



HAL
open science

Simuler la densification du tissu urbain au moyen de processus de peuplement

Florence Curie, Annabelle Mas, Julien Perret, Anne Puissant, Anne Ruas

► To cite this version:

Florence Curie, Annabelle Mas, Julien Perret, Anne Puissant, Anne Ruas. Simuler la densification du tissu urbain au moyen de processus de peuplement. Conférence Internationale de Géomatique et Analyse Spatiale SAGEO'10, Nov 2010, Toulouse, France. pp.108-123. halshs-00627649

HAL Id: halshs-00627649

<https://shs.hal.science/halshs-00627649v1>

Submitted on 16 Jun 2021

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.

Simuler la densification du tissu urbain au moyen d'un processus de peuplement

Florence Curie* — Annabelle Mas** — Julien Perret*** — Anne Puissant**** — Anne Ruas****

* UMR ISTO, Université de Tours

Parc de Grandmont, 37200 Tours, {prenom.nom}@univ-tours.fr

** Laboratoire CEDETE, Université d'Orléans

10 rue de tours, BP 46527, 45065 Orléans cedex 2, {prenom.nom}@univ-orleans.fr

*** Laboratoire COGIT, IGN

73 avenue de Paris, 94160 Saint Mandé, {prenom.nom}@ign.fr

**** Laboratoire Image, Ville, Environnement

3 rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, {prenom.nom}@live-cnrs.unistra.fr

RÉSUMÉ. L'approche présentée dans cet article utilise un système multi-agent pour modéliser du point de vue morphologique les propriétés auto-organisatrices des systèmes complexes urbains et vise à fournir un outil permettant d'étudier la croissance urbaine. Le système multi-agent proposé comporte une hiérarchie d'agents topographiques (e.g. les bâtiments, les routes, les cours d'eau, les îlots, la ville) qui peuvent être construits, modifiés, fusionnés, découpés, restructurés et détruits au cours du temps. Le comportement de chaque agent est contrôlé par un ensemble de règles d'évolution, de contraintes et d'actions associées. La question particulière traitée dans cet article concerne les méthodes de peuplement qui permettent la création de nouveaux agents tout en respectant une certaine organisation spatiale et un certain processus de construction. En effet ces méthodes nécessitent de trouver un compromis entre les besoins de la simulation et les connaissances géographiques. Dans cet article, l'accent a été mis sur les zones industrielles et les zones d'habitat de type individuel et collectif.

ABSTRACT. The approach presented in this paper uses a multi-agent system to model the self-organising properties of urban systems from a morphological point of view and aims at providing a tool to study urban growth. The proposed multi-agent system is a hierarchy of topographic agents (e.g. buildings, roads, rivers or urban blocks) that are built, modified, merged, split, restructured and destroyed over time. Each agent's behaviour is controlled by a set of evolution rules, constraints and associated actions. This paper deals especially with populating functions which allow the creation of new agents while respecting a certain spatial organisation and a certain construction process.

MOTS-CLÉS : tissu urbain, simulation urbaine, systèmes multi-agents, croissance urbaine, peuplement

KEYWORDS: urban fabric, urban simulation, multi-agent systems, urban growth, populating

1. Introduction

La simulation des dynamiques urbaines est un domaine de recherche très actif. Parmi les approches existantes, l'approche morphologique présente l'intérêt de limiter le nombre de variables manipulées et de simplifier la mise en place et la maintenance de bases de données historiques permettant l'étude de telles dynamiques puisque les informations morphologiques sont plus facilement mesurables que les informations socio-démographiques par exemple [BAT 86]. De nombreuses méthodes existent pour représenter et étudier les dynamiques spatiales. [ROD 07, LEF 08] proposent notamment un modèle pour étudier les dynamiques urbaines dans la longue durée.

En termes de simulation, les automates cellulaires ont été très utilisés pour la simulation urbaine et ont permis la simulation de nombreux phénomènes complexes tels que la croissance et la ségrégation [COU 97, WHI 97, BAT 04, BAT 08, WER 09]. Néanmoins, comme le font remarquer de nombreux auteurs, les automates cellulaires supposent une certaine homogénéité de l'espace et du voisinage des cellules de l'automate. Ainsi, plusieurs modèles ont été proposés afin d'intégrer l'influence du réseau urbain et de contraintes spatiales sur l'accessibilité des cellules de tels automates [BAT 97]. D'autres auteurs ont par ailleurs proposé d'étendre le formalisme en y intégrant la notion de graphe [O'S 00, O'S 01, BAD 07], qui permet de mieux prendre en compte les voisinages des objets géographiques et les irrégularités de la structure urbaine.

Le projet GeOpenSim vise au développement d'une plate-forme Open Source pour l'analyse et la simulation des dynamiques urbaines à l'aide de bases de données topographiques historiques [PER 09]. Ces dernières sont construites à l'aide de bases de données topographiques récentes ainsi que de photographies aériennes et/ou de cartes historiques. Ces bases de données sont analysées afin d'identifier des règles d'évolution à différents niveaux meso-géographiques (e.g. la ville ou l'îlot), ainsi que des statistiques sur des objets spécifiques comme les bâtiments. Chaque simulation peut ainsi être paramétrée à l'aide de règles d'évolution provenant de l'analyse automatique des données historiques, mais aussi de règles énoncées par des experts. Ces règles sont en principe similaires aux règles de transition des automates cellulaires et peuvent prendre en compte le voisinage des agents ainsi que leurs différents attributs (pour les îlots : la densité, le type d'îlot, la localisation de l'îlot par rapport à la ville, etc.). Ces règles peuvent par ailleurs changer en fonction de la période à laquelle l'évolution simulée a lieu, permettant ainsi d'implémenter des évolutions spécifiques à une période donnée. Ces évolutions peuvent différer en vitesse (la croissance d'une ville n'est pas un processus régulier) et en nature.

