



HAL
open science

De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle

Edwige Dubos-Paillard, Patrice Langlois

► **To cite this version:**

Edwige Dubos-Paillard, Patrice Langlois. De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle. XVIèmes rencontre de Rochebrune, Jan 2009, Megève, Suisse. 16p. hal-00767224

HAL Id: hal-00767224

<https://hal.science/hal-00767224>

Submitted on 20 Dec 2012

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.

De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle

E. Dubos Paillard(1), P. Langlois (2)

(1) UMR 6049 ThéMA, Université de Franche-Comté
32 rue Mégevand, 25030 Besançon
<mailto:edwige.dubos-paillard@univ-fcomte.fr>

(2) UMR 6228 IDEES, Université de Rouen
Rue Lavoisier, 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex
<mailto:patrice.langlois@univ-rouen.fr>

Résumé

Dans cet article, nous approfondissons une réflexion engagée sur les questions de validation de modèle de simulation. Nous présentons un exercice original de « *validation sémantique* ». La démarche consiste à mettre en relation une ontologie « thématique » qui identifie les processus intervenus dans l'évolution spatiale des villes durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle avec une ontologie du modèle réalisé sur Rouen à l'aide de la plate-forme SpaCelle, automate cellulaire géographique. Le but de la démarche est de faciliter l'interprétation du modèle rouennais qui intègre un nombre assez important de règles plus ou moins complexes, par la mise en relation de celles-ci avec les processus qu'elles représentent dans l'univers de la croissance urbaine.

1 Introduction

Cet article est l'aboutissement d'un certain nombre de questions et de réflexions autour de la modélisation, pas seulement relatives à la croissance urbaine ou à la thématique en général, mais concernant la modélisation elle-même. Ces questions portent sur la justification de plusieurs choix : celui du paradigme en premier lieu, puis au sein de celui-ci, celui des entités, des relations et des processus afférents, et en dernier lieu, des différents paramètres du modèle. Ces questions peuvent se regrouper sous la démarche de *validation sémantique* du modèle relativement à l'univers des connaissances théoriques auquel il se réfère. Cette approche est donc très différente de la *validation empirique* du modèle qui met en relation les résultats avec les observations issues de la réalité. Néanmoins, elles sont complémentaires et sont diversement

approfondies selon le statut que l'on attribue au modèle, plutôt explicatif ou plutôt opérationnel, voire les deux.

Cet article restitue donc la démarche mise en œuvre pour réaliser cette *validation sémantique* permettant de clarifier les choix faits en matière de construction du modèle. Après avoir présenté le cadre méthodologique, nous présenterons comment nous avons intégré dans le modèle les différents processus à l'œuvre en matière de croissance urbaine. La mise en relation de l'ontologie thématique avec celle du modèle sera présentée au travers de deux exemples, le processus de construction des grands ensembles et celui de la périurbanisation

2 Cadre méthodologique

La plate-forme d'automates cellulaires SpaCelle a été conçue en 2000 dans un but pédagogique pour permettre aux personnes n'ayant pas de connaissances approfondies en programmation de construire des modèles dynamiques distribués en utilisant une syntaxe simple assez proche du langage naturel. L'idée était de permettre au spécialiste d'un domaine de connaissances, dit « thématicien », de construire son ou ses modèles à base de règles pour qu'il puisse avoir une démarche exploratoire lui permettant de tester des hypothèses, construire des scénarios et donc approfondir par la modélisation son domaine de connaissance.

Pour tester la possibilité d'utiliser cette application dans un cadre opérationnel, nous avons entrepris ensuite de développer un modèle de « rétro-simulation » dont les résultats pouvaient être validés par comparaison avec une série temporelle d'observations connues. Nous avons réalisé et validé plusieurs modèles sur la croissance urbaine de l'agglomération rouennaise au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, (Dubos-Paillard & al. 2003, Langlois & al. 2001).

Ayant démontré qu'il était possible de concevoir des modèles empiriquement valides, nous avons cherché à compléter la réflexion engagée sur la question de la validation par une *validation sémantique*. Nous avons donc mis en œuvre une démarche méthodologique basée sur la notion de « *test ontologique* » (Livet&Sanders, 2009). Celle-ci vise à permettre une meilleure compréhension du modèle sur Rouen qui reste malgré tout complexe en raison du nombre et du caractère abstrait des règles.

Notre démarche de *validation sémantique* a donc consisté à mettre en relation des règles formelles du modèle avec des processus géographique issus de la théorie de la croissance urbaine. Le sens des règles est ainsi donné par la mise en relation avec un univers de représentations qui a un sens dans le cadre de la théorie de la croissance urbaine. Nous avons pour cela construit trois ontologies qui apportent des visions complémentaires et reliées de manière cohérente :

La première, appelée « ontologie thématique », se focalise sur le domaine géographique de la croissance urbaine (figure 1). Elle identifie les processus ayant conduit à une transformation de la morphologie des villes. Ce domaine thématique a donné lieu à de nombreuses contributions dans différentes disciplines dans lesquels les déterminants politiques, sociaux et économiques ont été largement décrits (Allain 2004, Boyer 2003, Dézert 1991, Paulet 2005, Pumain&Mattei 1998-2005-2007, Roncayolo 2001, Vieillard-Baron 2001).

