

LES FACTEURS DE PROGRESSION DES SURFACES RESIDENTIELLES DANS LES ESPACES DE PERIURBANISATION

TENTATIVE D'INTEGRATION APPLIQUEE A L'ESPACE NAMUROIS (BELGIQUE) A L'AIDE DES AUTOMATES CELLULAIRES

Jehan DECROP, Département de géographie, FUNDP-Namur (Belgique)

Email : jehan.decrop@fundp.ac.be

RESUME. *Le phénomène de déconcentration de l'habitat est un des processus géographiques les plus marquants des espaces mixtes urbain-rural au cours de ces dernières décennies dans les régions d'Europe occidentale. Si une littérature abondante a permis de mettre en évidence les nombreux facteurs responsables de ce phénomène, leur intégration dans un modèle spatio-temporel demeure bien plus périlleuse étant donné la complexité des processus en jeu. L'article propose une méthodologie de modélisation de la progression des surfaces résidentielles basée sur les principes des automates cellulaires. En couplant un module quantitatif s'intéressant à la dynamique temporelle du nombre de ménages, à un module spatial de facteurs de localisation potentiels, cette modélisation pourrait aboutir à des simulations prospectives de croissance des surfaces résidentielles. L'espace d'application de ce modèle est la région urbaine de Namur (Belgique). Cet article ne prétend pas à l'exhaustivité et n'aborde que la partie méthodologique d'une thèse de doctorat en cours.*

ABSTRACT. *The process of extended suburbanization is one of the most remarkable geographical phenomena of mixt urban-rural spaces in Western Europe this last decennia. Although many factors has been analysed and discussed in geographical litterature, their integration into a spatio-temporal model remains difficult because of the complexity of the processes. This article proposes a methodology for the modelling of the growth of residential areas, based on principles of the cellular automaton approach. It links together a quantitative module determining the temporal dynamics of households, and a spatial module of potential localisation factors, with the aim of simulating the growth of residential areas. The application space is the urban region of Namur (Belgium). This subject is in keeping with the general pattern of a doctoral work: only the methodological part is presented in this article, not the results.*

MOTS-CLÉS : *périurbanisation, modélisation, automates cellulaires, approche spatio-temporelle.*

KEY WORDS: *extended suburbanization, modelling, cellular automaton, spatio-temporal approach.*

Introduction

Le phénomène de déconcentration de l'habitat est un des processus les plus marquants de ces dernières décennies dans les régions d'Europe occidentale. Il résulte de l'activation des préférences des ménages pour les faibles densités d'habitat, suite à une augmentation générale du niveau de vie et à la relaxation des contraintes de déplacement (nouveaux axes de transport, utilisation généralisée du véhicule personnel). La croissance des espaces de périurbanisation aux dépens des espaces non bâtis fait ainsi figure de facteur majeur de mutations spatiales à l'échelle régionale, particulièrement en termes d'emprise au sol. Les conséquences de ce processus d'étalement urbain ('*urban sprawl*') sont multiples et vont souvent à l'encontre d'un développement régional équilibré et durable. La prise de conscience des autorités européennes en la matière s'est d'ailleurs traduite par le mot d'ordre de la 'ville compacte' dans le Livre vert pour l'environnement urbain (Commission des C.E, 1990).

Si les processus de périurbanisation figurent parmi les sujets de prédilection des géographes, la modélisation spatio-temporelle de la croissance des surfaces résidentielles (en termes de superficie) n'a été que peu investiguée jusqu'à présent. La thèse qui est menée actuellement au département de géographie de Namur tente de combler en partie cette lacune. En utilisant comme outil les automates cellulaires (WHITE & ENGELN, 1997), il est possible d'intégrer dans un cadre unique les différents facteurs de progression des surfaces résidentielles et leur impact en termes de consommation d'espace. L'utilisation conjointe de données cartographiques et statistiques sur l'évolution historique récente de la région urbaine de Namur (ville moyenne de Belgique) pourrait permettre de tester la validité et l'importance de ces facteurs de progression.