Les méthodes de peuplement sont définies afin de modéliser les différentes stratégies que les agents peuvent utiliser pendant leur évolution. La notion de peuplement utilisée ici désigne le processus de remplissage de l'espace, en particulier des îlots, par des objets géographiques tels que les bâtiments ou les routes. Une méthode de peuplement spécifie ainsi la façon dont ce processus de remplissage se déroule. De telles méthodes peuvent, par exemple, spécifier la façon dont les îlots se densi-

fient en reproduisant leur structure interne, en se restructurant ou en diversifiant leur structure [CUR 10, PER 10a, PER 10b]. L'article détaille certaines méthodes de peuplement utilisées dans GeOpenSim pour la densification d'îlots et le paramétrage de telles méthodes.

Dans la première partie de l'article, les méthodes de peuplement sont présentées et détaillées. Les sections 3, 4 et 5 présentent les méthodes de peuplement spécifiques proposées pour les zones industrielles, l'habitat collectif et l'habitat individuel respectivement ainsi que les résultats de simulation obtenus sur chacun de ces types de zone. La section 6 conclut cet article, discute les résultats et présente les perspectives ouvertes par ces travaux.

2. Méthodes de peuplement

La dynamique globale du système est contrôlée par les règles d'évolution. Ces dernières sont appliquées à toutes les échelles meso géographiques, de la ville à l'îlot. En plus de ces règles, la simulation requiert d'autres règles, les méthodes de peuplement, plus spécifiques et locales, afin de peupler la ville avec de nouveaux éléments micro (bâtiments, routes, etc) tout en respectant certaines contraintes quant à l'organisation spatiale souhaitée.

2.1. Présentation

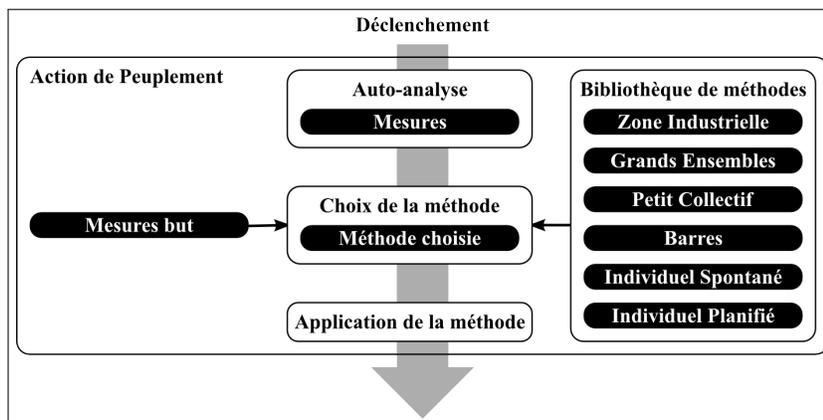


Figure 1 – Choix d'une méthode de peuplement.

Les méthodes de peuplement définissent précisément les processus dont la dynamique est contrôlée par les règles d'évolution. Pour ce faire, les méthodes de peuplement guident la création de nouveaux objets géographiques et sont paramétrées afin de simuler les spécificités de l'évolution d'un élément meso géographique particulier. Un îlot peut, par exemple, se densifier ou se restructurer. Le processus s'effectue en

trois étapes. Dans un premier temps, l'agent (ici l'îlot) analyse son état à l'aide d'un ensemble de mesures (densité, type de zone...). Dans un second temps, il compare ses mesures avec les mesures but fixées par les règles d'évolution et choisit, parmi la liste des méthodes disponibles dans la bibliothèque, celle qui est la plus appropriée (cf. figure 1). Dans la dernière étape, l'agent applique la méthode choisie. Dans la suite de l'article, nous présentons les spécialisations proposées pour les zones industrielles, l'habitat collectif et l'habitat individuel.

2.2. Mesures sélectionnées a priori

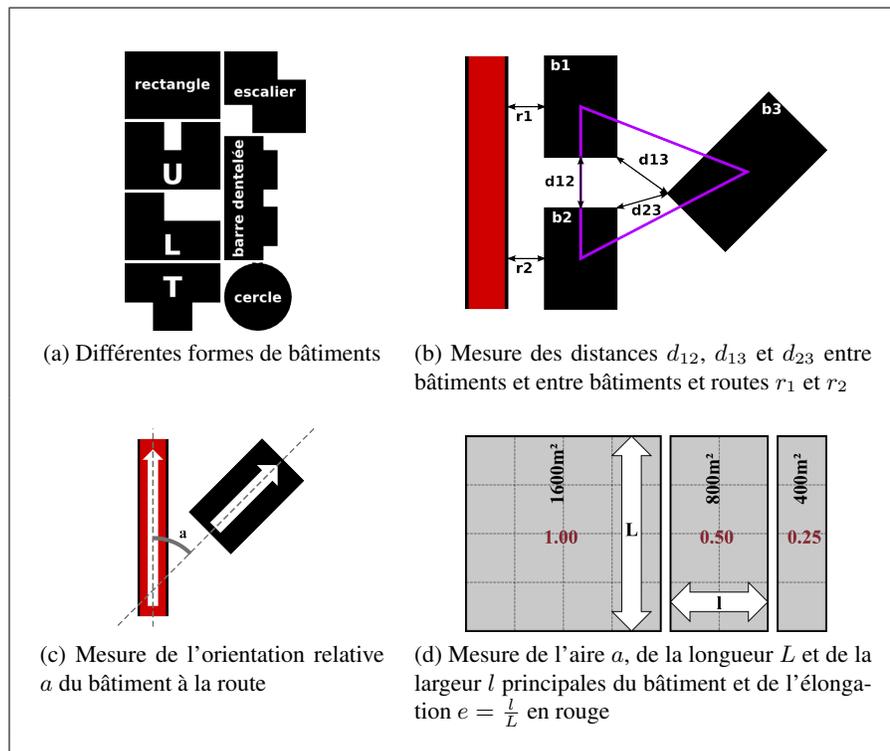


Figure 2 – Mesures sélectionnées.

