



HAL
open science

Essai de modélisation des dynamiques géospatiales en 3D+1D par automates voxelaires

Igor Agbossou, Pierre Frankhauser

► **To cite this version:**

Igor Agbossou, Pierre Frankhauser. Essai de modélisation des dynamiques géospatiales en 3D+1D par automates voxelaires. Treizièmes Rencontres de Théo Quant, May 2017, Besançon, France. hal-01530101

HAL Id: hal-01530101

<https://hal.science/hal-01530101>

Submitted on 31 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Essai de modélisation des dynamiques géospaciales en 3D+1D par automates voxelaires

Igor Agbossou, Pierre Frankhauser

Laboratoire Théma

UMR 6049 CNRS - Université Bourgogne Franche-Comté

igor.agbossou@univ-fcomte.fr

pierre.frankhauser@univ-fcomte.fr

Mots-clefs - Voxel, automate voxelaire, voisinage 3D, continuum espace-temps 3D + 1D

Contexte et objectif

L'analyse des processus géographiques nécessite la prise en compte de l'espace tridimensionnel ainsi que le continuum espace-temps. Par ailleurs, le développement des nouvelles techniques d'acquisition et de consolidation de l'information géographique favorise l'émergence des modèles numériques 3D des espaces urbains. Cependant, la plupart des modèles de géosimulation actuels s'appuient sur une formalisation en deux dimensions du cadre spatial et la troisième dimension n'est prise en compte que par le biais de paramètres ou attributs de localisation.

Aussi, l'objectif de ce papier est de proposer, sur la base du concept de voxel et la théorie des automates, un formalisme conceptuel et mathématique des automates voxelaires en géographie. À l'instar des modèles d'automates cellulaires dont l'unité de base est la cellule spatiale en deux dimensions ou le pixel selon la résolution spatiale, les automates voxelaires s'appuient sur l'unité volumétrique en trois dimensions : le voxel. Outre la géovisualisation, notre proposition est une extension de la formalisation théorique et conceptuelle des modèles de géosimulation capables de simuler les dynamiques et les processus spatio-temporels en 4D, le temps étant la quatrième dimension.

Données et méthode

En géographie, les automates cellulaires ont été proposés par Tobler (1979) comme une approche pratique de modélisation et de représentation des changements spatio-temporels. Depuis, plusieurs travaux de recherches ont su appliquer les automates cellulaires de multiples façons pour simuler des phénomènes spatio-temporels complexes (Couclelis, 1985; Batty et Longley, 1997; Frankhauser, 1994; White et al., 1997; Clarke and Gaydos, 1998; Berjak et Hearne, 2002; Benenson et Torrens, 2004; Rothman et Zaleski, 2004; Antoni, 2006; Agbossou, 2007, 2010). En effet, les automates cellulaires répondent bien aux besoins de modélisations de nombre de systèmes géographiques complexes, car les phénomènes étudiés sont de nature spatiale avec une dépendance temporelle. De plus, les résultats issus des différentes interactions entre les composants du système modélisant les phénomènes présentent des formes de complexité variée.

Malgré l'extension du formalisme des automates classiques aux automates cellulaires en géographie, la plupart des modèles développés jusque-là se limitent à l'espace bidimensionnel voire 2D + 1D si on tient compte du changement temporel. Mais en réalité, la dynamique des systèmes géographiques évolue dans un continuum spatio-temporel 3D + 1D. Par exemple, même si la modélisation et l'analyse des changements d'occupation du sol se font en ayant

recours aux données spatiales en deux dimensions, la prise en compte concomitante de l'altimétrie comme la troisième dimension permettrait de mieux caractériser les espaces et ouvre la possibilité de procéder au calcul d'autres métriques ou indices en lien avec l'analyse spatiale 3D. Par ailleurs, l'étude des phénomènes comme la propagation de feu, la diffusion de polluants, ou encore le changement de paysage (Foltête, et al. 2014), etc révélerait plus de perspicacité si leur modélisation s'appuie sur des données géospatiales 3D.

Reprenant le concept de voxel et nous appuyant sur la théorie des automates, notre objectif principal est de développer un formalisme conceptuel et mathématique des automates voxelaires en géographie puis d'aboutir à un modèle capable de simuler l'évolution de phénomènes géographiques dans un continuum espace-temps 3D + 1D. À l'instar du pixel (picture element), un voxel, « volumetric pixel » par contraction, est un pixel en 3D utilisable pour représenter la plus petite unité spatiale 3D dont le changement d'état est fonction des règles de transition de l'automate.

Nous devons néanmoins être conscients que dans un espace géographique la troisième dimension exige une formalisation particulière qui n'est pas identique à celle de la géolocalisation. En effet, les objets géographiques sont sujets à la gravitation. Ainsi, le positionnement d'un objet en 3 dimensions est soumis à des contraintes omniprésentes non équivalentes à leur géolocalisation.