L'objectif de cet article est de présenter une synthèse de l'état actuel du projet de thèse. La première partie est consacrée à la méthodologie d'intégration des facteurs de progression en deux modules : un module quantitatif s'intéressant à la dynamique temporelle des superficies résidentielles, et un module spatial comprenant les facteurs géographiques déterminant la localisation potentielle des zones de croissance de ces surfaces. La seconde partie traite du choix de la région (région urbaine de Namur) et de la période d'application.

1 Les facteurs de progression des surfaces résidentielles : méthodologie d'intégration

1.1 Outil de modélisation : les automates cellulaires

Les mutations spatio-temporelles de la progression des surfaces résidentielles peuvent être modélisées en appliquant la **dynamique des automates cellulaires**. Les automates cellulaires consistent en une grille temporellement dynamique de cellules appliquée au territoire à modéliser ; les cellules sont soumises à des règles de transition et le nombre total de cellules en transition est contraint par un module quantitatif. Cette méthodologie permet de coupler une approche quantitative, dans laquelle la superficie de nouveaux terrains résidentiels est déterminée, et une approche spatiale, permettant de prédire où les nouveaux terrains résidentiels se localiseront de manière privilégiée.

1.2 Approche quantitative : le module dynamique de détermination de l'augmentation de surfaces résidentielles

Le nombre de cellules à affecter pour l'état « résidentiel » est déterminé par un **module quantitatif socio-économique** s'intéressant à la dynamique temporelle des surfaces résidentielles. La variable endogène de ce module est le nombre d'hectares de terrains résidentiels supplémentaires. Cette variable est déterminée périodiquement selon un intervalle de temps défini par le modélisateur ; dans le cadre de ce travail, nous proposons de fixer cet intervalle à un an, pour une période totale d'environ 15 ans.

La détermination du nombre d'hectares de terrains résidentiels supplémentaires exige de s'intéresser au fonctionnement des marchés fonciers, et plus précisément à la confrontation entre l'offre et la demande de terrains à bâtir. Une première hypothèse est posée, selon laquelle l'offre est toujours supérieurE à la demande à moyen terme. Cette hypothèse se base sur deux autres hypothèses :

- L'offre de terrains à bâtir est conditionnée par l'existence de zones d'habitat aux plans de secteur. Or, en Wallonie, ces zones ont été déterminées selon des prévisions optimistes d'augmentation de la population. La superficie des zones d'habitat aux plans de secteur ne constitue donc pas une contrainte pour la disponibilité des parcelles à bâtir.

- La rente foncière pour les terrains à usage résidentiel est toujours plus élevée que celle pour les usages agricole ou forestier. Sous l'hypothèse de recherche de profit maximum, les rentiers seront donc enclins à convertir des terres à usage agricole en terrains résidentiels.

Sous l'hypothèse d'offre excédentaire à la demande, c'est la demande de terrains résidentiels, conjointement à la superficie moyenne des terrains, qui vont déterminer la variable à modéliser, à savoir la superficie supplémentaire de terrains à usage résidentiel :

$$R = \left[M (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 - m_5 - m_6) \times S_m \right]$$

- Avec :
- R : superficie supplémentaire de terrains à usage résidentiel en milieu périurbain
 - M : nombre de ménages supplémentaires en milieu périurbain
 - m_i : nombre de ménages supplémentaires de type i (cf. explications ci-dessous)
 - S_m : superficie moyenne des terrains résidentiels nouvellement construits

1.2.1 Les déterminants de la demande des ménages (M)

Intéressons-nous tout d'abord aux déterminants de la demande des ménages pour des terrains résidentiels périurbains. Nous proposons de prendre comme cadre de référence la théorie du cycle de vie, selon laquelle les ménages se localisent en fonction de l'âge des individus composant ce ménage. Seuls les événements faisant varier le nombre de ménages en milieu périurbain entrent dans la modélisation. La dynamique annuelle du nombre supplémentaire de ménages en milieu périurbain (M) est une fonction de :

