
Evaluation des simulations spatiales

Jean-Philippe Antoni – Cécile Tannier

Laboratoire Théma UMR 6049
CNRS – UFC 32 rue Mégevand 25 030 Besançon Cedex
{jean-philippe.antoni, cecile.tannier}@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ. L'évaluation de simulations prospectives pour l'aménagement urbain constitue le cadre général de cette recherche. Différents modèles dits "land-use and land-cover change (LUCC)" permettent de produire des simulations réalistes. Trois éléments déterminant la qualité des simulations produites peuvent être distingués : 1. le choix et le calibrage du modèle ; 2. la validation des simulations (qui identifie le caractère réaliste ou non des résultats obtenus) ; 3. l'évaluation des résultats au regard des objectifs d'aménagement énoncés au préalable. L'analyse de chacun de ces éléments suppose le recours à des méthodes de mesure.

ABSTRACT. The general topic is the evaluation of prospective scenarios for urban planning, especially for the management of urban built up areas. Several models of land-use and land-cover change (LUCC), based on different assumptions, allow producing realistic simulations of urban growth. Three ways can be distinguished for measuring the quality of such modelling: 1. The choice of a model and its calibration; 2. The validation (showing if results are realistic); 3. The evaluation (showing if results respect defined planning goals). Measurement methods must be associated to these three steps.

MOTS-CLÉS : modèles de changement d'occupation du sol, modélisation urbaine, espace cellulaire, évaluation de simulations, indices morphologiques

KEYWORDS: land use and cover change models, urban modelling, cell-space, simulation evaluation, morphological indexes

L'objet de la présente recherche est l'évaluation de simulations pour l'aménagement, obtenues à partir de modèles de type LUCC (Land Use and Cover Changes) dans une visée opérationnelle et prospective. Ces modèles offrent généralement des résultats qui correspondent à des scénarios, présentés sous la forme d'images raster de l'occupation du sol (ou de son évolution) entre plusieurs dates. Cependant, la simple description des différences et similitudes entre ces images ne permet pas toujours d'aller très loin dans l'analyse et surtout, dans l'évaluation des résultats obtenus. Quelle est la validité des différents scénarios ? Comment évaluer leur pertinence en termes de projet d'aménagement, au regard, par exemple du développement durable, des coûts énergétiques, du vieillissement de la population, etc. ? Pour répondre à ces questions, nous proposons de formaliser quelques principes, permettant la mise en place d'un protocole complet et rigoureux d'évaluation de la qualité des résultats de modélisation de type LUCC.

1. Définitions préalables : simulation et scénario

Une simulation est définie comme le résultat d'un modèle donné, nourri par un scénario donné. Un scénario correspond quant à lui à une *idée* d'aménagement que l'on introduit dans le modèle. Cette introduction peut se faire de deux manières : 1. en modifiant les paramètres et/ou les règles de fonctionnement du modèle (un scénario concernant le logement peut par exemple correspondre à des objectifs quantifiés en termes de construction) ; 2. en modifiant les données initiales, *i.e.* l'occupation du sol au départ (par exemple, un scénario simulant un nouveau tronçon routier). Ainsi, de chaque modification du modèle utilisé et/ou de chaque modification des scénarios résulte une nouvelle simulation, dont la qualité peut se mesurer à travers trois entrées.

Les trois entrées retenues concernent d'abord le choix du modèle utilisé et son calibrage (1), puis la validation des résultats de simulation (2), et enfin l'évaluation de la pertinence de chaque simulation dans le cadre de l'aménagement opérationnel envisagé (3).

2. Choix du modèle et calibrage

Le choix du modèle et son calibrage interviennent en préalable à la réalisation de simulations prospectives. Ils sont des éléments déterminants tant de la qualité des simulations réalisées, que de la manière dont le modélisateur pourra effectuer le passage de *l'idée* d'un scénario à sa mise en oeuvre. Cette première étape consiste à prendre le modèle en main, à « l'appriivoiser ». Elle suppose donc d'en explorer les possibilités de manière approfondie et d'en mettre en évidence les plages de sensibilité. La connaissance du modèle est ainsi indissociable de la connaissance du système modélisé (idée d'isomorphie système-modèle propre à la systémique).

Concrètement, le calibrage consiste à choisir les valeurs des paramètres, de manière à ce que les résultats fournis par le modèle se rapprochent le plus possible soit d'une situation de référence (sur la base d'une situation passée en vue d'obtenir un résultat proche d'une situation actuelle, par exemple) soit, de critères normatifs fixés extérieurement au modèle (Antoni, 2006). Ainsi, un calibrage quantitatif peut consister à ajuster au mieux les règles de transition qui déterminent le passage d'une cellule d'un état à un autre, et peut parfois être réalisé de manière semi-automatique (Straatman *et al.*, 2004). La forme qualitative des interactions est également un élément important : le calibrage de règles d'interaction spatiale, à partir du recueil et de la synthèse d'information sur la nature des interactions considérées, permet en effet d'introduire dans un modèle un élément de connaissance au moins aussi important que peut l'être la valeur exacte d'un paramètre. Quantitatif ou qualitatif, le calibrage permet d'introduire dans un modèle des éléments de mesures des états antérieurs connus ou bien des éléments de connaissance issus d'origines plus diverses.

