



**HAL**  
open science

## Expérimentation par voie informatique de la mobilité résidentielle

Igor Agbossou, Damienne Provitolo, Pierre Frankhauser

► **To cite this version:**

Igor Agbossou, Damienne Provitolo, Pierre Frankhauser. Expérimentation par voie informatique de la mobilité résidentielle: Cas d'étude: Saône, commune de l'Est de la France.. XV ème Journées de Rochebrune - Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, 2008, Rochebrune, Megève, France. pp.1-13. halshs-00261066

**HAL Id: halshs-00261066**

**<https://shs.hal.science/halshs-00261066>**

Submitted on 6 Mar 2008

**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.

# Expérimentation par voie informatique de la mobilité résidentielle. Cas d'étude : Saône, commune de l'Est de la France.

Igor AGBOSSOU, Damienne PROVITOLLO,  
Pierre FRANKHAUSER

Laboratoire ThéMA, UMR CNRS 6049, Université de Franche-Comté, France

{igor.agbossou ; damienne.provitolo ;  
pierre.frankhauser}@univ-fcomte.fr

## Résumé

La mobilité résidentielle est un sujet complexe qui nécessite d'appréhender les interactions entre le « couple » ménage-logement. Les expérimentations *in vivo* et *in vitro* n'étant pas possible sur ce domaine d'étude, nous proposons de réaliser un modèle de simulation de la mobilité résidentielle à des fins d'expérimentation *in silico*. Pour ce faire, *VisualSimores*, un logiciel multi-formalisme associant automate cellulaire, système multi-agents et formalisme mathématique a été conçu.

## 1 Introduction

Certains phénomènes, soit parce qu'ils sont trop complexes, soit parce qu'il est impossible de les reproduire artificiellement, sont hors de portée des démarches expérimentales de type *in vivo* (expérimentation réalisée dans un organisme vivant) ou *in vitro* (expérimentation qui s'effectue dans des conditions artificielles, dans un tube, en laboratoire, en dehors de l'organisme d'origine). Des méthodes alternatives s'offrent alors aux chercheurs : recourir à l'expérimentation *in silico* (résolution numérique) ou *in virtuo* (participation de l'homme à la simulation en cours d'exécution), c'est-à-dire dans les deux cas à l'expérimentation par voie informatique. En géographie, comme dans d'autres disciplines, l'économie par exemple, on ne peut pas tout expérimenter en laboratoire, et ce, particulièrement lorsque l'on travaille sur l'homme et l'espace. On crée alors des modèles numériques à partir desquels on simule des scénarios d'évolution en faisant varier tels ou tels paramètres, telles ou telles

conditions initiales. L'ordinateur devient alors le laboratoire virtuel du chercheur et la simulation s'entend comme une expérimentation sur un modèle.

L'intérêt des modèles de simulation est donc de permettre une expérimentation virtuelle de phénomènes complexes de toute nature. Il peut aussi bien s'agir d'étudier la diffusion d'une épidémie dans une population [1], la dynamique de mobilité résidentielle [2], que l'émergence de comportements collectifs à partir de comportements individuels [3], ou encore, pour prendre un dernier exemple, l'émergence et l'évolution des systèmes urbains [4, 5].

Dans le cadre de cet article, nous portons notre attention sur l'expérimentation par voie informatique d'un système de mobilité résidentielle. Après avoir précisé dans une première partie les facteurs explicatifs de la mobilité résidentielle et les dynamiques temporelles qui lui sont associées, nous présentons dans une deuxième partie le multi-formalisme (automate cellulaire, système multi-agents) du modèle de simulation de la mobilité résidentielle ainsi que sa formalisation mathématique. Enfin, dans une troisième et dernière partie, des expérimentations sont réalisées à partir du logiciel *VisualSimores*. Le terrain d'étude retenu est celui de la commune de Saône (Est de la France).

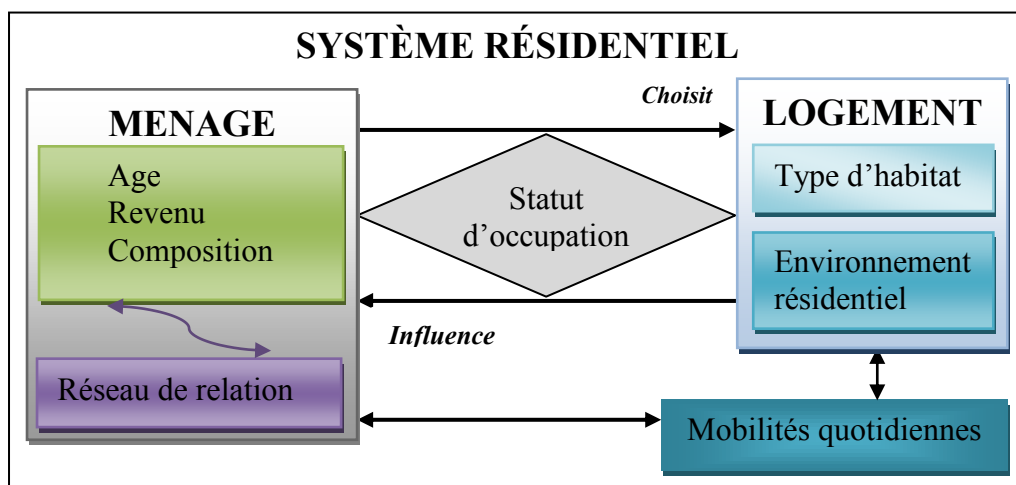
## **2 La mobilité résidentielle : facteurs et dynamiques temporelles**