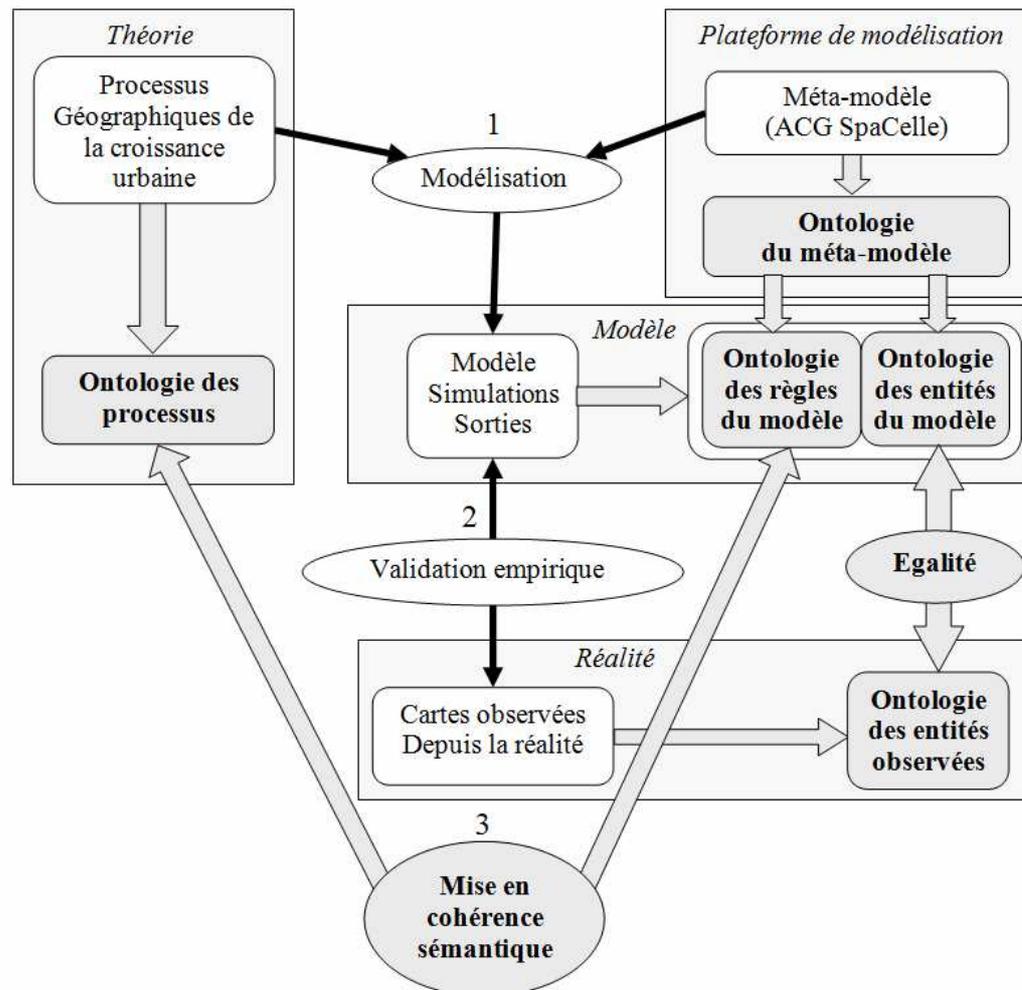


figure 1. Démarche de validation sémantique

La seconde dite « ontologie des entités observées » est identique à celle des « entités du modèle ». Elles reprennent les observations de l'évolution de l'occupation du sol à différentes dates. Ces deux ontologies sont celles du système d'information géographique sur l'évolution de l'occupation du sol.

Enfin l'ontologie des règles du modèle « rouennais », construite par une double mise en relation :

- par réalisation (ou instanciation) des entités abstraites de l'ontologie formelle du méta-modèle de SpaCelle

- par une identification sémantique de chaque règle avec un processus de l'ontologie thématique.

Ainsi, les règles du modèle de Rouen sont à la fois dérivées de la grammaire du langage SpaCelle et produites pour correspondre à la logique spatiale des différents processus. De ce fait, la qualité de la mise en relation sémantique entre l'ontologie du modèle et l'ontologie thématique constitue le cœur du test ontologique en permettant ou non de donner une signification claire aux règles, de définir leur rôle dans chacun des processus, assurant ou non une cohérence au modèle.

3 Construction de l'ontologie thématique de l'espace rouennais

En une cinquantaine d'années les pays industrialisés ont connu une révolution urbaine sous les effets combinés de la croissance importante des taux d'urbanisation et de métropolisation. La forme et la structure interne de la ville ont également été profondément modifiées () : moindre lisibilité du modèle centre - périphérie sous les effets de l'apparition de nouvelles centralités périphériques mono ou plurifonctionnelles, étalement urbain, renforcement de la division fonctionnelle des villes etc. Ces changements ont été initiés par une série de processus communs à la plupart des villes françaises mais ont eu des effets plus ou moins prononcés.

Une analyse faite sur l'espace rouennais¹, nous a conduit à en dégager huit dont nous pouvons lire une approche synthétique dans la figure 2. Beaucoup d'entre eux s'amorce durant la période observée. Seuls, les processus de reconstruction d'après-guerre et de construction des grands ensembles cessent de façon durable assez rapidement.

Ces différents processus, servant de cadre directeur à la modélisation, ont émergé, évolué et cessé dans des contextes socioéconomique, politique voire culturel précis. Bien que non spatiaux la plupart du temps, ces déterminants constituent les facteurs de déclenchement, d'évolution ou de destruction des processus spatiaux qui nous intéressent dans le cadre de la modélisation.

Ainsi, le processus de construction des grands ensembles est relativement simple à décrire d'un point de vue thématique dans la mesure où il est clairement délimité dans le temps et où les facteurs justifiant sa mise en œuvre et son arrêt sont peu nombreux. En revanche la description de la périurbanisation est plus complexe car ce processus est toujours en cours, n'a pas de date précise

¹ On exclut ici l'implantation de grands bâtiments publics tels que les hôpitaux, les universités, les cités administratives ou la construction d'infrastructures importantes telles que les aéroports, axes rapides. Ces entités ont un caractère trop singulier pour être modélisés par des règles s'appliquant de manière homogène à tout l'espace.

d'apparition et ses conditions de mise en œuvre sont relativement complexes : plus grande mobilité des personnes, élévation du niveau de vie, idéalisation des espaces ruraux plus calmes, plus purs, plus proches de la nature, dotés de meilleurs écoles, possibilité d'avoir la maison individuelle avec jardin, attitude du gouvernement et des collectivités qui le favorise dans un premier temps, prix des terrains plus faible tout comme le coût de la construction moins soumis à contraintes

Les différents ouvrages sur ce sujet font état des incidences spatiales qui sont davantage vues comme le résultat d'une combinaison de facteurs spatiaux. Les travaux sur les caractéristiques des espaces qui accueillent ces nouvelles formes d'urbanité et les spécificités de leur environnement restent souvent décrites selon des catégories générales non distribuées dans l'espace.