- m_1 : Nombre de ménages de 1 ou 2 personnes immigrant en milieu périurbain : il s'agit de personnes âgées entre environ 20 et 35 ans, habitant antérieurement en milieu urbain, et qui s'implantent en milieu périurbain en raison des nuisances perçues en milieu urbain ;
- m_2 : Nombre de ménages de 2 ou 3 personnes immigrant en milieu périurbain : il s'agit de ménages déjà formés (2 personnes entre 20 et 35 ans ; éventuellement 1 enfant en-dessous de 6 ans) qui habitaient un logement en milieu urbain et viennent s'implanter en milieu périurbain suite à une naissance ou un agrandissement du ménage ;
- m_3 : Nombre de nouveaux ménages se formant en milieu périurbain : il s'agit de la formation d'un nouveau ménage en milieu périurbain suite à l'éclatement d'un ménage périurbain existant ;
- m_4 : Nombre de ménages acquérant une seconde résidence en milieu périurbain : il s'agit de personnes âgées entre 35 et 60 ans, ayant un revenu par ménage élevé, et désirant avoir un pied à terre « à la campagne » pour y passer le week-end, les jours de congé ou les vacances ;
- m_5 : Nombre de ménages périurbains migrant vers le milieu urbain : il s'agit de ménages formés de personnes âgées au-delà de 65-70 ans, qui n'ont plus de personne à charge et désirant habiter un logement demandant moins d'entretien (souvent un appartement) et à proximité de l'infrastructure publique et commerciale d'une ville.
- m_6 : Nombre de ménages périurbains suite dont la personne de référence est décédée dans l'année.

Remarque : le nombre de nouveaux jeunes ménages migrant vers le milieu urbain n'intervient pas car les personnes de référence (les parents) restent en milieu périurbain et il n'y a donc pas de maisons mises en vente.

Le modèle ci-dessus est valable à la condition que toutes les maisons à vendre suite au départ des ménages de personnes âgées soient achetées par les ménages immigrant en milieu périurbain. Il faut donc poser l'hypothèse de préférence des ménages pour l'achat d'une maison par rapport à l'achat d'un terrain + construction nouvelle.

La dynamique à moyen terme (+/- 15 ans) du nombre de ménages selon les 6 types précités peut être approchée à partir d'une série de variables explicatives, parmi lesquelles la structure par âge de la population, la taille moyenne des ménages, le revenu des ménages, les taux d'intérêt hypothécaire et un indicateur d'attractivité du milieu urbain.

1.2.2 Les déterminants de la superficie moyenne des terrains résidentiels (S_m)

La **conversion** de la dynamique spatio-temporelle des ménages en **superficies** résidentielles à affecter est un problème épineux à solutionner. En effet, ce second facteur de la variable à modéliser (cf. équation ci-avant) peut être fonction des préférences des ménages migrant en milieu périurbain en matière de superficie, du revenu de ces ménages, et d'une fonction de profit des propriétaires terriens (arbitrage entre les revenus provenant de lotissements en petits lots et ceux en grands lots).

Vu la complexité de la modélisation de cette variable, nous proposons, pour le simulateur, de se baser sur l'évolution des superficies des terrains résidentiels au cours des 20 dernières années et d'extrapoler suivant la tendance observée. Ensuite, une complexification est éventuellement possible en introduisant une contrainte sur les superficies simulant une politique d'aménagement du territoire plus stricte.

1.2.3 Résultat attendu

La thèse que nous posons quant au résultat du module quantitatif est la suivante : en régime de stagnation de la population, en cas d'équilibre des échanges de population entre régions urbaines, et à condition que les ménages préfèrent l'achat d'une maison à l'achat d'un terrain + construction (dépend des rapports prix/navettes entre les deux options), la croissance des superficies résidentielles en zone périurbaine tend vers 0 à long terme. En effet, l'arrivée de nouveaux ménages en zone périurbaine sera compensée par les départs de ménages plus âgés (migration vers le milieu urbain ou décès).

Ce résultat plutôt optimiste dépend de trois conditions. Examinons-les plus en détails :

- Stagnation de la population : cette condition semble être fort probable à moyen terme. L'ensemble des pays occidentaux connaît ce phénomène, voire même une décroissance de sa population. Un facteur important supposé constant est le régime d'immigration adopté par le pays.
- Equilibre des échanges de population entre régions urbaines : cette hypothèse de départ ne tient évidemment pas la route en cas de flux importants d'une région urbaine à l'autre. Par la suite, nous proposons donc de relâcher cette hypothèse en introduisant un modèle de flux interrégionaux, dépendant principalement de la situation économique relative des régions (offre d'emplois) ainsi que des différentiels de prix immobiliers entre régions.
- Préférence des ménages pour l'achat d'une maison : dans notre modèle de départ, nous envisageons la préférence absolue pour des raisons de simplicité. Cette hypothèse peut être levée par la suite.

