

Le modèle ABM dans la modélisation d'une ville

GAUTHIER Silvère – LAMEIRA Yannick

Table des matières

I) Introduction

Qu'est-ce qu'une ville

Pourquoi vouloir modéliser une ville ?

Quels problèmes peuvent alors se poser ?

Quelles sont les solutions à ces problèmes ?

II) Dans le jeu vidéo : SimCity

1) Les agents

Qu'est-ce qu'un agent ?

Quels sont les agents dans SimCity?

A quoi servent-ils ?

2) Les règles de simulation

Que sont les règles de simulation ?

A quoi servent-elles ?

3) L'environnement des agents

4) Quels sont les aboutissements possibles de la simulation ?

5) Parallèle avec SimPop

III) Dans l'économie

1) La planification urbaine

2) L'évolution des structures urbaines et l'étalement urbain

3) La visualisation

Dans le commerce

Dans la recherche

IV) Vers d'autres sciences

V) Conclusion et Bibliographie

Conclusion

Bibliographie

I) Introduction

Dans le monde d'aujourd'hui, les villes sont en expansion permanente, ce qui pose problème lors de la modélisation de celles-ci. En effet, les modèles doivent pouvoir s'adapter aux nouvelles conditions (dimensions, configurations ...). Il sera donc intéressant de voir comment un système peut permettre une adaptation à ces modifications de l'environnement.

Qu'est-ce qu'une ville ?

Il existe différentes manières de définir une ville.

Définition du dictionnaire Larousse :

« Agglomération relativement importante et dont les habitants ont des activités professionnelles diversifiées. »

Définition de Wikipedia :

« Milieu physique où se concentre une forte population humaine, et dont l'espace est aménagé pour faciliter et concentrer ses activités : habitat, commerce, industrie, éducation, politique, culture, etc. Les principes qui régissent la structure et l'organisation de la ville sont étudiés par la sociologie urbaine, l'urbanisme ou encore l'économie urbaine. »

Définition de l'INSEE :

« Les villes et agglomérations urbaines, désignées aussi sous le terme unique d'unité urbaine, dont la délimitation est fondée sur le seul critère de continuité de l'habitat, peuvent être constituées :

- de deux ou plusieurs communes, c'est-à-dire d'une ville-centre et de sa banlieue, sur le territoire desquelles une zone agglomérée contient plus de 2 000 habitants ; une telle unité urbaine porte alors le nom d'agglomération multicommunale ;*
- d'une seule commune, dont la population agglomérée compte au moins 2 000 habitants ; une telle commune est dite ville isolée ou plus communément ville. »*



Un exemple de ville dans le monde réel

Dans la suite, nous nous intéresserons surtout aux aspects de diversité et d'évolution des structures et des populations au sein d'une ville.

Pourquoi vouloir modéliser une ville ?

Afin d'améliorer certains aspects d'une ville, des équipes peuvent travailler à modéliser le fonctionnement urbain et la perception de la ville dans différentes disciplines : air, eau, trafic, esthétique et cadre de vie. On utilise alors la modélisation pour accompagner les prises de décisions (par exemple construire un nouveau quartier ou placer un feu tricolore à un carrefour très fréquenté), sachant que l'on peut se permettre beaucoup plus de choses dans la simulation contrairement à la réalité. On peut ensuite en tirer des résultats et conclusions tant que la modélisation ne dépasse pas le cadre de la ville réelle.



Ville de Singapour modélisée par EDF pour la planification urbaine

On peut également vouloir modéliser une ville pour d'autres raisons, telles que créer un jeu se rapprochant de la réalité (SimCity en est le meilleur exemple) ou simplement pour avoir une visualisation de ville pour un film d'animation ou pour permettre aux utilisateurs de la visiter virtuellement.



Un exemple de ville dans le jeu SimCity

Mais dans tous les cas, autant pour le divertissement que pour de la recherche, modéliser une ville n'est pas aussi simple que l'on pourrait le penser. Cela requiert une certaine technicité, que ce soit dans la modélisation géométrique pour un rendu réaliste ou dans la simulation des éléments de la ville pouvant évoluer.

Quels problèmes peuvent alors se poser ?

La première question à se poser lorsque l'on veut modéliser une ville, c'est comment représenter correctement toute la complexité d'une ville d'aujourd'hui, et quels enjeux et problèmes peut-on rencontrer lors de sa modélisation. En effet, de nombreux travaux ont été réalisés et/ou sont en cours de réalisation concernant ce domaine, mais nous remarquons qu'ils concernent presque toujours des domaines très distincts (comme par exemple le trafic urbain, l'économie, les réseaux d'écoulement des eaux... etc).

La difficulté ici réside donc dans le fait que la modélisation urbaine est un domaine très vaste posant de nombreux problèmes isolés des autres, ayant chacun une méthode de résolution appropriée.

Les principaux problèmes se distinguant alors et qui nous intéressent particulièrement ici sont tous ceux qui concernent la simulation des populations et structures en évolution au sein de la ville. Par exemple, simuler une population implique de pouvoir simuler des comportements, plus ou moins individuels, ainsi qu'une possibilité pour celle-ci d'avoir un impact sur son environnement, voir même sur d'autres individus si l'on souhaite les modéliser individuellement. D'un autre côté, l'environnement peut également changer, de nouvelles constructions peuvent avoir lieu dans la ville, on peut vouloir également modéliser les véhicules, les plantes... etc.

On peut ainsi très vite être débordé par la complexité de la ville que l'on veut modéliser, et pour palier à ce problème nous sommes obligé de séparer les problèmes individuellement, ce qui ne permet pas de représenter les conséquences d'un problème telle qu'une construction qui peut avoir une influence sur la configuration de l'espace, la pollution, la vie des plantes et des humains... sans obtenir une complexité trop importante pour être traitée globalement dans un temps acceptable.