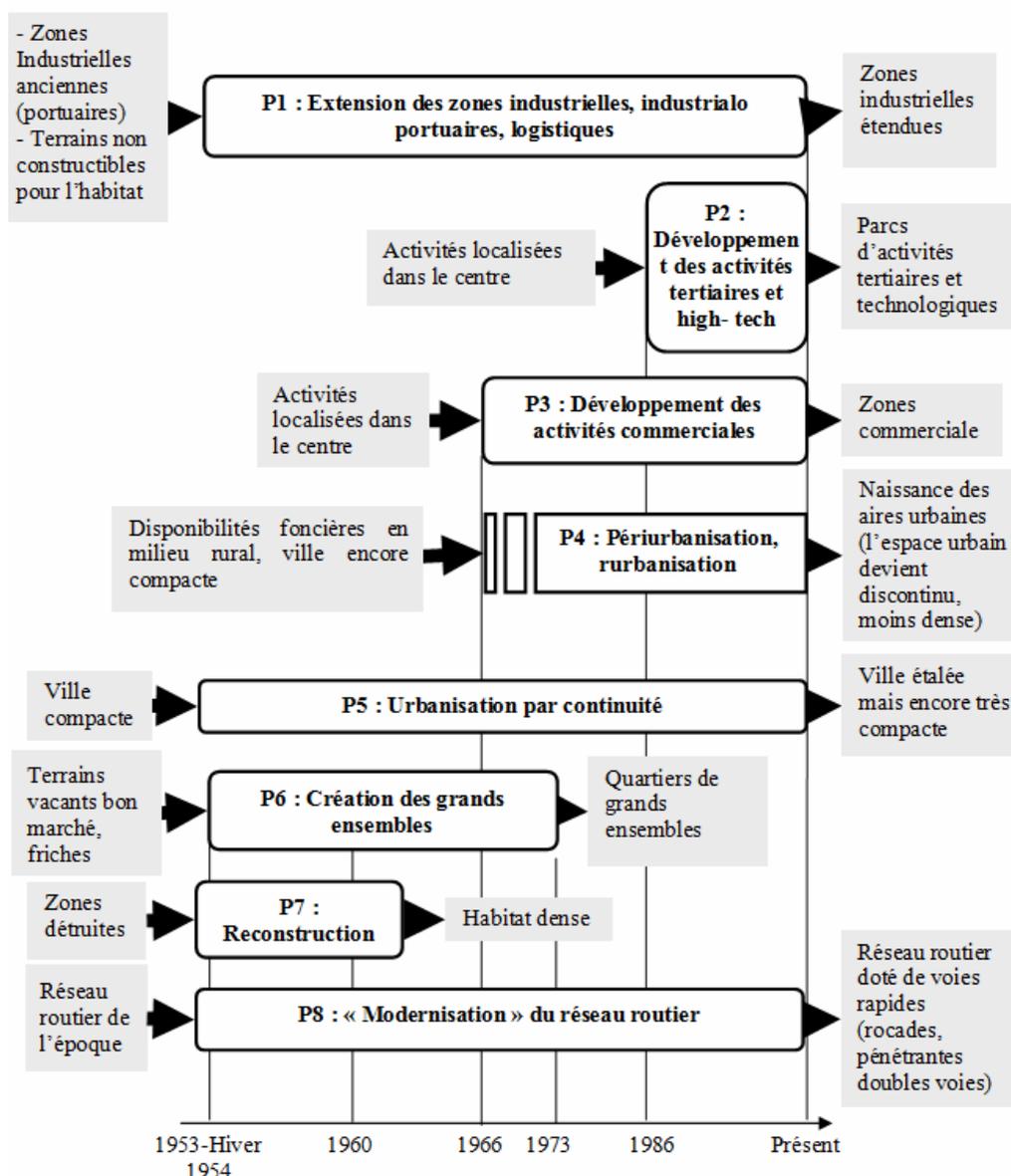


figure 2. Ontologie thématique des processus

Or l'hypothèse simplificatrice sur laquelle repose notre modélisation est que cette évolution obéit aussi, pour une large part, à une dynamique spatialement intelligible, formalisable à travers des règles simples, spatialement homogènes et susceptibles d'être généralisées à d'autres espaces urbains, moyennant éventuellement une certaine (re)calibration. C'est sur cette hypothèse que le choix du paradigme de l'automate cellulaire prend sa justification pour modéliser la dynamique urbaine. Dans ce cadre simplificateur, chaque processus a une *traduction spatiale* qui **ne dépend que de la configuration** de l'occupation du sol à un instant donné **et de règles d'évolution endogènes à cet espace**. Ces règles s'appliquent uniformément à tout l'espace, mais ne sont pas forcément appliquées sur toute la période de simulation. Néanmoins elles possèdent une certaine stabilité dans le temps qui correspond à la durée d'action des processus sous-jacents.

4 La modélisation

4.1 Le cadre conceptuel de la modélisation

La phase de modélisation proprement dite, c'est-à-dire la programmation d'une application exécutable correspondant au modèle conceptuel, n'existe pas ici. La modélisation est effectuée directement avec la plateforme SpaCelle qui permet à la fois l'écriture du modèle dynamique (éditeur de modèle) et la simulation.

SpaCelle est une plateforme à base d'automate cellulaire géographique à temps discret et états qualitatifs. Les entités du méta-modèle de SpaCelle sont décrites sous forme simplifiée dans le diagramme UML de la figure 3.

Sous SpaCelle, un modèle dynamique est constitué par un ensemble de règles indépendantes écrites dans un langage simple. Les règles sont toutes construites sur un même modèle syntaxique :

$$A > B = \text{Expression}$$

La partie « $A > B$ » est l'action envisagée de changement d'état, appelée *transition*. Le terme « Expression » permet d'évaluer la *pertinence* de la règle, relativement aux autres règles qui peuvent être en concurrence à un instant donné, dans une cellule donnée. L'Expression est formée de fonctions d'évaluation spatiales qui relèvent de quatre catégories : fonctions de proximité, d'accessibilité événementielles, d'aléas et démographiques combinées par des opérations (« + » pour la conjonction *ou*, « * » pour la disjonction *et*). Le résultat de cette expression est un nombre réel entre 0 et 1 qui résulte de l'état de la cellule et de son environnement (voisinages concentriques autour de la cellule).

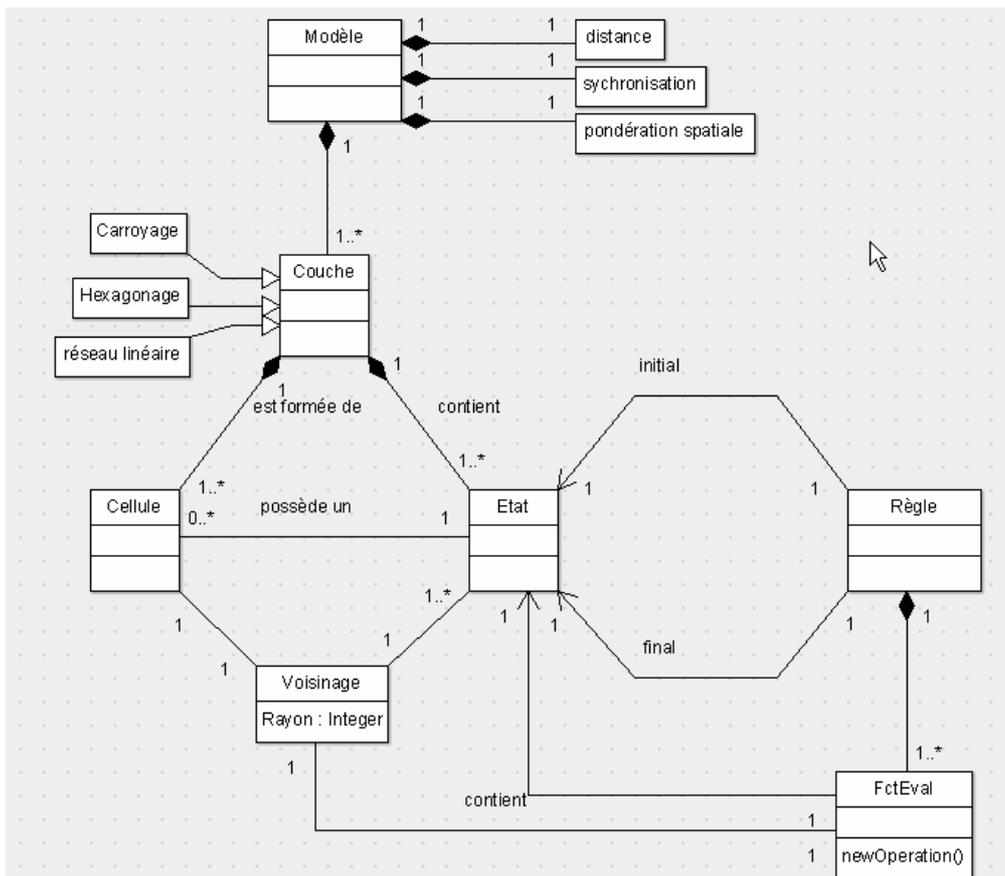


figure 3. Digramme UML du méta-modèle SpaCelle

Une règle SpaCelle possède la même sémantique qu'une phrase exprimée en langage naturel selon la forme syntaxique générale suivante :