La discrétisation du continuum espace-temps des phénomènes géographiques en voxels et intervalles de temps réguliers est à la base de la méthodologie de construction des automates voxelaires. Le concept de voxel est largement utilisé en informatique graphique pour la modélisation des objets 3D et les scènes 3D pour la représentation des paysages virtuels (Seitz and Dyer, 1999 ; Baert et al., 2014) ainsi que dans les moteurs de jeux comme VoxelFarm (Voxel Farm Inc, 2015) et Unity3D (Unity Technologies, 2015). En imagerie médicale, la représentation orientée voxel permet de

modéliser des organes et des tissus biologiques (Weng et al., 2002). En science de l'information géographique, les unités volumétriques sont utilisées pour la visualisation de données 3D (Stoker, 2009) et sont intégrées dans des applications comme GRASS (Ciolli et al., 2004), PCRaster (Karssenberget et De Jong, 2005) ainsi que le logiciel de simulation NetLogo 3D (Wilensky, 1999) ou encore dans des simulateurs de projets d'aménagement essentiellement dans le contexte des outils d'aide à la décision tel que la « ESRI City Engine » (<http://www.esri.com/software/cityengine>) ou le visualisateur « evacity » développé par le CSTB (<http://www.cstb.fr/>).

Le formalisme que nous proposons améliore non seulement la visualisation des dynamiques, mais également la prise en compte de l'altimétrie à partir du positionnement géographique des voxels, la mesure des distances spatiales aux échelles temporelles ; ce qui ouvre la possibilité de confronter les modèles de simulation aux données réelles des bases de données 3D urbaines.

S'appuyant donc sur la théorie des automates cellulaires, nous développons les cinq piliers clés du modèle d'automate voxelaire à savoir : l'espace voxelaire, les états possibles d'un voxel, la discrétisation temporelle, la typologie des voisinages 3D et enfin les règles de transition. Nous pouvons d'ores et déjà représenter un automate voxelaire (AV) comme un 4-uplet défini comme suit :

$$AV = (E, V, F, t) \quad (1)$$

où E est l'ensemble des états possibles d'un voxel, V le vecteur d'éléments de voisinage pour un voxel donné, F, l'ensemble des fonctions de transition et t, la composante temporelle.

Principaux résultats

Après quelques tests algorithmiques, nous appliquons un modèle d'automates voxelaires à trois états à un espace géographique

théorique afin de simuler différents processus et d'esquisser le calcul de quelques indicateurs métriques. Les scénarios de simulation se font selon une approche du type serious game.

Références

- Antoni J-P, 2006, *Calibrer un modèle d'évolution de l'occupation du sol urbain. L'exemple de Belfort*, Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography, UMR 8504 géographie-cités, 2006, 347, <http://cybergeo.revues.org/index2436.html>
- Agbossou I, 2007. *Modélisation et simulation multi-agents de la dynamique urbaine : application à la mobilité résidentielle*, Université de Franche-Comté, 2007
- Agbossou I., 2010. *Cerner le contexte spatial par les voisinages dans les modèles cellulaires en géographie*, Rencontres interdisciplinaires sur le contexte dans les systèmes complexes naturels et artificiels, Jan 2010, Megève, France
- Aliaga, et al., 2009, *Visualization of simulated urban spaces : inferring parameterized generation of streets, parcels, and aerial imagery*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 15 (3), 424–435.
- Balogun et al., 2011, *Geovisualization of sub-surface pipelines : a 3D approach*, Modern Applied Science 5 (4), 158–165.
- Batty, M., 1997. *The computable city*. Int. Plann. Stud. 2 (2), 155.
- Batty, M., Torrens, P.M., 2005. *Modelling and prediction in a complex world*. Futures 37 (7), 745–766, SPEC.ISS.
- Batty, M., Xie, Y., 1994. From cells to cities. *Environ. Plann. B : Plann. Des.* 21, 531–548.
- Benenson, I., Torrens, P.M., 2004. *Geosimulation : Automata-Based Modelling of Urban Phenomena*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Berjak, S.G., Hearne, J.W., 2002. *An improved cellular automaton model for simulating fire in a spatially heterogeneous Savanna system*. Ecol. Modell. 148 (2), 133–151.
- Clarke, K.C., Gaydos, L.J., 1998. *Loose-coupling a cellular automaton model and GIS : long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore*. Int. J. Geograph. Inform. Syst. 12 (7), 699–714.
- Couclelis, H., 1985. Cellular worlds : a framework for modeling micro-macro dynamics. *Environ. Plann. A* 17 (5), 585–596.
- Foltête J-C et al., 2014, A methodological framework for the use of landscape graphs in land-use planning, *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, 2014, 124, pp.140-150
- Frankhauser P., 1994. *La fractalité des structures urbaines*, Anthropos, pp.291, 1994
- Rothman, D.H., Zaleski, S., 2004. *Lattice-Gas Cellular Automata : Simple Models of Complex hydrodynamics*. Cambridge University Press, London.
- Tobler W, 1979. Cellular geography. In *Philosophy in geography*. Reidel Pub, Dordrecht, Holland, 1979
- Voxel Farm Inc, 2015, Voxel Farm.