La mobilité résidentielle fait l'objet de recherches importantes en matière de géographie urbaine et d'aménagement [6]. Elle permet en effet d'apporter un éclairage sur l'adaptation de l'homme aux changements de la société. Cette faculté d'adaptation s'exprime notamment au travers des possibilités de choix de localisation résidentielle [7]. Ces choix dépendent des caractéristiques des ménages et des logements [8], et génèrent, par le biais de dynamiques temporelles, les transformations de l'espace urbain.

### **2.1 Vision systémique des déterminants de la mobilité résidentielle de courte distance**

La mobilité résidentielle se définit comme l'ensemble des déplacements d'acteurs (individus ou ménages) changeant de lieu de résidence. Ces déplacements peuvent être de courte ou longue distance. La mobilité résidentielle est un sujet complexe qui consiste à étudier non seulement les trajectoires géographiques des ménages et les mutations du parc de logements mais aussi l'évolution du couple ménage-logement [op. cit. 8]. Si l'on s'intéresse à la manière dont les habitants d'une ville exploitent leur espace quotidien pour mieux comprendre leur comportement, et être apte à proposer des aménagements adaptés aux besoins et aux souhaits les plus fréquents, il est indispensable de pouvoir traduire sous forme d'indicateurs la cognition spatiale

des individus. Les recherches menées par nos prédécesseurs [9, 10] sur les comportements en matière de mobilité résidentielle font ressortir six grandes catégories de déterminants (Fig. 1), certains ayant trait aux caractéristiques des ménages (l'âge, le revenu, la composition du ménage, le statut d'occupation), d'autres à celles de leur logement (le type d'habitat et l'environnement résidentiel). Les facteurs professionnels de la mobilité résidentielle ne sont pas intégrés dans ce schéma systémique, car ils influencent la mobilité résidentielle de longue distance (extra-régionale) et non de courte distance (intra-régionale). En effet, comme le précisent T. Debrand et C. Taffin [op. cit. 8], « les raisons de la mobilité de courte distance seraient principalement d'ordre familiale ou concerneraient le choix de l'habitation, alors que la mobilité de plus longue distance serait surtout imputable à des raisons d'ordre professionnel ».



**Figure 1** - Interactions entre les déterminants de la mobilité résidentielle

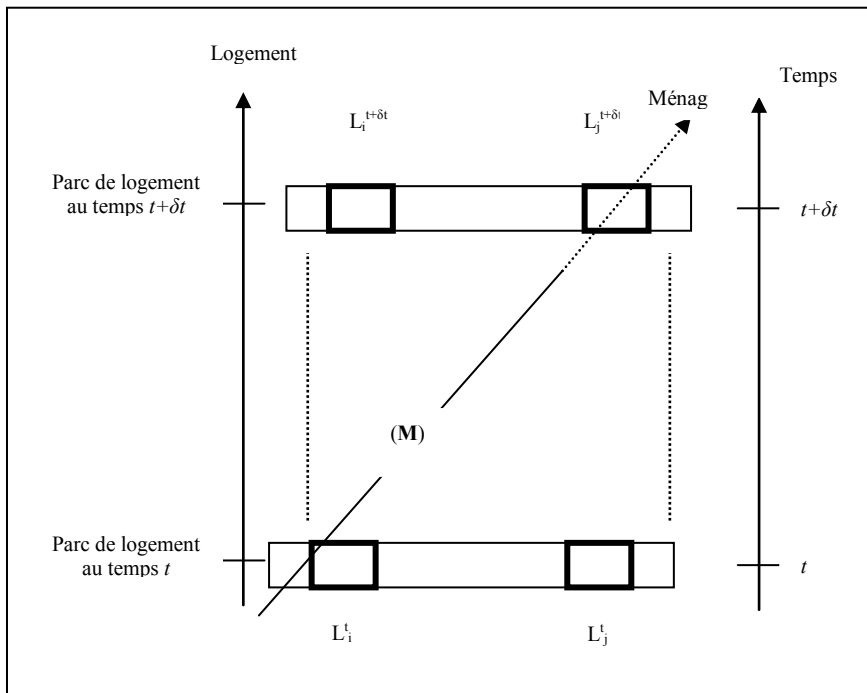
A un niveau agrégé, il est possible de réaliser une typologie de la composition des ménages en fonction de 4 situations familiales : personne seule, couple sans enfant, couple avec enfant, famille monoparentale. De même, en ce qui concerne le logement, en France, deux types d'habitat peuvent être distingués : l'appartement et la maison. Ces deux types de logement, conjugués au statut d'occupation, permettent de distinguer le parc locatif (appartements et maisons en location) du parc en propriété (appartements et maisons en propriété). Quant à l'environnement résidentiel, il définit le cadre de vie des ménages (aménités urbaines). Ces caractéristiques sont intégrées dans le modèle de simulation présenté en partie 4.