« (Toute cellule dans) l'Etat A **est susceptible de se transformer** dans l'Etat B **lorsque** Expression ».

Dans le cas le plus général, l'Etat A d'un agent cellulaire peut être modifié par n règles transitions :

À un instant donné, seule une de ces n règles sera exécutée, ce sera celle considérée comme la plus *pertinente*, c'est-à-dire celle dont l'évaluation sera la plus forte. Si plusieurs règles ont des forces égales, un tirage au sort est effectué parmi elles pour en choisir une.

Il existe deux catégories de règles : des règles qui réagissent à des conditions internes à l'agent cellulaire, ce sont les règles de vie et des règles qui réagissent à des conditions externes à l'agent, ce sont les règles de transition.

Exemple de règle de transition :

« Toute friche (Fr) *est susceptible de se transformer* en zone pavillonnaire (Pa) lorsqu'il y a d'autres pavillons à proximité et absence d'industrie lourde (IL) ainsi qu'une bonne accessibilité au réseau routier (Rt) ou ferroviaire (Fv) »

Après le choix des fonctions et des opérations permettant de traduire la condition, cela se traduit en langage SpaCelle:

$$Fr > Pa = PV(Pa ; 3) * AV(IL ; 5) * AC(Rt+Fv ; 3)$$

On remarque que cette règle est maintenant quantifiée. En effet, la règle verbale reste qualitative dans la taille de son environnement ; le passage de la règle verbale à la règle formelle s'accompagne donc aussi d'un paramétrage pour quantifier spatialement ce que signifie « à proximité de » ou « bonne accessibilité à ». De plus, on peut faire jouer ici le « poids » de la distance, selon le choix de la fonction de pondération qu'on a choisi (uniforme, linéaire décroissante, ou selon une autre fonction), de manière à donner (ou non) au voisinage la caractéristique d'un ensemble flou.

Exemple de règle de vie

« une zone industrielle (Id) dure en moyenne 50 ans avec un écart-type de 20 ans. À sa mort naturelle elle se transforme en friche (Fr) »

En langage SpaCelle : $Id > Fr = DA(50 ; 20)$

Pour chaque agent cellulaire de type Id, un tirage aléatoire selon une loi normale d'espérance 50 et d'écart-type 20 définit alors sa durée maximale exacte de vie.

4.2 Le modèle « rouennais »

Le modèle « rouennais » dans sa version la plus élaborée, est constitué de 3 couches qui couvrent un domaine de 345 km² s'étendant bien au delà de l'agglomération rouennaise.

Deux couches (occupation du sol et relief) sont formées de carrés de 150m de côté dans un carroyage de 121 lignes et 127 colonnes (15367 carreaux). L'essentiel de l'information est contenu dans la couche « occupation du sol » qui possède 12 états caractérisant l'occupation prépondérante du sol. La couche relief contient seulement deux états spécifiant les pentes importantes ou non du relief. La troisième est une couche linéaire contenant le réseau routier et ferroviaire principal.

La dynamique porte sur l'évolution de la couche « occupation du sol » qui évolue sous l'influence de règles combinant des informations contenues dans les trois couches.

L'ontologie des entités du modèle « rouennais » est construite par instanciation des entités « abstraites » du méta-modèle. Par exemple, la couche « occupation du sol » est une réalisation de l'entité « carroyage » du méta-modèle. Dans le diagramme UML de cette ontologie (figure 4), les réalisations sont exprimées par une flèche en pointillés.

Le modèle « rouennais » a connu différentes versions plus ou moins élaborées. Il est composé d'environ 25 règles de transition, dont nous ne pouvons ici, faute de place, faire la liste et décrire le contenu.

On pourra se reporter aux annexes de (Dubos-Paillard & al. 2003) sur le site <http://www.mgm.fr/PUB/EG/DubosA1> pour examiner une version ancienne (monocouche) de ce modèle.