1.3 Approche spatiale : la localisation pressentie des nouvelles surfaces résidentielles

L'approche quantitative permet de modéliser la croissance annuelle des surfaces résidentielles (en nombre d'hectares) pour la région considérée. Dans l'approche spatiale, le module « automates cellulaires » intègre cet input comme nombre maximum d'hectares pouvant être modifiés de non bâti en résidentiel. A partir de cet input, le rôle du module spatial est de déterminer la localisation probable des zones de transition non bâties vers le résidentiel. L'explication de la procédure est indiquée dans les lignes qui suivent.

Pour rappel, une grille de cellules couvre entièrement le territoire à modéliser. Chaque cellule est définie par son utilisation du sol (= état de la cellule). La **taille des cellules** (= résolution) dépend du type de problème à modéliser, de la résolution des données cartographiques disponibles et de la précision désirée. Plus les cellules seront grandes, plus l'état de la cellule sera composé de différents types d'utilisation du sol (moindre précision) ; or, les automates cellulaires n'acceptent qu'un seul état par cellule. Plus la taille des cellules est petite, meilleure est la précision.

Dans cette modélisation, les états "parcelle agricole", "parcelle forestière" ou "friche" sont susceptibles d'être convertis en état "résidentiel". Des règles de transition s'y appliquent afin de déterminer la probabilité de changement d'un état vers un autre. Ces **cellules** sont également dites "**actives**". D'autres types d'états sont fixes (non actives) et ne peuvent être convertis. Ce sont des états tels que commercial, industriel, cours d'eau, autoroute, chemin de fer. Ils interviennent cependant comme arguments dans les règles de transition des cellules actives par effet de proximité. A noter que les états fixes peuvent être actualisés tous les x temps par une intervention exogène du modélisateur. Ceci permet d'intégrer les extensions observées par exemple par les états « commercial » et « industriel ».

Pour chaque cellule active (parcelles agricoles, parcelles forestières et friches), un **vecteur de potentiels de transition** est calculé. Chaque potentiel 'r' représente le degré de prédisposition d'une cellule pour un état particulier, en l'occurrence "résidentiel". La valeur du potentiel de transition vers un état 'r' dépend de l'inertie de l'état actuel (indicateur composite de résistance foncière des parcelles agricoles), de plusieurs facteurs d'aptitude pour l'état z, de l'effet agrégé des cellules se situant dans le voisinage (effet de proximité), de facteurs de situation et d'un paramètre stochastique (part d'indétermination inhérente aux changements).

$$P_r = v_a \times \sum_{i=1}^n A_i \times \sum_{i=1}^n S_i \times \sum_{i=1}^n V_i \times \frac{1}{I_a^\beta}$$

où : P_r est le potentiel de transition vers l'état résidentiel de chaque cellule;

v est un facteur stochastique de perturbation aléatoire; α est le paramètre indiquant l'ampleur donné au caractère aléatoire des changements d'état ;

A est le facteur général d'aptitude de la cellule pour l'état r, n étant le nombre de facteurs d'aptitude. Parmi les facteurs d'aptitude (A_i), citons : la constructabilité, le prix des terrains, l'affectation au plan de secteur, les taxes communales perçues ;

S est l'effet de situation (niveau supralocal) affectant l'état potentiel r de la cellule. Les facteurs de situation réfèrent à des caractéristiques de localisation de l'emploi et des services. Ils ne prennent pas en considération l'état (affectation du sol) des cellules avoisinantes. Les principaux facteurs de situation sont : distance-route et distance-chemin de fer aux pôles d'emploi principaux (Bruxelles, Liège, Charleroi), distance-route au pôle d'emploi secondaire le plus proche, distance-route à la petite ville la plus proche ;

V est l'effet de voisinage provenant de facteurs de site (niveau local) affectant l'état potentiel r de la cellule. Chaque type d'utilisation du sol à proximité de la cellule contribue positivement (force d'attraction) ou négativement (force de répulsion) au potentiel de transition vers l'état résidentiel ;

I_a est le facteur d'inertie au changement de l'état initial de la cellule et β est un paramètre indiquant l'importance de l'inertie. Plus I_a est élevé, plus le potentiel de transition sera faible. I_a est un indicateur de résistance foncière d'un état non encore bâti et peut être estimé par différents facteurs caractérisant l'espace agricole et forestier comme la valeur ajoutée à l'hectare, la taille des exploitations et l'âge des exploitants.