La mobilité résidentielle est également appréhendée selon un critère de temps.

## 2.2 La dynamique temporelle de la mobilité résidentielle

La mobilité résidentielle est un phénomène faisant intervenir le triptyque ménage - logement - temps. La figure 2 est une projection conceptuelle de

l'espace tridimensionnel de la mobilité sur un plan. Elle révèle le point de vue du modélisateur pour étudier son fonctionnement.



**Figure 2 - Dynamique temporelle de la mobilité résidentielle**

L'observation est longitudinale et s'opère entre les dates  $t$  et  $t+\delta t$  incluses. Un ménage mobile (M) quitte le logement ( $L_i^t$ ) qu'il occupait à la date  $t$  et emménage dans le logement ( $L_j^{t+\delta t}$ ) qu'il occupe donc en  $t+\delta t$ .

L'analyse selon l'axe "Ménag" suit le parcours  $\overrightarrow{L_i^t L_j^{t+\delta t}}$ . Mais, en considérant le système global, il pourrait y avoir de nouvelles arrivées dans le parc entre les moments  $t$  et  $t+\delta t$  : ce sont les ménages venant de l'extérieur du parc de la zone d'étude et les décohabitations. A l'inverse, certains ménages peuvent quitter un logement qu'ils occupaient dans le parc, sans réemménagement observable à  $t+\delta t$  : ce sont les ménages qui quittent la zone d'étude et les disparitions de ménage (plusieurs raisons peuvent en être la cause : décès, expropriation, expulsion, etc.). L'analyse selon l'axe "Logement" peut être entreprise à partir

d'une base de nouveaux emménagés dans le sens  $\overrightarrow{L_i^t L_i^{t+\delta t}}$ . Dans ce cas, le logement quitté ( $L_i^t$ ) devra accueillir un nouvel occupant présentant certaines caractéristiques, et dont le choix aurait porté sur ce logement. En d'autres termes, les critères de choix de ce nouveau ménage auraient été satisfaits par les caractéristiques de ce logement. Il se peut donc qu'à la date  $t+\delta t$ , ce logement reste vacant et fasse l'objet d'une nouvelle évaluation de la part des ménages à la recherche d'un logement à la date  $t+2\delta t$ .

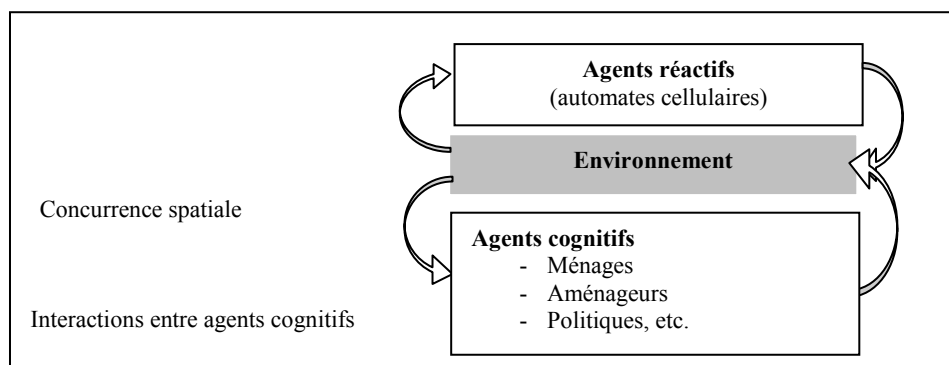
Du fait de la complexité du phénomène et de l'impossibilité de réaliser des expérimentations *in vivo* ou *in vitro*, les études sur la mobilité résidentielle nécessitent une expérimentation par simulation.

### 3 Formalisme et conception du modèle de simulation

L'un des objectifs du travail de recherche dont est issu cet article est la réalisation d'un modèle de simulation de la mobilité urbaine résidentielle de courte distance. Afin d'intégrer les composantes spatiales, résidentielles et temporelles dans un même modèle de mobilité, nous avons eu recours à un multi-formalisme, celui du couplage d'un automate cellulaire (CA) et d'un système multi-agents (SMA).