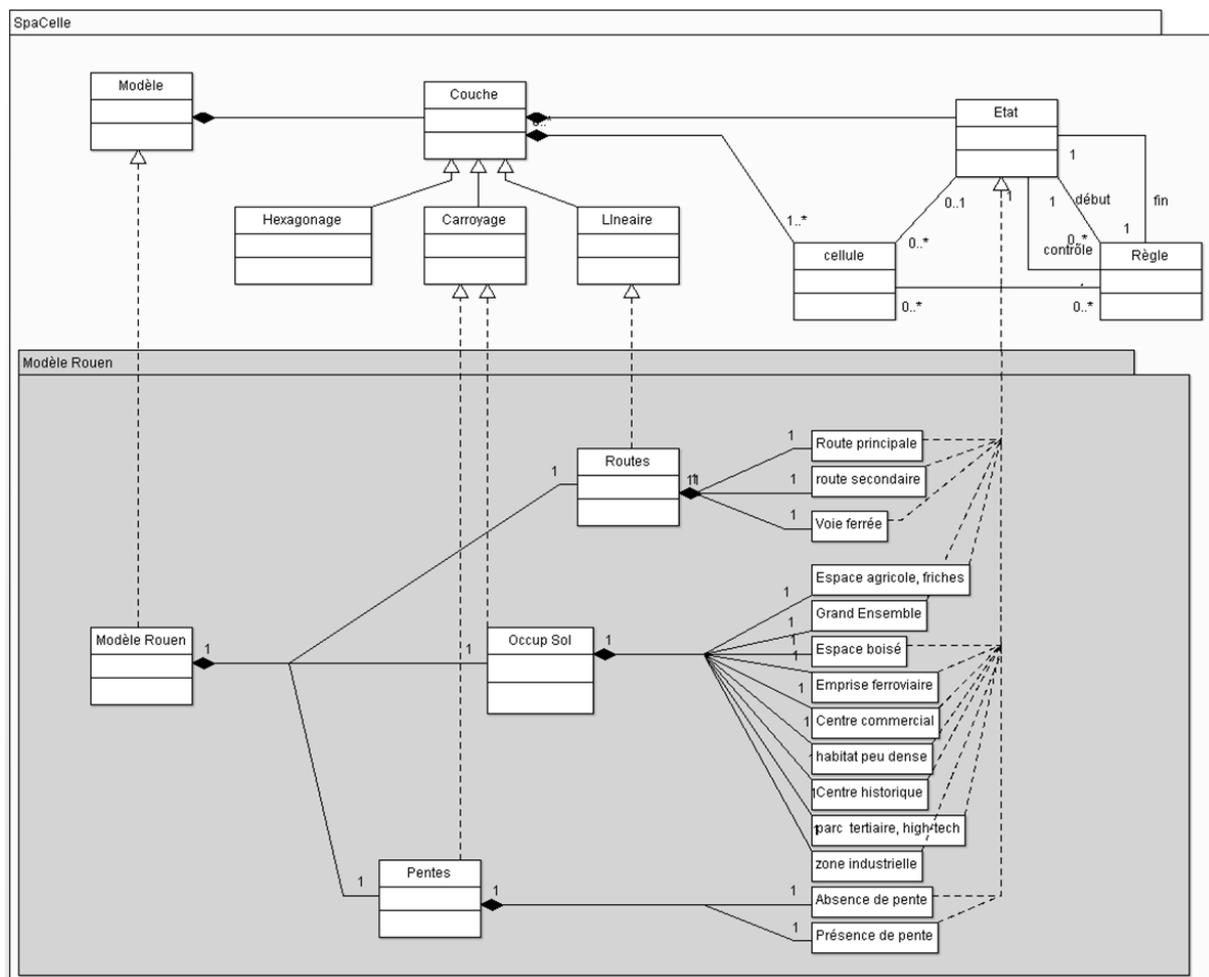


figure 4. Ontologie des entités du modèle

5 Mise en relation de l'ontologie thématique avec l'ontologie du modèle.

5.1 Relation entre processus et règles

Chaque processus de l'ontologie thématique (notés P1 à P8 sur la figure 2) peut être associé à une transition formée d'un couple d'états du modèle :

< état initial ; état final >.

La figure 5 organise ces transitions par des liens étiquetés par leur processus et lui associe le sous-ensemble des règles (notée R1 à R25) du modèle.

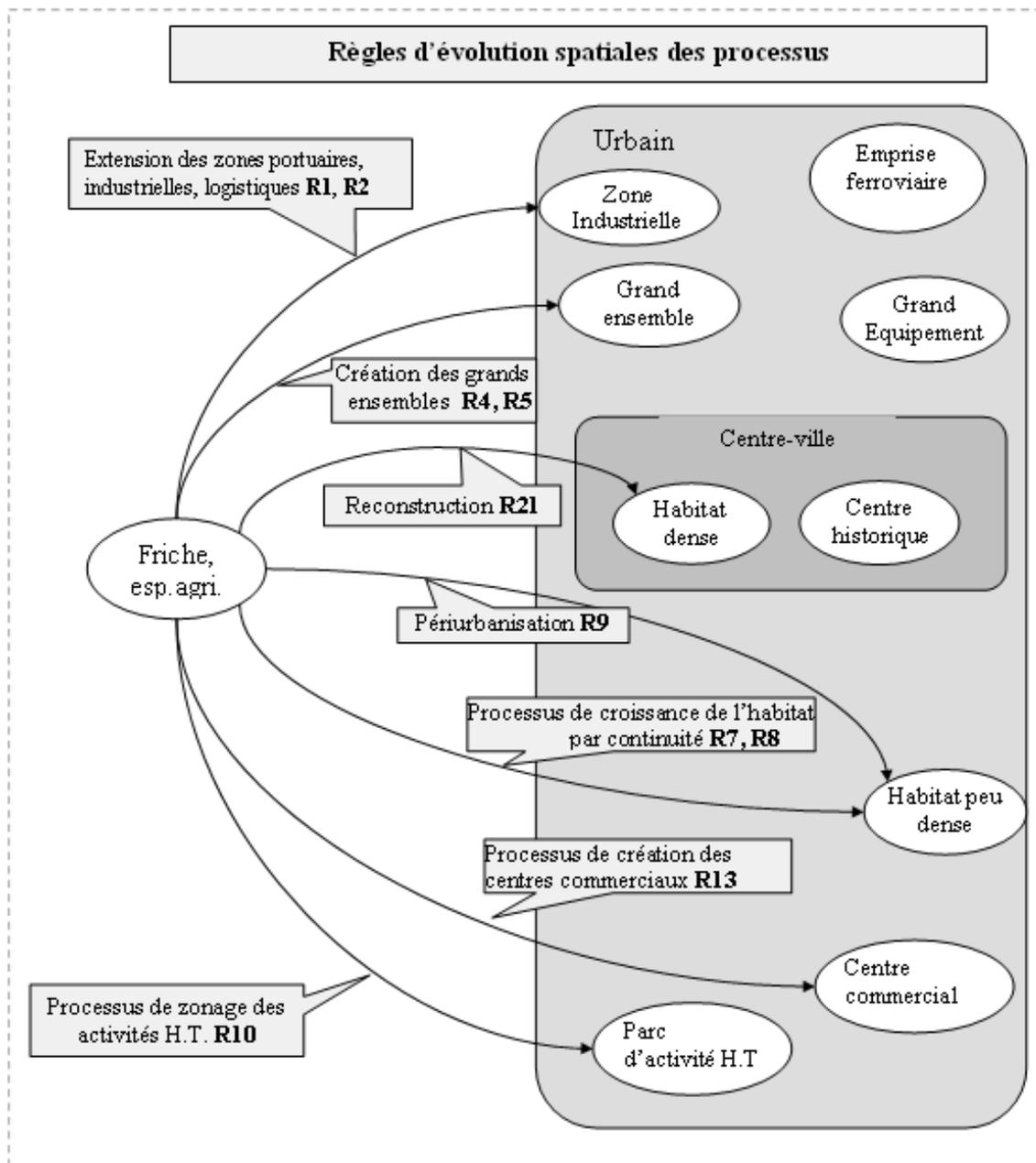


figure 5. Mise en relation des processus avec les règles de transition

5.2 Règles supplémentaires d'évolution des formes urbaines

On constate alors qu'un certain nombre de règles ne figurent pas dans cette première mise en relation, car elles ont une fonction de contrôle de la dynamique de la forme de certaines sous-structures urbaines comme les grands ensembles, les zones d'activité, les centres commerciaux, des zones portuaires, industrielles et logistiques. Ainsi, si on prend l'exemple des zones d'activité, les règles 11, 24 et 25 servent à leur donner une forme compacte et font en sorte qu'un autre état

ne peut se développer au cœur de ce type d'espace. La figure 6 montre l'importance de ces règles dans le modèle. On constate ainsi qu'elles sont plus nombreuses que les règles de modélisation des processus.