Afin de définir des méthodes de peuplement génériques pour la construction de bâtiments au sein d'un îlot urbain, un ensemble de mesures morphologiques sur l'îlot et les bâtiments a été défini (cf. figure 2). Ces mesures concernent d'une part l'ensemble des paramètres nécessaires à créer la géométrie des bâtiments parmi lesquels on peut citer la forme (rectangulaire, en L, en U, en T, en forme d'escalier, etc.), la taille (aire, longueur et largeur) et l'élongation, et d'autre part des paramètres de positionnement du bâtiment au sein de l'îlot. Il s'agit ainsi, pour ces dernières mesures, de savoir où et comment placer le nouveau bâtiment dans l'îlot. Les mesures retenues concernent

l'orientation du bâtiment par rapport à la route (la plus proche, celle qui donne accès au bâtiment), la distance du bâtiment à cette route, mais aussi la distance entre ce bâtiment et les autres bâtiments proches de l'îlot (les voisins).

2.3. Problèmes rencontrés par les géographes

La détermination des méthodes de peuplement telles qu'elles sont implémentées dans le système nécessite de décrire l'organisation spatiale des objets à l'échelle de l'îlot urbain. Cette échelle d'analyse est assez inhabituelle pour un géographe. Si le commentaire de carte est un exercice largement pratiqué par le géographe [TIF 00], l'analyse qui en est traditionnellement faite ne correspond pas au niveau d'analyse qui est requis par le système. À la lecture d'une carte topographique [COS 08], un géographe est capable de retracer l'histoire de la ville [WAC 00]. Mais à l'échelle de l'îlot, déterminer comment s'est structuré cet îlot est une toute autre problématique. Le niveau d'analyse requis ici correspond à l'analyse morphologique décrite par [PAN 01] et [ARN 08] entre géographie et architecture : "Il s'agit tout d'abord de reconnaître des différences dans l'organisation matérielle de l'espace ou bien dans la manière dont il est occupé, sur la base de représentations cartographiques. [...] Autrement dit, l'analyse découpe l'espace considéré en parties qui présentent des similitudes internes ou qui se distinguent de leurs environs. Derrière ce découpage, on fait l'hypothèse générale que chaque partie correspond à un mode spécifique de production.[...] L'analyse morphologique traite de l'organisation matérielle, celle d'un réseau de rues par exemple ou bien celle du mode de distribution des constructions sur une parcelle" [ARN 08]. Dans le projet GeOpenSim, l'analyse morphologique est réalisée sur les seuls critères topographiques issus de cartes et bases de données topographiques et ne considère que les formes des objets topographiques. L'objectif final est de concevoir un outil de simulation de l'îlot urbain basé sur des règles de peuplement suffisamment précises pour créer des routes et placer des bâtiments dont l'agencement fera émerger des structures connues de villes industrialisées sans pour autant se soucier de la position et de la taille exactes des bâtiments.

La détermination des méthodes de peuplement est basée sur une analyse visuelle réalisée par des experts géographes. L'objectif de cet article est de présenter le raisonnement mis en place permettant de déduire les paramètres caractéristiques pour construire des méthodes de peuplement. Le passage de l'analyse géographique aux méthodes de peuplement fixant les règles de structuration à l'échelle de l'îlot urbain est loin d'être immédiat et nécessite de nombreux ajustements. Des règles qualitatives, a priori simples pour le géographe, ne sont, en effet, pas forcément simple à transcrire en règles quantitatives utilisables pour la simulation. Cette difficulté, qui constitue tout l'intérêt de ce travail et la difficulté majeure rencontrée, a deux principales explications : (1) les objets rencontrés dans la réalité présentent une grande diversité qu'il est très difficile de formaliser (en formes paramétrées par exemple) et (2) de ce fait, il est très difficile de décrire complètement (dans toute sa complexité) un objet géogra-

phique à l'aide de mesures (ou paramètres) de sorte qu'il soit possible de construire un objet semblable lors d'une simulation.

Dans le cadre de cette étude, trois types de peuplement ont été identifiés et caractérisés : (1) zone à caractère industriel ou commercial (2) habitat collectif et (3) habitat individuel (les zones de centre-ville ont été écartées de cette analyse). À partir de ces trois types de peuplement de base, des peuplements mixtes pourront être ultérieurement dérivés par combinaison. Pour chacun de ces types de base, les experts ont identifiés des zones types sur les agglomérations d'Orléans et de Strasbourg (les deux zones tests du projet GeOpenSim). Une caractérisation période par période de chaque zone est réalisée afin d'obtenir une description des changements récurrents intervenus pour chaque période. Les périodes sont définies entre chaque date ou document de référence. Pour les deux zones d'intérêt (Orléans et Strasbourg), les dates de références sont respectivement 1956/1957, 1976/1978, 1989, 1999 pour les cartes papier au 1/25000 (Orléans) ou les photographies aériennes (Strasbourg), et 2002/2007 pour la BD TOPO®. La comparaison entre zones des changements récurrents nous permet d'établir des comportements types (comportements proches ou identiques) qui sont transcrits en méthodes de peuplement dans le système.

3. Zones industrielles

3.1. *Analyse géographique du processus de peuplement*

Les zones industrielles sont issues de programmes d'aménagement qui déterminent précisément la localisation et l'emprise de ces zones. Les zones industrielles sont morphologiquement très différentes du reste de la ville. La concentration de bâtiments de très grande taille et de formes compactes et variées dans des secteurs bien déterminés de la ville (proche des voies ferrées, des échangeurs, et en périphérie) sont les critères spécifiques de ces zones.