#### 3.1 Positionnements conceptuels

En géographie, N. Cocu et G. Caruso ont montré la similitude et la complémentarité entre SMA et AC [11]. Par ailleurs, D. Badariotti et C. Weber ont aussi mis en évidence la similitude entre SMA et AC au travers de deux applications de simulation de la mobilité résidentielle dans la ville de Bogotá [op. cit. 6]. Le couplage d'un SMA et d'un AC, dans une seule et même application de simulation de la dynamique urbaine, peut être très fécond en termes d'approches conceptuelles, de méthodologie et de résultats scientifiquement probants. En effet, il est d'ores et déjà acquis que les automates cellulaires sont un excellent outil de représentation de la dimension spatiale. Or, dans la plupart des applications multi agents, l'environnement fournit le contexte spatial des agents. Il devient dès lors possible de modéliser l'environnement d'un SMA par un automate cellulaire. Le système urbain étant en définitive une combinaison non linéaire des hommes, de l'espace et du temps (le temps joue le rôle de "ciment" entre les hommes et l'espace), le modéliser revient à représenter les hommes par des agents cognitifs et l'espace par un automate cellulaire que nous considérons comme un ensemble d'agents réactifs (selon des règles de type stimuli-réponse). La figure 3 donne l'illustration du couplage SMA-AC.



**Figure 3** - Couplage conceptuel SMA-AC d'un système urbain

Afin d'expérimenter la mobilité urbaine résidentielle, nous avons réalisé un logiciel de simulation *VisualSimores* (Visualisation des Simulations de Mobilité Résidentielle). Pour ce faire, les cellules de l'automate cellulaire possèdent cinq états statiques (eau, espace vert, réseau, commerce, équipement) et cinq dynamiques (appartement loué, appartement acheté, maison louée, maison achetée, zone constructible). Le SMA est constitué quant à lui des quatre types de ménages définis précédemment (personne seule, couple avec ou sans enfant, famille monoparentale). Ces ménages ne sont pas figés dans une situation familiale, ils peuvent évoluer en fonction de taux d'union et de séparation. Ces taux, sur lesquels nous reviendrons ultérieurement, sont des paramètres de modélisation. Les règles de transition des cellules de l'automate cellulaire sont dictées par les comportements résidentiels des ménages, et donc par le SMA. Ces comportements sont formalisés mathématiquement à partir de probabilités conditionnelles sur les variables des ménages (âge, revenu, composition familiale, statut d'occupation du logement). Cette formalisation mathématique permet de relier l'automate cellulaire au système multi-agents, et de prendre ainsi en compte les multiples dimensions de l'objet « mobilité résidentielle » : l'espace, le temps, le comportement des ménages. La section suivante présente globalement la formalisation mathématique du modèle.

### 3.2 Formalisation mathématique des dynamiques du système résidentiel

Nous représentons dans ce paragraphe le formalisme mathématique régissant l'ensemble du système résidentiel. En notant  $M_k$  un ménage de type  $k \in \{\text{“Personne seule”}, \text{“Couple sans enfant”}, \text{“Couple avec enfant”}, \text{“Famille monoparentale”}\}$  et  $C_{ij}(e)$  une cellule donnée dans un état  $e \in \{\text{AptLoue}, \text{AptAchete}, \text{MLouee}, \text{MAchetee}, \text{Eau}, \text{Cce}, \text{Eqt}, \text{Reseau}, \text{EspaceVert}, \text{ZoneConst}\}$ , on peut formaliser l'état du système résidentiel à une date  $t$  de la façon suivante :

$$\begin{cases} M_k^t(l) = f \left( M_k^{t-\delta t}(l), P_k^{t-\delta t}, \bigcup_{i=0; j=0}^{n; m} C_{ij}^{t-\delta t}(e) \right) \\ C_{ij}^t(e) = g \left( C_{ij}^{t-\delta t}(e), P_{C_{ij}}^{t-\delta t}, M_k^t(l) \right) \end{cases} \quad (1)$$

$\delta t$  désigne le pas de temps (par défaut chaque itération correspondra à une durée de six mois dans la réalité) ;

$\bigcup_{i=0; j=0}^{n; m} C_{ij}^{t-\delta t}(e)$  modélise l'offre de logements disponibles et c'est parmi ces derniers que le ménage de type  $k$  pourra choisir un logement  $l$  à la date  $t$  si sa migration est effective :  $M_k^t(l)$ . Dans ce cas son ancien logement devra se libérer et s'ajouter à l'offre disponible ;

$C_{ij}^t(e)$  formalise la transition d'une cellule donnée d'un état à un autre, et ce, en fonction de l'état dans lequel elle se trouve à l'itération précédente, de son potentiel d'attraction et du choix résidentiel des ménages.