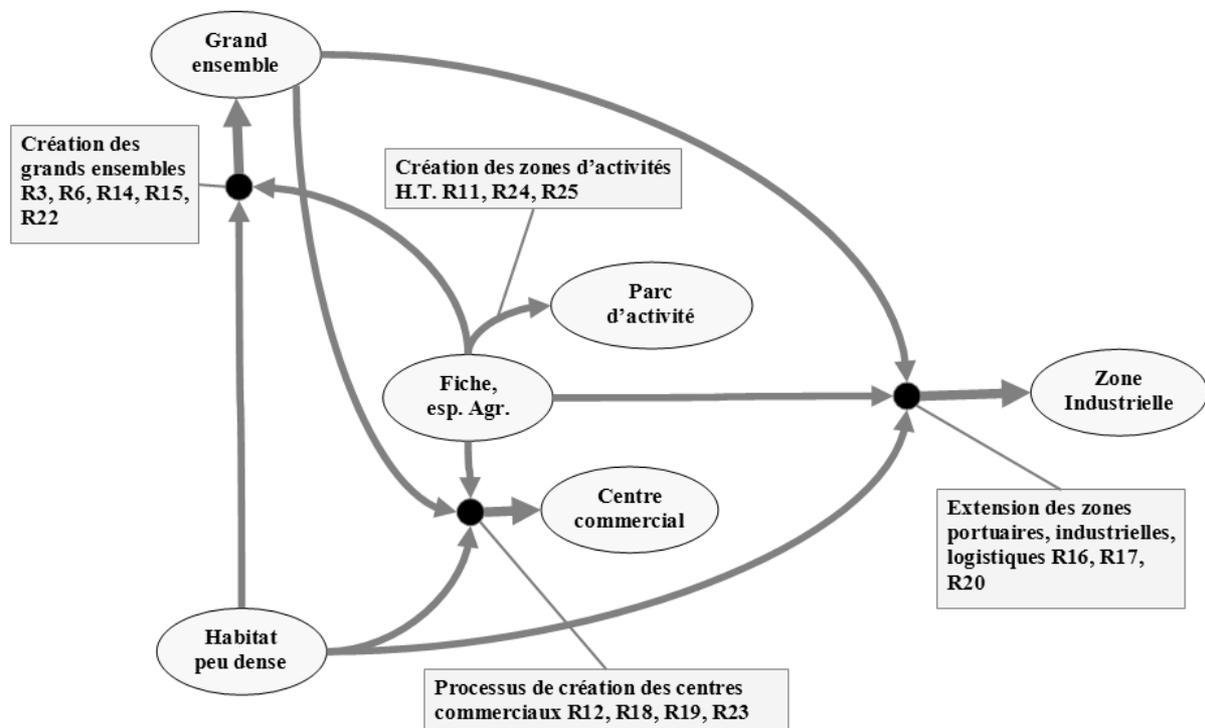


figure 6. Règles de contrôle de la forme des sous-structures urbaines

5.3 Deux exemples de traduction spatiale de processus

La présentation exhaustive de la démarche de présentation du modèle et de sa mise en relation avec l'ontologie thématique n'étant pas possible ici, nous nous sommes concentrés sur deux exemples de processus.

5.3.1 La périurbanisation

Comme nous l'avons vu, le processus de périurbanisation est le résultat d'une combinaison de facteurs assez complexes. En revanche, sa traduction spatiale est relativement simple. La périurbanisation donne lieu à une extension des villes et des villages ruraux qui sont en périphérie de l'agglomération où les densités de construction sont nettement plus faibles. Elle se manifeste notamment par la réalisation de lotissements autour de villages et de villes préexistants. L'extension de ces villages, est plus ou moins importante en fonction de leur taille, de leur distance au centre mais également de leur desserte. Ainsi on note que le processus est beaucoup plus étendu dans les secteurs bien connectés à un contournement ou plus simplement à un axe de circulation rapide. La présence de zones industrielles ou d'un relief accidenté sont au contraire des facteurs limitants.