L'analyse visuelle du processus de peuplement des zones industrielles a permis de dégager un comportement assez typique de remplissage (*cf.* figure 3) en trois phases : (1) initialisation : création des premiers bâtiments aux extrémités de la zone avec un accès direct au réseau de communication existant (10% de la zone est exploitée) (2) complément : construction des bâtiments et réseaux complémentaires (environ 60% de la zone est occupée) (3) finalisation : dernières constructions de bâtiments qui permettent d'atteindre la saturation estimée de la zone. Ces trois phases correspondent aux états d'avancement des zones industrielles, qui semblent naturellement liés à la position des zones industrielles dans l'agglomération. Les plus anciennes se situent naturellement au centre et sont saturées (phase 3 atteinte) alors que, parmi les plus récentes, développées en périphérie, certaines permettent encore une densification (phase 2 ou 3 en cours). Pour les plus anciennes, on note parfois une phase de restructuration interne alors que la saturation a déjà été atteinte.

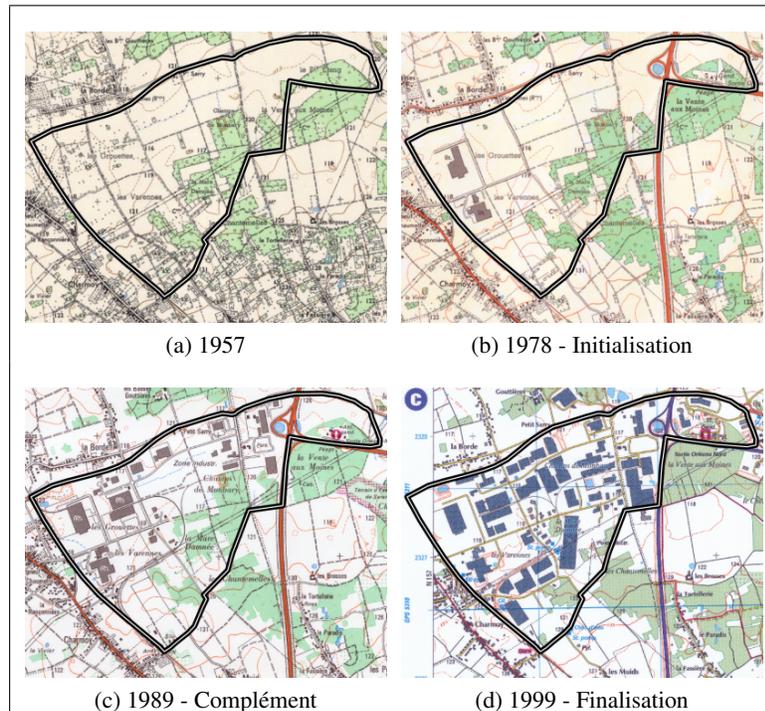


Figure 3 – Exemple d'évolution de zones industrielles - Orléans.

3.2. Ajustement des mesures aux critères géographiques

L'analyse effectuée a ainsi permis de mettre en évidence trois grandes phases de remplissage des zones industrielles. Ces trois phases (initialisation, complément et finalisation) sont fortement dépendantes de l'espace encore disponible dans l'îlot pour la construction de nouveaux bâtiments. Ainsi logiquement, la taille des bâtiments va décroître de la phase d'initialisation à la phase de finalisation, l'espace constructible se réduisant progressivement au fur et à mesure du remplissage de l'îlot.

Afin de reproduire cette densification des zones industrielles, plusieurs stratégies peuvent être envisagées. La première consiste à créer une méthode de peuplement pour chacune des phases de remplissage identifiées. Cette stratégie présente l'inconvénient de nécessiter énormément de seuils notamment concernant la taille des bâtiments qui est un paramètre susceptible de varier d'une zone industrielle à l'autre (en fonction de la place disponible). Une autre stratégie, celle qui a été adoptée ici, consiste à ne créer qu'une seule méthode de peuplement et à choisir la taille du bâtiment à construire en fonction de l'espace libre dans l'îlot. Le choix de la taille du bâtiment se fait par tirage aléatoire entre un minimum (de $200m^2$) et un maximum dépendant de l'espace disponible pour construire le bâtiment. Les principaux critères de cette méthode de

peuplement dérivée de l'analyse géographique des zones industrielles sont présentés dans le tableau 1 (page 13).

3.3. Résultats

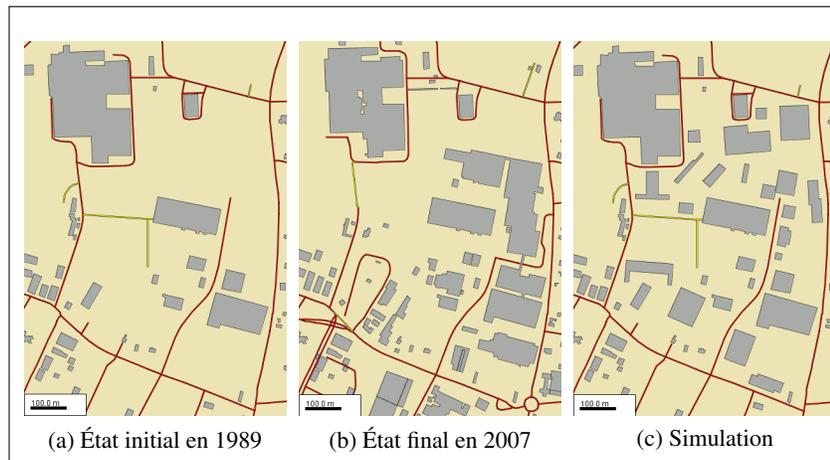


Figure 4 – Simulation d'une densification avec la méthode de peuplement zone industrielle.

Le résultat obtenu pour la densification d'une zone industrielle via la méthode de peuplement définie précédemment (*cf.* figure 4c) peut être comparé à la réalité (*cf.* figure 4b). La distribution des tailles de bâtiments ainsi que le positionnement des bâtiments (par rapport à la route et les uns par rapport aux autres) correspondent en effet assez bien aux observations. Cependant, plusieurs améliorations peuvent être apportées afin d'améliorer le réalisme du peuplement d'une telle zone :

- La forme des bâtiments de ces zones industrielles est extrêmement complexe et variée dans la réalité. Les bâtiments présentent souvent de petits décrochements non reproduits dans cette simulation mais qui pourraient faire l'objet de futurs développements.