Les équations (1) traduisent la double interaction entre les deux grandes entités du système résidentiel (Fig. 1) à savoir le logement et les ménages. A chaque pas de temps  $\delta t$ , il se produit une série d'interactions (changement de statut d'occupation, achat, location de logement, vieillissement, etc.) au niveau des ménages (SMA). Ces interactions ont une répercussion spatiale qui se matérialise au niveau de l'automate cellulaire. Celui-ci, en retour, rétroagit sur les comportements des ménages. Ces équations sont une écriture mathématique du comportement global du système. Mais elles ne permettent pas de rendre compte des probabilités conditionnelles des changements d'état de l'automate cellulaire. Elles sont donc réécrites sous forme de probabilités (2).

$$\begin{cases} P_k^{t+1}(C_{ij}^{t+1} = e) = P_k(C_{ij}^{t+1} = e | C_{ij}^t = e') * P(C_{ij}^t = e') \\ P(C_{ij}^{t+1} = e) = \sum_{ij}^{voisinage} P(C_{ij}^t = e | C_{ij}^{t-1} = e' \in E \setminus \{e\}) \end{cases} \quad (2)$$

La première ligne de l'équation (2) se traduit comme suit : la probabilité pour qu'un ménage de type  $k$  choisisse un logement dont l'état est  $e$  au temps  $t+1$ . La seconde ligne formalise la probabilité qu'une cellule occupe l'état  $e$  au temps  $t+1$ . Si plusieurs cellules remplissent les conditions de choix pour un ménage donné, ce dernier en choisit une au hasard, par le biais d'un générateur pseudo-aléatoire.

## 4 Vers une expérimentation *in virtuo* à l'aide du logiciel *VisualSimores*

L'objectif de cette partie est de présenter quelques résultats obtenus à partir de l'application du modèle de simulation *VisualSimores* à une zone périurbaine du périmètre du SCoT (Schéma de Cohérence Territorial) du Grand Besançon (agglomération de 120 000 habitants située dans l'Est de la France). Le terrain d'étude retenu est celui de la commune de Saône. Ce choix n'est pas anodin car, avec une activité économique dynamique, cette commune présente également une forte attractivité pour les communes rurales avoisinantes.

### 4.1 Présentation de *VisualSimores* et du terrain d'étude

*VisualSimores* est le nom du programme informatique que nous avons développé à partir du couplage AC-SMA pour simuler la mobilité résidentielle. Il s'agit d'un programme fonctionnant sous Windows et doté de menus et



commandes dans le genre de Microsoft Office (donc facile d'utilisation car très intuitif). Ce logiciel est téléchargeable à partir de l'adresse [www.visualmatics.com](http://www.visualmatics.com). Précisons que le guide complet de l'utilisateur ainsi que la documentation technique du programme sont accessibles depuis la commande "Documentation" qui se trouve dans le menu Aide.

Faisant partie des 59 communes de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB), Saône est un bourg centre doté d'une zone commerciale et industrielle et situé à 11 km de Besançon (Fig. 4), sur le premier plateau du Jura. D'une superficie de 21 km<sup>2</sup>, la commune compte en 2005, 3043 habitants. Elle remplit la fonction d'un lieu central pour les communes environnantes, de caractère plutôt rural. La commune est reliée à Besançon par le chemin de fer et par un axe routier important.