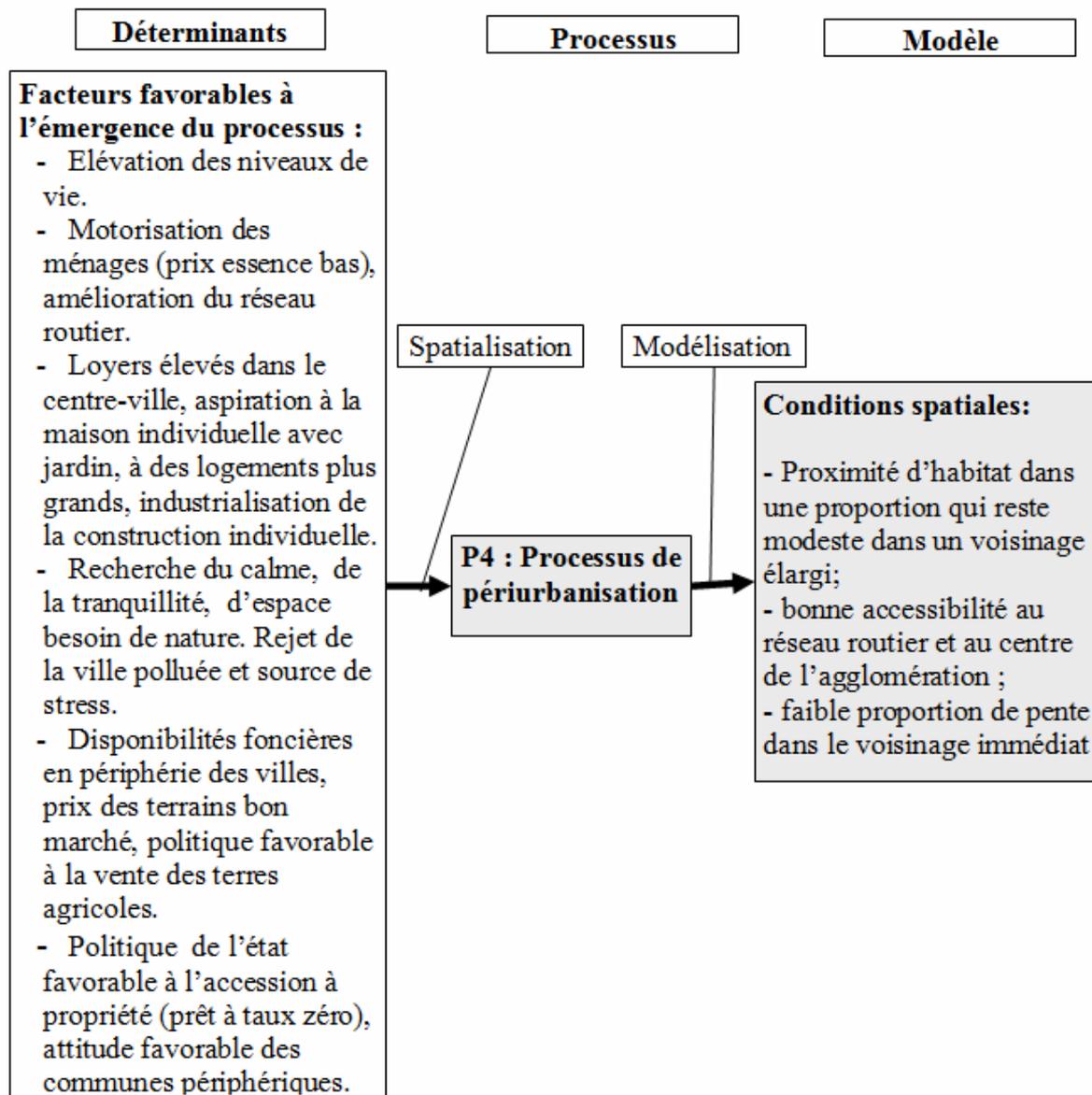


figure 7. La périurbanisation appréhendée sous l'angle thématique et du modèle

Tous ces éléments ont été intégrés dans une seule règle, R9 dans le modèle qui est la suivante: La « friche » peut devenir de l'habitat peu dense lorsqu'il y a de l'habitat à proximité mais aussi une densité d'habitat faible dans un voisinage élargi ; une bonne accessibilité au réseau routier et au centre de l'agglomération ; une faible pente. Notons que dans le cas rouennais nous n'avons pas précisé qu'il ne devait pas y avoir d'industrie dans les environs car ces dernières se situent dans l'agglomération (bords de Seine et vallées affluentes).

La traduction et la calibration donne la règle suivante en langage SpaCellle :

$$\text{Fri} > \text{Hpd} = \text{EP}(1972; 28) * \text{PV}(\text{Hpd}+\text{Imm}; 2; 0.3 ; 1) * \text{AC}(\text{Rte}+\text{Rt}2 ; 2) * \text{PV}(\text{Hpd}; 7; 0; 0.38) * \text{AC}(\text{Ch}+\text{Hd}; 10) * \text{PV}(\text{Pen}; 1; 0; 0.15)$$

5.3.2 Création des grands ensembles

L'apparition des grands ensembles est plus complexe car elle associe des règles d'ancrage qui incluent les facteurs spatiaux permettant leur apparition et des règles de formes qui comme leur nom l'indique n'incluent pas d'éléments sur les contextes spatiaux et cherchent juste à reproduire une forme proche de celle qui est traditionnellement observée. Six règles ont donc été mobilisées : deux d'ancrage et cinq de forme.

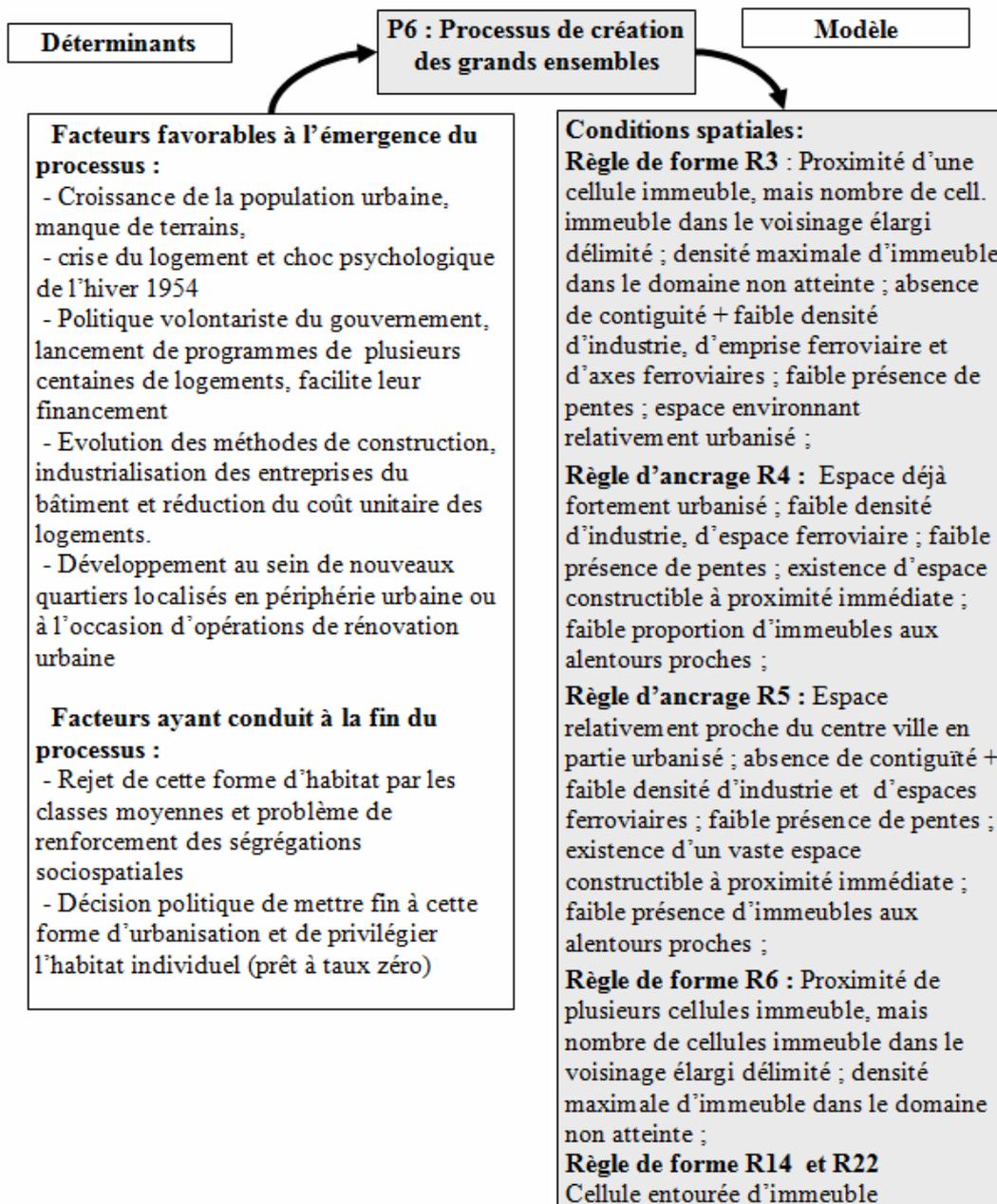


figure 8. La réalisation des grands ensembles appréhendée sous l'angle thématique et du modèle

Exemple de codage des règles d'ancrage R4 et R5 : Les règles R4 et R5 ne contiennent aucune information sur la forme des grands ensembles, elles se limitent à l'énoncé des conditions d'apparition d'une seule cellule immeuble. Ce sont ensuite les règles de forme qui entrent en jeu.

La règle R4 est destinée à faire apparaître les immeubles sur les périphéries de la ville.

