ed>.
- [Tob75] W R TOBLER. “Cellular Geography”. Dans : (1975).
- [Whi98] Roger WHITE. “Cities and Cellular automata”. Dans : *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2.2 (1998), p. 111–125. ISSN : 1026-0226. DOI : 10.1155/S1026022698000090. URL : <http://www.hindawi.com/journals/ddns/1998/245791/abs/>.