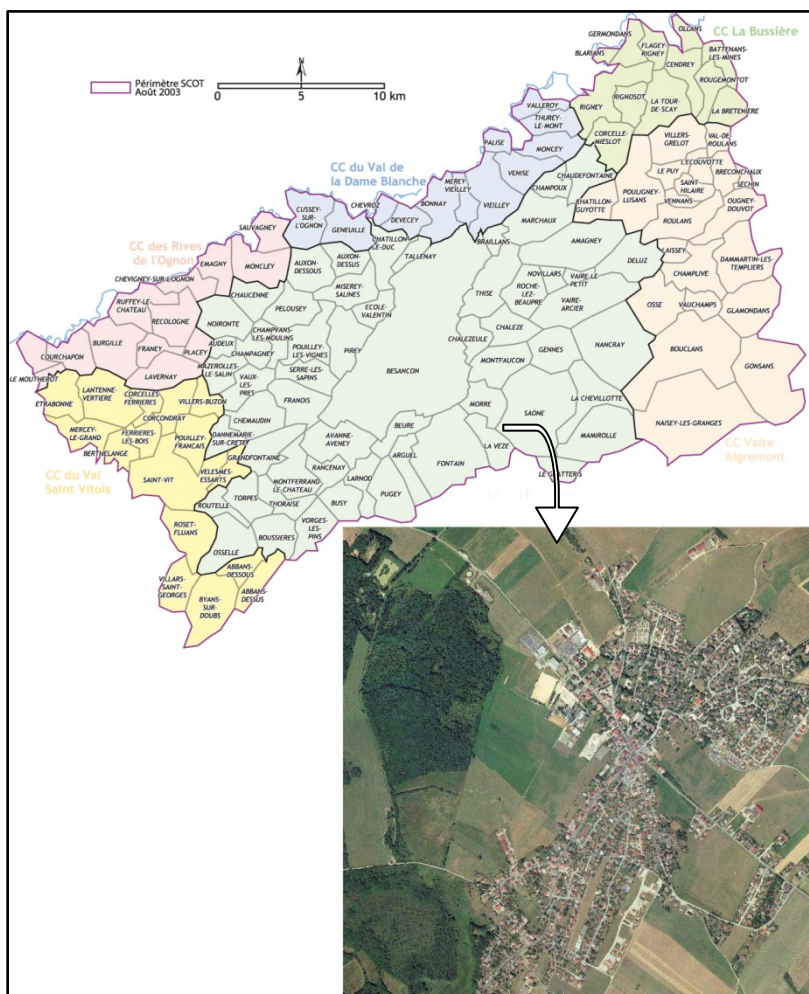


Figure 4 - Présentation du terrain d'étude

## **4.2 Calibrage du modèle et résultats de simulation**

### **4.2.1 Des données ...**

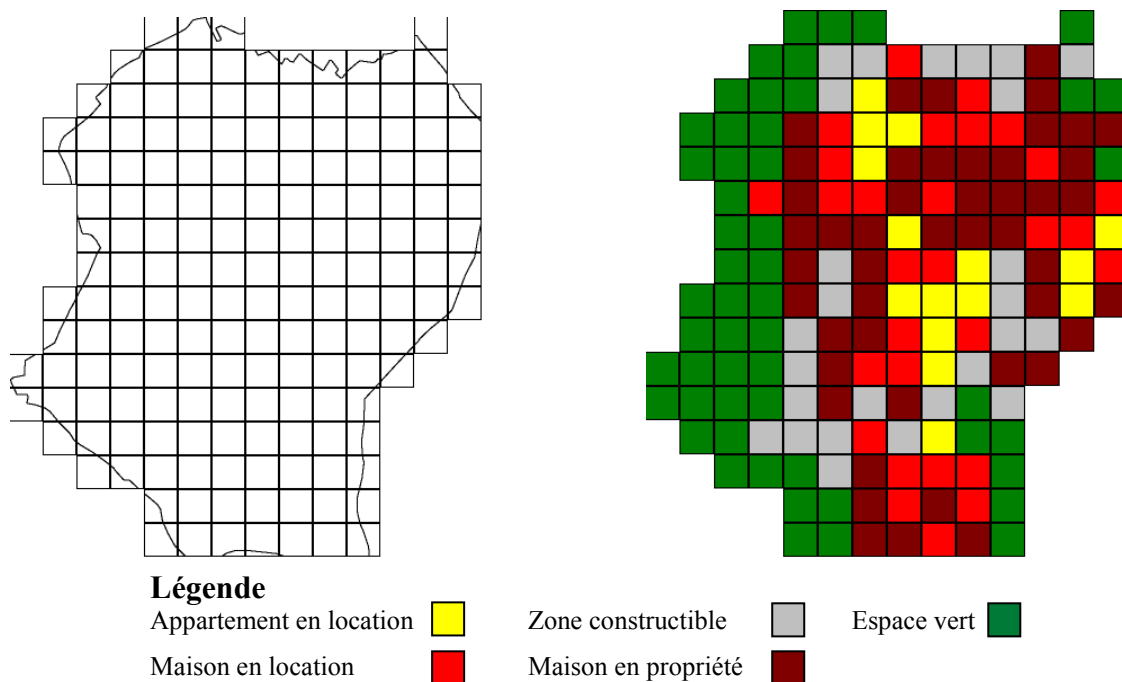
La Communauté d'Agglomération du Grand Besançon a depuis 2001 la charge de gérer les transports sur son périmètre. Cette gestion nécessite une connaissance précise des pratiques de mobilité des habitants de l'agglomération. Dans cette optique, une Enquête Ménages Déplacements a été réalisée en 2004-2005 par la CAGB dans le cadre d'un partenariat, associant l'INSEE de Franche Comté et l'AUDAB (Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Besançon) avec le soutien financier de l'Etat. L'objectif de cette enquête est de recenser et de décrire les déplacements effectués par les habitants âgés de cinq ans et plus de l'agglomération bisontine. Dans le protocole d'études, un ménage est considéré comme l'ensemble de personnes vivant dans un même logement quels que soient les liens qui les unissent. Un ménage peut comprendre une ou plusieurs personnes. Mais seule la personne de référence est interrogée.

Pour nos simulations nous avons, en ce qui concerne la commune de Saône, extrait de la base de données constituée à partir de cette enquête, les champs comportant les données quantitatives nécessaires aux expérimentations. Il s'agit notamment de : la composition du ménage, le revenu, l'âge, le statut d'occupation du logement habité ainsi que le type d'habitat.

Lors de la simulation, le concepteur ou l'utilisateur interviennent pour fixer les conditions initiales et les paramètres du modèle et pour interpréter les résultats obtenus. De nombreuses simulations ont été réalisées à l'aide de ce logiciel mais nous ne présenterons ici qu'un seul scénario, celui où le cadre de vie des ménages est de qualité moyenne et où le taux de séparation des ménages est supérieur au taux d'union. Précisons que le cadre de vie est appréhendé par un coefficient qui varie de 0 à 1, 0 pour un environnement résidentiel de qualité médiocre, 1 pour un environnement résidentiel de qualité maximale. Dans le cas de notre simulation aux valeurs moyennes, le coefficient est donc égal à 0.5.