- L'orientation des bâtiments peut également être améliorée. Par défaut, les bâtiments sont positionnés parallèlement à la route la plus proche. Ce positionnement n'est pas forcément adapté au niveau des virages.

- Enfin, l'observation de différentes zones industrielles semble montrer qu'il existe une organisation de l'hétérogénéité de la taille des bâtiments présents. Les petits bâtiments semblent se concentrer sur certaines parties de l'îlot. Si cette analyse se vérifie, la taille du nouveau bâtiment créé devra prendre en compte les caractéristiques de ses plus proches voisins afin de leur ressembler.

4. Habitat collectif

4.1. Analyse géographique du processus de peuplement

Trois grands types d'habitat collectif qui correspondent à une évolution chronologique ont été identifiés : les débuts de l'habitat collectif avec les «barres» des années 50-60, les «grands ensembles» des années 70 et le «petit collectif» qui fait office de compromis depuis le début des années 80.

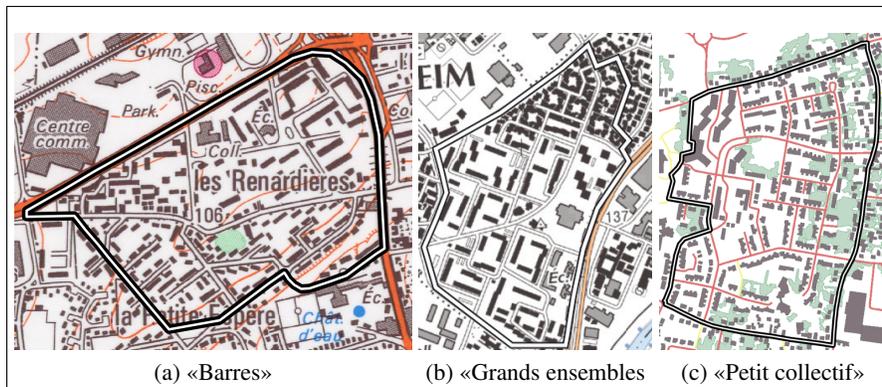


Figure 5 – Différentes zones d'habitat collectif.

«Les barres» correspondent aux premiers immeubles en forme de parallépipèdes étroits et allongés au sol, constitués d'appartements traversants [GAU 03]. De 300 à $900m^2$, de forme rectangulaire, l'élongation est évaluée à $0,1 - 0,3$, la largeur des murs est stable, autour de $10m$. Ces petites barres se situent à $10 - 15m$ de la route (afin de limiter les raccords aux divers réseaux), parallèle, en épis ou perpendiculaire à la route et parallèles entre elles avec des décalages. On peut ainsi obtenir des formes de râteau ou d'arêtes de poisson (cf. figure 5a). Ce type d'habitat correspond aux premières formes d'habitat collectif, il doit donc être simulé pour des dates antérieures à 1960 lors du stade d'initialisation des zones d'habitat collectif.

«Les grands ensembles» correspondent à de grandes opérations immobilières qui se caractérisent [LAC 63] par le nombre de logements qu'ils rassemblent (> 1000 logements) en réponse à la crise du logement des années 60-70. Cet aménagement urbain comporte le plus souvent plusieurs bâtiments en forme de barres ou de tours (au volume allongé vers le haut) construits suivant une architecture et un plan de masse constituant une unité de conception [GAU 03]. Sur les zones de ce type, les tours font 300 à $400m^2$, elle sont parfois doubles (jumelées par l'angle) plutôt groupées en milieu d'îlot (grappe de tours disposée en quinconce par exemple [ALL 04]) et les immeubles peuvent atteindre 800 à $1000m^2$ voire $2000m^2$. Ils sont de formes carrées à rectangulaires, très allongés, positionnés parallèlement ou perpendiculairement les uns aux autres, formant par association des géométries qui construisent des U, L ou S (cf. figure 5b).

«**Le petit collectif**» apparaît ensuite dans les années 80 et continue de se développer à l'heure actuelle. Il s'agit des nouvelles formes d'habitat collectif en réaction au «drame» des grands ensembles. Cet aménagement propose des bâtiments où la verticalité n'est plus de rigueur (3 à 4 étages maximums) avec une emprise au sol plus faible. Il présente 95% de formes très découpées, dentelées (avancées de garage) de 300 à 1000m², parallèles à la route. Des structures complémentaires (hors habitat) sont parfois associées, il s'agit de formes complexes originales, très imposantes (800 à 1200m²) (cf. figure 5c).

4.2. Ajustement des mesures aux critères géographiques

Une méthode de peuplement a été créée pour chacun des types d'habitat collectif déterminés lors de l'analyse géographique (cf. tableau 1 page 13). Différentes adaptations ont été nécessaires afin de reproduire au mieux ces zones d'habitat collectif. La principale adaptation concerne sans doute l'épaisseur des bâtiments. Lors de la sélection des paramètres a priori nécessaires à la création de nouveaux bâtiments dans un îlot urbain, nous avons sélectionné : la forme, l'aire et l'élongation. Les premiers tests ont montré que ces 3 paramètres, qui nous paraissaient suffisants pour contraindre la forme de nouveaux bâtiments, ne permettaient pas de respecter certaines contraintes architecturales. Les barres d'habitat collectif sont constituées, la plupart du temps, d'appartements traversants. L'épaisseur de ces bâtiments est donc souvent d'environ 10m, ce que les seuls paramètres d'aire et d'élongation ne suffisent pas à fixer avec précision. L'épaisseur du bâtiment a donc été ajoutée comme nouveau paramètre nécessaire à la création d'un bâtiment. Une nouvelle forme de bâtiment a également été créée pour le petit collectif. Cette forme de barre dentelée assez typique de ce type de peuplement permet d'améliorer le réalisme de notre méthode.