Conditions de la règle R4 : La « Friche » peut se transformer en immeuble si l'espace est n'est pas fortement urbanisé (dans le sens où ces ensembles se développent sur les marges de la ville) ; s'il y a une faible proportion d'industries et de voies ferrées dans les environs ; une faible présence de pentes à proximité immédiate ; l'existence d'espaces constructibles à proximité immédiate ; une faible proportion d'immeubles dans les alentours proches ;

$$\text{Fri} > \text{Imm} = \text{PV}(\text{Hpd}+\text{Ch}+\text{Hd}+\text{Imm}+\text{Eqp}+\text{Zi}; 6 ; 0.65 ; 1) * \text{PV}(\text{Pen}; 1; 0; 0.2) * \text{EV}(\text{Fri}; 1) * \text{NV}(\text{Imm}; 4 ; 0 ; 10) * \text{PV}(\text{Zi}+\text{Vfe} ; 8; 0 ; 0.05)$$

La règle R5 est destinée à faire apparaître les grands ensembles dans les secteurs assez proches de la ville-centre mais à l'origine mal desservis ou localisés sur d'anciennes friches industrielles (terrains peu recherchés).

Conditions de la règle R5 : La « Friche » peut se transformer en immeuble si l'espace est relativement proche du centre ville, relativement urbanisés mais avec suffisamment d'espace à proximité immédiate pour permettre son extension ; s'il y a une absence de contiguïté et une faible densité d'industrie et d'espaces ferroviaires dans les alentours ; une faible présence de pentes ; une absence d'immeubles aux alentours proches ;

$$\begin{aligned} \text{Fri} > \text{Imm} = & \text{PV}(\text{Ch}+\text{Hd}; 30 ; 0.01; 1) * \\ & \text{PV}(\text{Hpd}+\text{Ch}+\text{Hd}+\text{Imm}+\text{Vfe}+\text{Eqp}+\text{Zi}; 6; 0.3; 1) * \text{ZV}(\text{Zi} ; 2) * \\ & \text{PV}(\text{Imm}; 5 ; 0 ; 0.3) * \text{PV}(\text{Pen}; 1 ; 0 ; 0.30) * \text{ZV}(\text{Imm} ; 5) * \\ & \text{PV}(\text{Fri}; 3; 0.8 ; 1) * \text{ZV}(\text{Afe} ; 2) * \text{PV}(\text{Zi}+\text{Vfe} ; 8; 0; 0.05) \end{aligned}$$

Ces deux exemples montrent que les processus de périurbanisation et de construction des grands ensembles ont des traductions spatiales plus ou moins complexes à mettre en œuvre en raison de leur forme. Ainsi la traduction spatiale du processus de périurbanisation dans le modèle de Rouen est relativement simple dans la mesure où c'est un processus assez diffus qui n'appelle pas de règles de forme même s'il y a toujours un ancrage sur une cellule périphérique construite. En revanche, la construction des grands ensembles s'est faite sur deux types d'espaces (R4 et R5) et ne peut être restituée correctement sans des règles de mise en forme permettant d'être au plus près de la réalité.

6 Conclusion

La *validation sémantique* ou « *test ontologique* » vise à permettre la meilleure compréhension d'un modèle par la mise en relation d'une ontologie thématique avec celle du modèle. La démarche consiste en une validation de type structurel qui permet de justifier les choix retenus dans la construction du modèle. Elle complète la validation portant sur les résultats des simulations.

Dans le cas exposé, celui de la croissance urbaine rouennaise, il s'agissait d'associer des règles spatiales parfois complexes faites sous SpaCelle avec les huit processus issus de la théorie de la croissance urbaine à l'œuvre durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle à Rouen.

Cette mise en relation montre que le modèle par certains côtés est plus riche que la théorie existante. En effet, si bon nombre de règles sont clairement associées aux phases de la dynamique des processus de l'ontologie thématique, il apparaît que d'autres règles, même si elles sont bien associées chacune à un processus, correspondent à des opérations de contrôle du développement de la forme spatiale de différentes structures urbaines. Ces aspects sont négligés dans la théorie de la croissance urbaine qui reste à un niveau global d'explication. Ainsi, celle-ci ne prend pas en compte cet aspect plus local de structuration de la forme situé à une échelle intermédiaire entre le bâtiment et la ville.

Le test montre aussi que la théorie est plus riche que le modèle, car il ne prend pas en compte les variables exogènes ou non spatiales ; mais cette limitation est connue puisque c'est précisément l'hypothèse de simplification faite au départ de ne prendre en considération que les déterminants spatiaux pour tenter de montrer que moyennant cette simplification, on obtenait néanmoins une bonne approximation de la réalité de la dynamique spatiale de la ville.

7 Références

Allain R., *Morphologie urbaine : géographie, aménagement et architecture de la ville*, Paris, A. Colin, 2004.

Bailly A., Ferras R., Pumain D. *Encyclopédie de géographie Economica*, 1992

Dubos-Paillard E., Langlois P., Vers la fin des banlieues industrielles ? *Revue internationale de géomatique*, vol 9, n°2, mars 1999, pages 219 à 232

Dézert, A. Metton, J. Steinberg, *La périurbanisation en France*, SEDES, (1991).

Dubos-Paillard E., Guermond Y., Langlois P., Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire : le modèle SpaCelle, *L'espace géographique*, vol 4, 2003, p 357-378

Guermond Y. Coord, *Rouen, la métropole oubliée ?* Coll itinéraires géographiques, L'Harmattan, (2008)

Langlois P., *Geographical cellular Automaton*, HyperGeo Encyclopaedia: <http://www.hypergeo.eu>, (2008), (http://s4.csregistry.org/tiki-download_file.php?fileId=15)

Langlois P., Dubos-Paillard E., Guermond Y., 2001, *Modelling of urban evolution by a cellular automata based on spatial knowledge, case study of Rouen*, Colloque ECTQG Saint-Valéry-en-Caux 7-10 Sept 2001

Livet P., Sanders L., *Le « test ontologique » : un outil de médiation pour la modélisation agent*, Journées de Rochebrune 19-23 janvier 2009

Mangin D., *La ville franchisée : formes et structures de la ville contemporaine*, éd. de La Villette, (2004)

Mollat M., *Histoire de Rouen*, Ed. Privat, (1982)

Navez-Bouchanine F., *la fragmentation en question : des villes entre fragmentation spatiale et fragmentation sociale ?* L'Harmattan, (2002)

Paulet J.P., *Géographie urbaine*, coll.U, Armand Colin, (2005)

Pumain D., Godard F., *Données urbaines*, coll. Villes, Economica tome 1 (1996)

Pumain D., Mattei M.F., *Données urbaines*, coll. Villes, Economica tomes 1 à 5 (1998, 2000, 2003, 2007)

Roncayolo M. *Histoire de la France urbaine : la ville aujourd'hui*. éd. du Seuil (2001)

Vieillard-Baron H., *Les banlieues, des singularités françaises aux réalités mondiales*, Hachette (2001)