La série de valeurs de potentiels sera utilisée comme **argument de la règle de transition**. Cette règle consiste simplement à convertir (ou maintenir) les cellules non bâties dont le potentiel de transition vers l'état résidentiel est le plus élevé, jusqu'à ce que le nombre total de cellules à convertir soit atteint (ce nombre est déterminé dans le module quantitatif). Les cellules sont classées par ordre décroissant de valeurs de potentiel, et les conversions commencent par la cellule ayant le plus haut potentiel.

2 Le choix de la région d'étude et de la période d'application de la modélisation

2.1 Choix de la région d'étude

→ La région urbaine de Namur.

Le concept de **région urbaine** fait référence à " la structure spatiale élargie à l'intérieur de laquelle se dispensent les diverses activités de base de la communauté urbaine (le logement, le travail, l'instruction, l'approvisionnement, la culture et les loisirs ; HALLEUX et al., 1998). Ce concept est apparu à la fin des années 1970 afin de tenir compte du mouvement de suburbanisation massive de la population et de certaines activités économiques.

Pour pouvoir fonctionner comme région urbaine à part entière, un seuil de 80.000 habitants est considéré comme un minimum. La région urbaine est subdivisée, à partir d'une étude fonctionnelle et morphologique, en zones s'emboîtant les unes dans les autres:

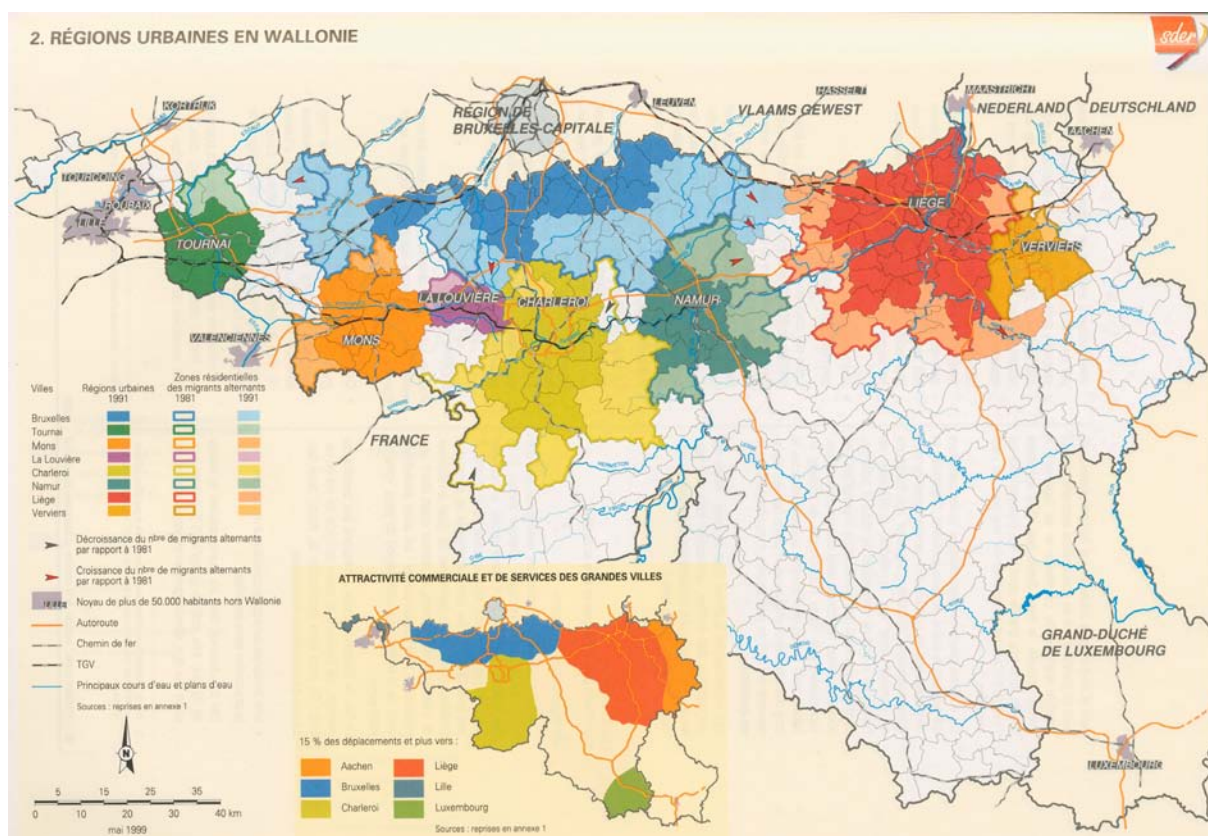
- Ville centrale, composée du noyau urbain (cœur de la ville avec une forte concentration de commerces et de services) et des quartiers les plus densément bâtis (multifonctionnels avec une dominante résidentielle).
- Agglomération morphologique = espace caractérisé par la continuité de son bâti et une forte densité de population. Elle comprend la ville centrale + la couronne urbaine (datant surtout du 20^e siècle, moins densément bâti que le centre-ville ; fonction principale : résidentielle)
- Banlieue : constitue la zone de croissance récente de la région urbaine. Lieu privilégié de l'installation des jeunes familles, des industries et des entreprises.
- Zone résidentielle des migrants alternants : zone dans laquelle plus de 15 % de la population active occupée habitant la commune fait les navettes vers l'agglomération.