### **4.2.2 Aux résultats**

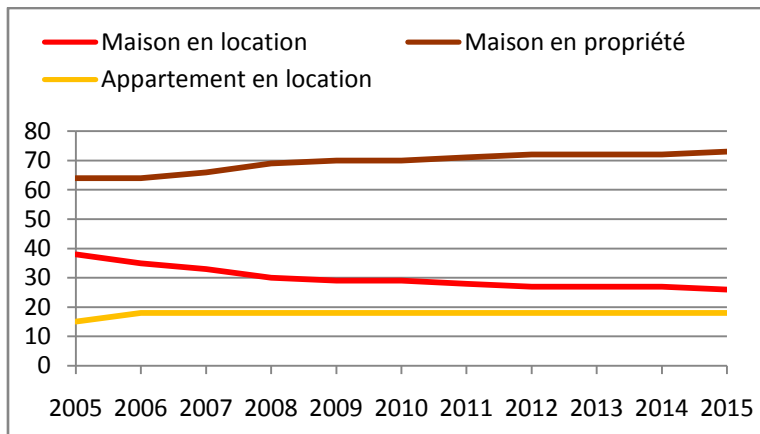
Chaque simulation est analysée sur une période de dix ans avec une situation de référence qui est celle de l'année 2005 (Fig. 5). La résolution spatiale de l'automate cellulaire est de 30 mètres. Le passage du carroyage à la configuration initiale (qui est une représentation proche de la réalité spatiale, représentation réalisée à partir de photographies aériennes et de documents d'urbanisme) est illustré par la figure 5. La légende précise les différentes couleurs affectées à chaque type d'occupation du sol durant les simulations. On pourra remarquer l'absence de l'occupation du sol type « appartement en propriété ». Il s'agit là d'une lacune de l'échantillon de l'Enquête Ménage – Déplacements [12] à partir de laquelle le modèle a été calibré. Toutefois, nous souhaitons dans les recherches futures combler cette lacune.



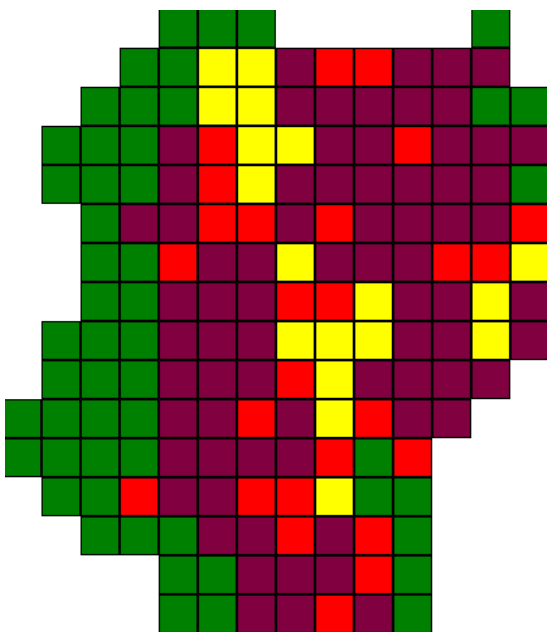
**Figure 5 - Du carroyage à la configuration initiale de 2005**

Les résultats de simulation (Fig. 6 et 7) montrent une diffusion de l’habitat constitué par les maisons en propriété aux dépens des appartements et maison en location. L’habitat de type appartement se diffuse uniquement au Nord-Ouest de la commune, tandis que l’emprise spatiale de la maison en propriété est beaucoup plus marquée. Ce fait rejoint d’ailleurs le désir des Français “d’accéder à la propriété en maison individuelle”. On voit à l’heure actuelle, la mise en place de mesures gouvernementales pour accéder à l’achat de maison individuelle à moins de 100 000 euros (hors terrain). Toutefois, ces résultats sont contre-intuitifs. En effet, on pourrait davantage s’attendre à une diminution de l’expression d’un comportement orienté vers l’accession à la propriété en raison du fait que les familles en situation de rupture sont plus enclines à se loger dans le parc locatif [13].

Face à ce résultat contre-intuitif, nous avons souhaité aller plus loin dans l’analyse. Pour ce faire, nous avons lancé les simulations d’après ce scénario sur une temporalité plus longue, soit jusqu’en 2020 en observant les ménages de type “Personnes seules” et “Familles monoparentales”. Là encore, les résultats sont surprenants. L’année 2015 serait une année charnière, une année qui marquerait un changement de dynamique de la mobilité résidentielle pour cette population de ménages avec une augmentation des appartements et une diminution des maisons. On retrouve bien là les conclusions de S. Vidberg et C. Tannier [op. cit. 13], mais avec un décalage temporel relativement important.