3. Validation des résultats de simulation

La validation des résultats de simulation consiste à mettre en évidence leur caractère plus ou moins réaliste. Différentes approches peuvent être adoptées, dont l'utilisation d'indicateurs de forme pour valider le caractère « urbain » des simulations. Ainsi, plusieurs études ont montré que le nombre d'agrégats urbains bâtis de chaque taille répond à une loi de puissance inverse, dont découle une dimension fractale (White et Engelen, 1993 ; Batty et Longley, 1994). Pour une série de tissus urbains simulés à plusieurs dates, R. White et G. Engelen ont en outre observé que la distribution rang-taille des agrégats bâtis garde globalement la même forme. De fait, les indices fractals apparaissent très prometteurs pour valider la qualité des résultats (Caruso *et al.*, 2005), même s'il ne permettent pas encore d'affirmer qu'un tissu simulé est incontestablement « urbain ».

La validation des résultats de simulation peut aussi se faire par exploration, plus ou moins systématique, des possibilités de simulation. Les analyses menées par T. Bäck *et al.* (1996) pour tester la fiabilité du modèle de White et Engelen (1993) sont à cet effet exemplaires. D'une part, ils ont fait varier les conditions initiales et ont étudié l'impact de ces variations sur les simulations ; d'autre part, ils ont travaillé sur la stabilité du modèle et ont pu montrer le caractère assez stable et réaliste des résultats obtenus dans la durée des simulations. Ils ont aussi testé l'influence des cellules fixes (notamment les routes) et ont étudié la sensibilité du modèle à la modification de la valeur d'un terme aléatoire contenu dans les fonctions de transition. Le modèle s'est montré très sensible à ces variations, ce qui permet d'envisager de nouveaux calibrages sur la base d'une distribution rang-taille des agrégats bâtis, ou d'un indicateur de forme comparable.

Enfin, l'approche de la validation de résultats de simulation, basée sur l'examen d'une sélection de biographies individuelles, utilisée dans le modèle SVERIGE (Holm, 2004) semble également intéressante (Sanders, à paraître).

4. Evaluation de la pertinence des résultats de simulation

L'évaluation de la pertinence des résultats de simulation apparaît comme la dernière étape de la mesure de la qualité d'une simulation. Elle consiste à « porter un jugement » sur les simulations produites, au regard des contraintes d'aménagement (législation, volontés politiques...), afin d'évaluer le coût (social, environnemental...) des scénarios proposés. La mise au point d'indicateurs appropriés apparaît ici comme une nécessité, à laquelle répondent, par exemple les travaux de J. Agostinho (2005), qui proposent d'utiliser les dimensions fractales pour évaluer la qualité des stratégies d'urbanisme, ou encore ceux du laboratoire ThéMA qui suivent l'hypothèse que la perte (ou le manque) de hiérarchie, observés pour certains tissus, entraîne une accessibilité moindre à des aménités urbaines et rurales de nature variée (Tannier *et al.*, 2006).

4 SAGEO'2005

D'évidence, cette dernière étape est aujourd'hui encore peu explorée, ce qui réduit sensiblement la portée opérationnelle des modèles de simulation spatiale. Elle constitue toutefois une piste de recherche extrêmement intéressante, demandant de développer des indicateurs complémentaires (endogènes ou exogènes aux modèles LUCC) pour évaluer successivement la pertinence normative (le scénario mène-t-il aux objectifs fixés ?), la portée stratégiques (a-t-on les moyens d'y parvenir ?) et la valeur en termes de « durabilité » (les critères du développement durable sont ils respectés ?) de chaque simulation produite.

5. Bibliographie

- Agostinho J., 2005, Cellular Automata and Urban Planning Strategies. Using a Cellular Automata Land Use Model to establish different Scenarios of Growth, *Abstracts of the 14th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, September 9-13, Tomar, Portugal.
- Antoni J.P., 2006, Calibrer un modèle d'évolution de l'occupation du sol urbain. L'exemple de Belfort, *Cybergeo: International Journal of Geography*, n° 347, juillet 2006, 19 p.
- Bäck T., Dörnemann H., Hammel U., Frankhauser P., 1996. Modeling Urban Growth by Cellular Automata, *Proceedings of the 4th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, M. Voigt, W. Ebeling, I. Rechenberg, H.-P. Schwefel (eds), Springer, Berlin, pp. 636-645.
- Batty M., Longley P.A., 1994, *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function* (London: Academic Press).
- Caruso G., Rounsevell M., Cojocaru G., 2005, Exploring a spatio-dynamic neighbourhood-based model of residential behaviour in the Brussels periurban area, *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 19, Issue 2, pp. 103-123.
- Holm E., Holme K., Mäkilä K., Mattson-Kauppi M., Mörtvik G., 2004. *The microsimulation model SVERIGE; content, validation and applications*, SMC, Kiruna, Sweden
- Sanders L., Objets géographiques et simulation agent, entre thématique et méthodologie, *Revue Internationale de Géomatique*, Numéro spécial « Dynamiques urbaines et mobilités », à paraître.
- Straatman B., White R., Engelen G., 2004, Towards an Automatic Calibration Procedure for Constrained Cellular Automata, *Computers, Environment and Urban Systems*, volume 28, pp.149-170
- Tannier C., Frankhauser P., Houot H., 2006. *Optimisation de l'accessibilité aux aménités urbaines et rurales à travers le développement de modèles d'urbanisation fractals*, XLIIe Colloque de l'ASRDLF – XII^e Colloque du GRERBAM, Sfax, 4-6 Septembre 2006
- White, R. and Engelen G., 1993, Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns, *Environment and Planning A*, 25, 1175-1199.