La prise en compte de l'espace compris dans la région urbaine cadre bien avec l'objectif de la thèse. C'est en effet à l'intérieur de celle-ci que la **majeure partie des transitions du non-bâti vers le résidentiel** (mouvement de décentralisation) s'est produite ces trois dernières décennies. C'est plus particulièrement vrai pour la banlieue, dont une des caractéristiques permettant de la définir est précisément la forte augmentation de la superficie construite entre 1980 et 1994.

La **région urbaine de Namur** (cf. carte ci-après) comporte **10 communes**.

Il s'agit d'un **espace fort diversifié**. Le degré d'urbanisation morphologique (densité de la population et part de la superficie occupée par des parcelles bâties) et fonctionnelle (selon les fonctions commerciale, scolaire, et de travail) est varié. Il est élevé pour l'agglomération namuroise, moyen pour Andenne et Profondeville, faible pour les autres communes (MERENNE et al., 1997). Ensuite, seules deux des communes citées comprennent un noyau d'habitat pouvant être qualifié de 'ville' dans la hiérarchie urbaine belge : Namur (ville régionale) et Andenne (petite ville faiblement équipée). Les autres communes sont dites non urbaines car leur niveau d'équipement et leur polarisation sur l'espace avoisinant sont très faibles.

La région urbaine de Namur dans son contexte régional



Source : SDER, p.31, sur base des travaux de Merenne, Van der Haegen et Van Hecke, 1997

Dès à présent, il est intéressant de noter que l'agglomération namuroise (la commune de Namur), contrairement à toutes les autres villes wallonnes, n'a à aucun moment connu de phénomène de désurbanisation, c'est-à-dire une décroissance de sa population. Plusieurs hypothèses explicatives peuvent être avancées :

- Ayant échappé au processus de grande industrialisation, la ville de Namur a gardé un caractère de petite ville régionale. Insérée dans la grande périphérie de Bruxelles, elle a pu profiter du processus de périurbanisation étendue ('*extended suburbanization*') de Bruxelles;
- La ville de Namur a profité de l'émergence d'un axe Bruxelles-Luxembourg (la cause principale étant la construction de l'autoroute E411) sur lequel elle se situe favorablement ;
- Suite à sa promotion en tant que capitale de la Région wallonne, Namur a accueilli à partir de 1986 la quasi totalité des cabinets ministériels et des administrations de la Région wallonne, et un afflux concomitant de fonctionnaires.