**Figure 6 - Evolution de l'habitat entre 2005 et 2015**



**Figure 7 - Distribution spatiale de l'habitat en 2015**

Ces résultats contre-intuitifs nous amèneront donc à vérifier, dans nos travaux futurs, un éventuel biais du modèle dû à l'absence de prise en compte de l'habitat de type "appartement en propriété". Si ce biais ne se révèle pas, alors on pourrait éventuellement expliquer ces résultats par une bifurcation du système à partir de 2015. Cette bifurcation pourrait être analysée à partir d'un plan de phase et nécessite donc le recours aux équations différentielles ou aux équations aux dérivés partielles.

## 5 Conclusion

Les expérimentations du modèle sur la zone d'étude de Saône ont révélé des points fort intéressants de l'approche "Couplage AC-SMA". Ces expériences nous ont aussi permis de prendre conscience de quelques limites non pas de l'approche mais du modèle de simulation lui-même. De plus, si ce logiciel permet à l'heure actuelle l'expérimentation *in silico*, nous souhaitons l'enrichir et parvenir à une expérimentation *in virtuo*, c'est-à-dire à une expérimentation où l'homme participe à la simulation en cours d'exécution. Un premier pas vers cette démarche expérimentale est déjà atteint puisque le concepteur ou l'utilisateur du logiciel a la possibilité d'arrêter la simulation en cours d'exécution, de modifier les paramètres ou les conditions initiales et de relancer le traitement. Mais la simulation redémarre au temps 0 et non à celui de l'interruption. L'expérimentation *in virtuo* n'est donc pas complètement atteinte.

## 6 Références

- [1] E. Eliot, E. Daudé, "Diffusion des épidémies et complexités géographiques. Perspectives méthodologiques", *Espace, Populations, Sociétés*, N° Spécial, Espace urbain et santé, (2006).
- [2] I. Agbossou, "VisualSimores: un outil de simulation multi-agents de la dynamique urbaine à base d'automates cellulaires. Méthodologie de conception, algorithmes et application", à paraître dans les Actes du colloque 2<sup>ème</sup> *Rencontre de doctorants en SHS sur la modélisation des dynamiques spatiales*, décembre 2007, Avignon.
- [3] D. Provitolo, "A proposition for a classification of the catastrophe systems based on complexity criteria", Actes du colloque international *European Conference Complex Systems-EPNACS'07*, Emergent Properties in Natural and Artificial Complex Systems, Dresde, (2007).  
<http://www-lih.univ-lehavre.fr/~bertelle/epnacs2007-proceedings/provitolo4epnacs07.pdf>
- [4] A. Bretagnolle, B. Glisse, Th. Louail, D. Pumain, C. Vacchiani-Marcuzzo, "Deux types de systèmes de villes identifiés par la modélisation multi-agents (Europe, Etats-Unis)", *Colloque de Cerisy Systèmes complexes en sciences humaines et sociales*, (2007).  
<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00159894/en/>
- [5] L. Sanders, "Agent Models in Urban Geography", in : *Agent-based modelling and simulation in social and human sciences* / sous la direction de D. Phan et F. Amblard, Ed. The Bardwell Press Oxford, (2007).
- [6] D. Badariotti, C. Weber, "La mobilité résidentielle en ville. Modélisation par automates cellulaires et système multi-agents à Bogota", *L'espace géographique* n°2, (2002).
- [7] C. Baumont, "Analyse des espaces urbains multicentriques. La localisation résidentielle". LATEC, CNRS, Université de Bourgogne (1993).

- [8] Th. Debrand, C. Taffin, “Les facteurs structurels et conjoncturels de la mobilité résidentielle depuis 20 ans”, *Economie et Statistique* N° 381-382, INSEE, (2005)
- [9] F. Dureau et alii. *Métropoles en mouvement. Une comparaison internationale*, Ed. Economica, Paris (2000).
- [10] C. Bonvalet, J. Brun, “Etat des lieux des recherches sur la mobilité résidentielle en France”, in : *Accès à la ville. Les mobilités spatiales en question*, Ed. L’Harmattan, Paris, (2002).
- [11] N. Cocu, G. Caruso, “Modéliser la complexité géographique. Vers une approche progressive Automates cellulaires-Systèmes Multi-Agents”, Document de travail, (2002).  
[http://www.geo.ucl.ac.be/IMAGES/Caruso\\_Cocu\\_WP.pdf](http://www.geo.ucl.ac.be/IMAGES/Caruso_Cocu_WP.pdf)
- [12] AUDAB, “Tableau de bord. Chiffres clés, communauté de communes du SCoT de l’agglomération bisontine”, Besançon, (2006).
- [13] S. Vidberg, C. Tannier, “Urban location strategies. Some elements for a best understanding”, Document de travail, Laboratoire ThéMA, Besançon, (1999).