4.3. Résultats

Les deux premières méthodes de peuplement d'habitat collectif correspondant aux «barres» et aux «grands ensembles» ont été appliquées sur une zone test de Strasbourg. Les simulations (cf. figures 6c et 6f) montrent des résultats satisfaisants concernant la forme et le positionnement des bâtiments simulés. Comme pour les zones industrielles, l'orientation des bâtiments peut être améliorée. Les arrangements de bâtiments en forme d'épis, de râteau ou d'arêtes de poisson pourront également être intégrés afin d'améliorer le réalisme de ce type de peuplement. La troisième méthode correspondant au «petit collectif» a, quant à elle, été appliquée sur une zone d'Orléans (cf. figure 6i) Le travail réalisé sur la forme des bâtiments pour ce type de peuplement doit encore être poursuivi, les caractéristiques de forme et de position doivent être affinées afin d'orienter vers la route les avancées correspondant aux garages.

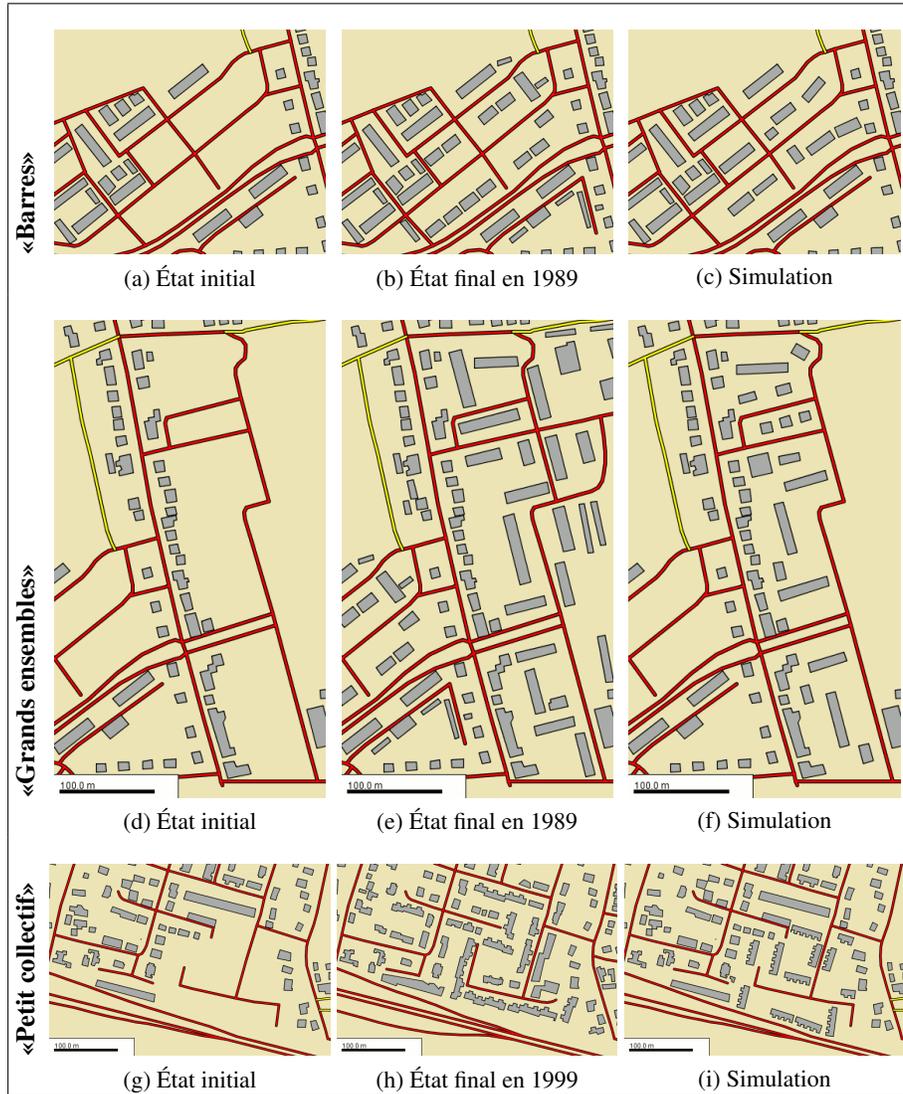


Figure 6 – Simulation d’une densification avec les méthodes de peuplement.

5. Habitat individuel

5.1. Analyse géographique du processus de peuplement

Contrairement à l’habitat collectif, il est difficile d’associer des formes spécifiques d’habitat individuel à une époque. L’étude des cartes et des données topographiques permettent de différencier deux grands types d’habitat individuel (pavillonnaire), hor-

mis l'habitat individuel hérité (présent sur les cartes avant 1957). Il s'agit de l'habitat individuel «spontané» et de l'habitat individuel «planifié».

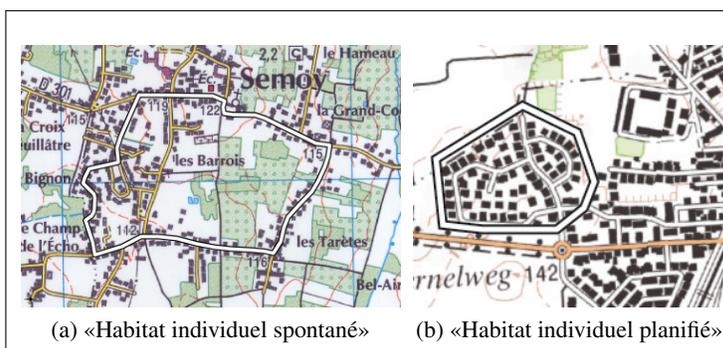


Figure 7 – Zones d'habitat individuel.

«L'habitat individuel spontané» correspond à des pavillons/habitations construites, en complément de l'habitat hérité dans les espaces interstitiels, en priorité le long des axes de communication existants. Ce type d'habitat dit «spontané» n'est pas exempt de règles mais il répond à une logique de continuité linéaire du bâti (*cf.* figure 7a).