2.2 *Choix de la période envisagée*

2.2.1 *pour le calibrage du modèle : 1977-1992*

Cette période se révèle intéressante car le processus d'extension de l'habitat se poursuit à un rythme variable dans la région namuroise. Il est relativement faible au début de la période, les conséquences des crises énergétiques (augmentation des taux d'intérêts, croissance du coût de l'énergie et donc des déplacements, ambiance générale morose) étant peu propices à des migrations massives vers la périphérie. Mais ce laps de temps ne va pas durer très longtemps. Durant les années 80, la périurbanisation reprend et touche principalement les communes de l'agglomération dans un premier temps, de la banlieue par la suite. Le mouvement de décentralisation se poursuit dans les années 90, principalement dans les communes de banlieue mais aussi de plus en plus les communes rurales dont une bonne partie de la population fait la navette vers les centres d'emploi (principalement Bruxelles et Namur).

Les dates précises de début et de fin de période sont déterminées en fonction de la disponibilité de données cartographiques. Après investigation des différentes sources cartographiques disponibles et en tenant compte des contraintes de temps et de budget, le choix s'est tourné vers les cartes numériques IGN noir et blanc de 1977 et 1992 (dates des prises de vue), couvrant la plus grande partie de la région urbaine de Namur. D'autres documents cartographiques sont utilisés pour les zones non couvertes par ces cartes IGN.

2.2.2 *pour la simulation prospective : 10-15 ans*

L'objectif final de ce travail est de réaliser des simulations prospectives de croissance des surfaces résidentielles. Le calibrage des paramètres de modélisation étant réalisé sur une période de 15 ans (1977-1992), l'extrapolation temporelle ne peut être appliquée que sur une période similaire, afin de garantir une certaine validité pour les simulations.

Conclusions

L'article présente une synthèse de l'état actuel d'un projet de thèse consacré à la compréhension de la progression des surfaces résidentielles dans les espaces de périurbanisation. Seule la méthodologie de modélisation est abordée dans le présent article ; les premiers résultats seront proposés dans une phase ultérieure.

L'objectif de la thèse consiste à intégrer et pondérer les nombreux facteurs de croissance en deux modules interreliés selon les principes des automates cellulaires :

- un module quantitatif s'intéressant à la croissance (en nombre d'hectares) des surfaces résidentielles, fonction de la dynamique temporelle du nombre de ménages migrant en milieu périurbain ;
- un module spatial comprenant les différents facteurs de localisation des ménages déterminant les zones potentielles de croissance des surfaces résidentielles.

Le modèle sera testé et calibré pour la région urbaine de Namur sur la période 1977-1992 ; ensuite, des simulations prospectives pourront être réalisées selon le calibrage des paramètres de progression. Le choix de Namur comme espace d'application de la modélisation s'avère pertinent étant donné son dynamisme récent, sa grande diversité et la disponibilité de données cartographiques et statistiques homogènes.

Les apports potentiels de la thèse sont nombreux :

- Intégrer dans un modèle des éléments d'explication socio-démographiques, économiques et environnementaux des changements d'utilisation du sol rural vers le résidentiel de l'espace périurbain ;
- Contourner les contraintes liées aux entités spatiales de référence statistiques à l'aide de l'approche des automates cellulaires ;
- Assurer une base théorique suffisante à l'application des automates cellulaires dans les espaces mixtes urbain-rural ;
- Fournir à l'aménageur un modèle spatio-temporel à fine résolution spatiale de la progression des surfaces résidentielles.

Bibliographie

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, 1990. *Livre vert sur l'environnement urbain*, C.E.E., LUXEMBOURG.

Gouvernement Wallon (1999), Schéma de Développement de l'Espace Régional (SDER)

HALLEUX J.-M., DERWAELE F., MERENNE B. (1998), Les noyaux d'habitat en Belgique : situation en 1991 et évolution depuis 1970, Monographie n°11A du Recensement Général de la Population et des Logements au 1^{er} mars 1991, INS, SSTC, Bruxelles, pp.9-77

MERENNE B., VAN DER HAEGEN H., VAN HECKE E. (1997), La Belgique, diversité territoriale, in *Bulletin du Crédit communal*, n°202, 1997/4

WHITE R. et ENGELEN G. (1997), Cellular Automata as the basis of integrated dynamic regional modelling, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, pp. 235-246

Le modèle et la méthodologie sont susceptibles d'amélioration. L'auteur remercie le lecteur des commentaires, avis et critiques qu'il pourrait émettre suite à la lecture de cet article.