«L'habitat individuel planifié» correspond à des bâtiments construits selon un plan d'aménagement issu du (re)découpage des îlots et de la construction de dessertes sans issue. Ce type d'habitat génère un tissu très différencié. Les nouveaux îlots créés pour cet habitat peuvent former soit des boucles à l'intérieur d'îlots plus grands permettant de relier des routes existantes, soit des lobes (ou nodules) à l'extérieur, en bout de réseau existant (*cf.* figure 7b). Le découpage est optimisé pour placer et desservir le maximum de bâtiments pavillonnaires. Les pavillons sont principalement de forme carrée à rectangulaire, parallèle à la route.

Sur la forme, la distance à la route et l'orientation des bâtiments, la très grande régularité observée dans le cadre de l'habitat planifié ne se vérifie pas toujours pour l'habitat spontané. En termes de dynamique, les densifications partent des zones construites vers les zones peu ou pas construites (avancée du front) de manière à créer des zones bâties compactes ou établir des liaisons entre zones bâties antérieures (2 centres bourg qui s'agglutinent). On peut noter également une multiplication de l'habitat individuel planifié à partir des années 80.

5.2. Ajustement des mesures aux critères géographiques

Ce type de peuplement a été traité en dernier et après de nombreux ajustements concernant les mesures et les algorithmes mis en place. C'est probablement pour cette raison, mais aussi, peut-être, parce que ces types de peuplement sont plus simples, qu'aucun ajustement n'a été nécessaire. Les paramètres utilisés pour les méthodes de peuplement de type habitat individuel sont listées dans le tableau 1 (page 13).

Nom de la méthode	«Zone Industrielle»	«Barre»	«Grand Ensemble»	«Petit Collectif»	«Individuel spontané»	«Individuel planifié»
Période	1950-actuel	1945-1960	1960-1980	1980-actuel	1945-actuel	1945-actuel
Distance à la route - distribution - min à max	normale 10 à 20m	normale 5 à 15m	normale 5 à 15m	normale 4 à 10m	aléatoire 4 à 15m	normale 8 à 12m
Distance interbâtiment - distribution - min à max	normale 20 à 40m	normale 0 à 10m	normale 5 à 15m	normale 0 à 10m	aléatoire 2 à 15m	normale 8 à 12m
Orientation du bât. - / à la route - / aux bâtiments	non renseigné non renseigné	parallèle parallèle	parallèle parallèle	parallèle parallèle	parallèle non renseigné	parallèle non renseigné
Type de bâtiment 1 : - forme - aire - distribution - min à max - élongation - épaisseur - fréquence	rectangle, L, U, T, escalier aléatoire 200 à 10000m ² non renseigné non renseigné 100%	rectangle normale 300 à 700m ² non renseigné 10m 100%	carré normale 250 à 450m ² non renseigné non renseigné 15%	barre dentelée normale 200 à 1000m ² non renseigné 10m 95%	rectangle aléatoire 60 à 300m ² 0.6 à 1 non renseigné 80%	rectangle normale 100 à 180m ² 0.6 à 1 non renseigné 80%
Type de bâtiment 2 : - forme - aire - distribution - min à max - élongation - épaisseur - fréquence			rectangle, L normale 600 à 1400m ² non renseigné 10m 85%	escalier normale 1500 à 2500m ² 0.6 non renseigné 5%	L, T aléatoire 60 à 300m ² 0.6 à 1 non renseigné 20%	L, T normale 100 à 180m ² 0.6 à 1 non renseigné 20%

Tableau 1 – Principales caractéristiques des méthodes de peuplement.

5.3. Résultats

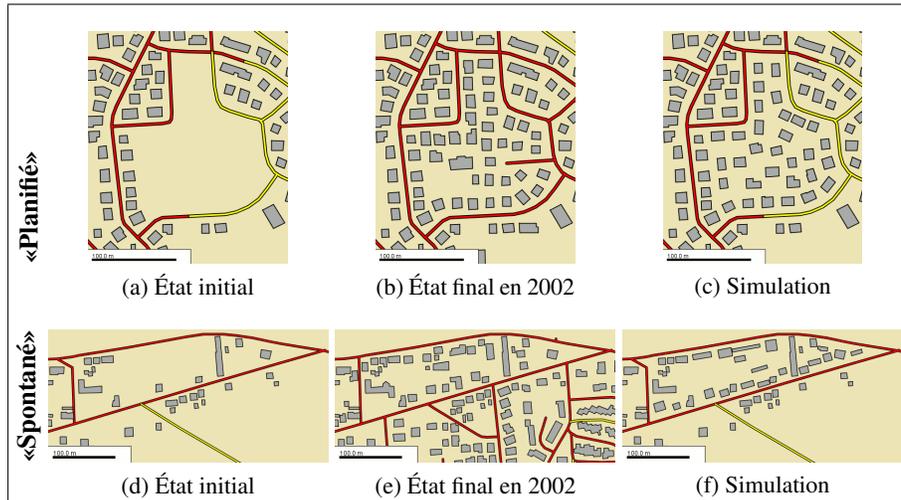


Figure 8 – Simulation d’une densification avec les méthodes de peuplement «individuel planifié» et «individuel spontané».

Les résultats produits par la simulation de la densification de zones d’habitat individuel sont satisfaisants, notamment pour l’habitat individuel planifié. Néanmoins, certaines propriétés des tissus urbains simulés sont à améliorer. En effet, malgré la ressemblance entre les figures 8b et 8c, on remarque l’absence d’alignements entre les bâtiments dans les résultats de simulation. Ces alignements, produits à la fois par le parcellaire et les règles d’urbanisme, peuvent être obtenus lors de la simulation en ajoutant des contraintes spécifiques.

6. Conclusion et perspectives

Dans cet article, une formalisation des processus de peuplement d’îlots (de types industriel, habitat collectif et individuel) a été proposée pour simuler la densification des tissus urbains. Cette formalisation s’appuie sur l’analyse visuelle de cartes topographiques et de photographies aériennes entre 1950 et 2010. Les processus identifiés ont été implémentés sur la plate-forme GeOpenSim dans des méthodes de peuplement. Ces dernières ont été testées dans le cadre de la simulation d’une densification urbaine sur différentes zones d’Orléans et de Strasbourg à l’aide d’un système multi-agents.

Comme le montrent les résultats de simulation présentés, les méthodes de peuplement proposées produisent de très bons résultats, notamment pour l’habitat individuel et collectif (barres et grands ensembles). Lors du travail de formalisation et d’évaluation des résultats, une différence importante a été identifiée entre les mesures (quantitatives) a priori importantes pour la création et le positionnement des bâtiments (par

le simulateur) et les connaissances géographiques (qualitatives) des experts. D'une part, certaines mesures se sont avérées difficiles à utiliser (l'élongation par exemple) et d'autre part, certaines mesures se sont révélées importantes pour le réalisme des résultats de simulation et ont été ajoutées (l'épaisseur par exemple). Ainsi d'autres mesures peuvent être ajoutées afin d'améliorer encore les résultats. Citons, par exemple, la ressemblance entre bâtiments voisins et l'accessibilité au réseau de transport. Par ailleurs, de nouveaux comportements doivent être intégrés à la plate-forme, notamment concernant la construction de nouvelles routes. Les méthodes de peuplement d'îlots définies pourront, à terme, être combinées afin de proposer des peuplements mixtes par association de types différents (ex : îlot qui se densifie à 60% d'individuel et à 40% de collectif). L'intégration de types complémentaires pourra aussi être envisagée si la typologie "individuel, collectif, industriel" devenait trop restrictive. En outre, le caractère générique des règles de peuplement proposées (sur la base de Strasbourg et Orléans) devrait permettre de les utiliser sur d'autres villes. Cependant des adaptations locales seront probablement nécessaires notamment lors de la simulation sur des tissus urbains non français.

7. Bibliographie

- [ALL 04] ALLAIN R., *Morphologie urbaine - Géographie, aménagement et architecture de la ville*, Armand Colin, 2004.
- [ARN 08] ARNAUD J.-L., *Analyse spatiale, cartographie et histoire urbaine*, Parenthèses, 2008.
- [BAD 07] BADARIOTTI A., BANOS A., MORENO D., « Conception d'un automate cellulaire non stationnaire à base de graphe pour modéliser la structure spatiale urbaine : le modèle Remus », *Cybergeo, Sélection des meilleurs articles de SAGEO 2006*, , 2007.
- [BAT 86] BATTY M., LONGLEY P., « The fractal simulation of urban structure », *Environment and Planning A*, vol. 18, 1986, p. 1143-1179.
- [BAT 97] BATTY M., XIE Y., « Possible urban automata », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol. 2, 1997, p. 175-192.
- [BAT 04] BATTY M., BARROS J., ALVES S., « Cities : continuity, transformation and emergence », *Working paper: CASA Working Papers (72)*, Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), London, UK, 2004.
- [BAT 08] BATTY M., « Cities as complex systems : scaling, interactions, networks, dynamics and urban morphologies », *Working paper: CASA Working Papers (131)*, Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), London, UK, 2008.
- [COS 08] COSTA L., ROBERT S., *Guide de lecture des cartes anciennes*, Errance, 2008.
- [COU 97] COUCLELIS H., « From cellular automata to urban models : new principles for model development and implementation », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol. 2, 1997, p. 165-174.
- [CUR 10] CURIE F., PERRET J., RUAS A., « Simulation of urban blocks densification », 13th *AGILE International Conference on Geographic Information Science*, May 2010.
- [GAU 03] GAUTHIEZ B., *Espace urbain : vocabulaire et morphologie*, Editions du patrimoine, 2003.

- [LAC 63] LACOSTE Y., « Un problème complexe et débattu : les grands ensembles », *Bulletin de l'association des géographes français*, n° 318-319, 1963.
- [LEF 08] LEFEBVRE B., RODIER X., SALIGNY L., « Understanding urban fabric with the OH_FET model based on social use, space and time », *Archeologia e Calcolatori*, vol. 19, 2008, p. 195-214.
- [O'S 00] O'SULLIVAN D., « Graph-based cellular automata models of urban spatial processes », PhD thesis, University College London, London, 2000.
- [O'S 01] O'SULLIVAN D., « Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton models », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol. 28, 2001, p. 687-705.
- [PAN 01] PANERAI P., CASTEX J., DEPAULE J., *Formes urbaines : de l'îlot à la barre*, Parenthèses, 2001.
- [PER 09] PERRET J., BOFFET MAS A., RUAS A., « Understanding Urban Dynamics : the use of vector topographic databases and the creation of spatio-temporal databases », *24th International Cartography Conference (ICC'09)*, November 2009.
- [PER 10a] PERRET J., CURIE F., GAFFURI J., RUAS A., « A Multi-Agent System for the simulation of urban dynamics », *10th European Conference on Complex Systems (ECCS'10)*, Lisbon, Portugal, september 2010.
- [PER 10b] PERRET J., CURIE F., GAFFURI J., RUAS A., « Un système multi-agents pour la simulation des dynamiques urbaines », *actes des 18èmes Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA'10)*, october 2010.
- [ROD 07] RODIER X., SALIGNY L., « Modélisation des objets urbains pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée », BATTON-HUBERT M., JOLIVEAU T., LARDON S., Eds., *SAGEO 2007, Rencontres internationales Géomatique et territoire*, 2007.
- [TIF 00] TIFFOU J., *Commenter la carte topographique aux examens et concours*, Armand Colin, 2000.
- [WAC 00] WACKERMANN G., *Géographie urbaine*, Ellipses, 2000.
- [WER 09] WERNER P., « Application of Cellular Automata and Map Algebra in Studies of Land Use Changes. The Neighborhood Coefficients Method », *Geoinformatica Polonica*, vol. 9, 2009, Polska Akademia Umiejetności - Wydawnictwo, Kraków.
- [WHI 97] WHITE R., ENGELEN G., « Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol. 2, 1997, p. 235-246.