Quelles sont les solutions à ces problèmes ?

Comme dit précédemment, une première solution utilisée par nombre de chercheurs travaillant dans des domaines différents est de borner un problème uniquement autour de leur domaine. Grâce à cela, la plupart des problématiques de recherches utilisant la modélisation de villes peuvent trouver une ou plusieurs solution, plus ou moins pertinentes selon le sujet.

Seulement, toutes ces recherches ne peuvent pas prendre en compte tout ce qui est autour et qui peut influencer sur la solution, ce qui réduit fortement la pertinence de certains résultats simulés. Cela est souvent dû au manque de puissance de calcul disponible et à la quantité de connaissances utilisées dans le processus. Beaucoup de laboratoires ne peuvent également pas toujours être en relation avec tous les domaines concernés en réalité par leurs recherches.

C'est alors pour cela qu'une nouvelle technique est apparue : les systèmes multi-agents. Naïvement, on peut voir un tel système comme la modélisation individuelle de chaque être humain au sein d'une population avec un comportement différent, des buts différents et des actions choisies individuellement par chacun d'entre eux. Techniquement, cela ne concerne pas que les êtres humains (*voir Partie II*).

Ainsi, grâce à ces systèmes, les interactions entre les différents éléments individuels peuvent être beaucoup plus diversifiées et une communication entre les être humains par exemple permet de prendre en compte une large gamme d'interactions où chaque personne réagira à sa façon. Ce système permet alors de lier tous les domaines entre eux, et ainsi reconstruire une ville bien plus proche de la réalité que n'importe quel autre système existant actuellement.

Nous nous concentrerons donc ici sur les aspects multi-agents de la simulation de villes.

II) Dans le jeu vidéo : SimCity

1) Les agents

Qu'est-ce qu'un agent ?

Définition de Jacques Ferber :

« Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agent, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est une conséquence de ses observations, de ses connaissances et de ses interactions avec les autres agents. »

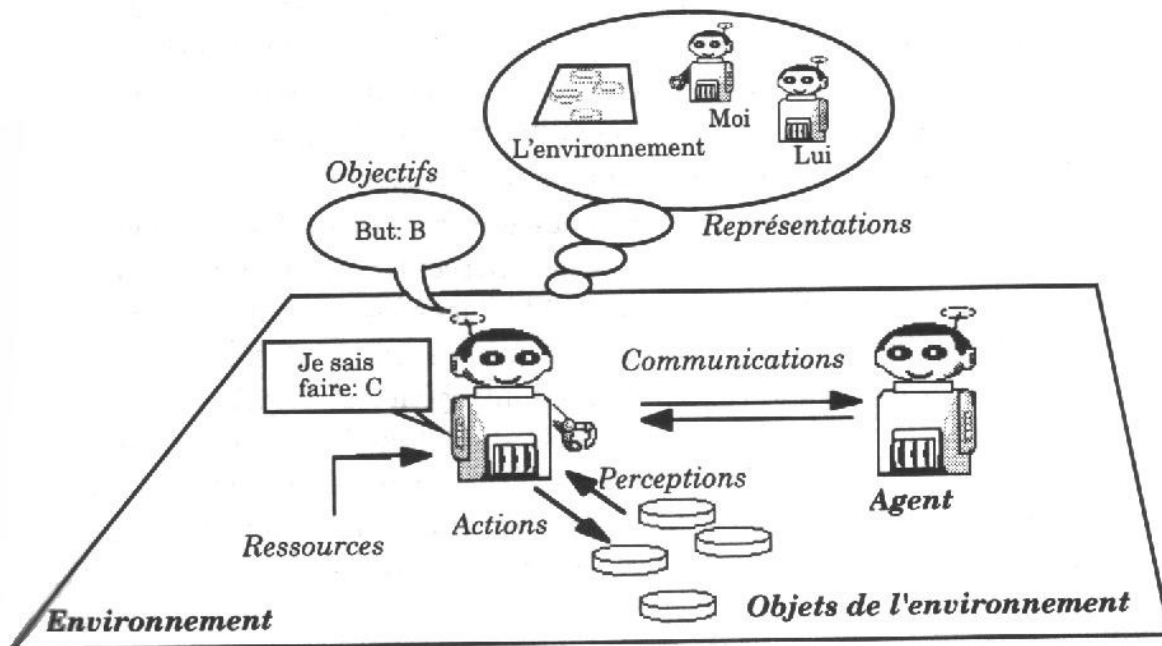


Schéma représentant les bases d'un Système Multi-Agent (SMA)

Un système multi-agent est un système composé d'un ensemble d'agents interagissant dans le même environnement selon différentes relations.

Un agent est capable d'agir dans un environnement, peut communiquer directement avec d'autres agents, est mû par un ensemble de tendances (sous forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'il cherche à optimiser), possède des ressources propres, est capable de percevoir de manière limitée son environnement, ne dispose que d'une représentation partielle de celui-ci, possède des compétences et peut éventuellement se reproduire.

Son comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont il dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'il reçoit.

Quels sont les agents dans SimCity?

Il y a deux types d'agents, certains sont visibles et d'autres invisibles par le joueur.

Dans SimCity, presque tous les éléments visibles sont des agents. Parmi eux, on retrouve les bâtiments, les voitures, les habitants. D'autres agents, invisibles pour le joueur, parcourront tout de même les routes de la ville tout comme les voitures. Le moteur GlassBox permet de simuler des dizaines de milliers d'agents.

Les voitures sont des agents ayant un unique but : arriver à destination. Par exemple, une voiture part de sa résidence vers son lieu de travail. Pendant le déroulement du trajet, aucune autre règle n'est exécutée. Certains de ces agents peuvent également transporter des ressources.

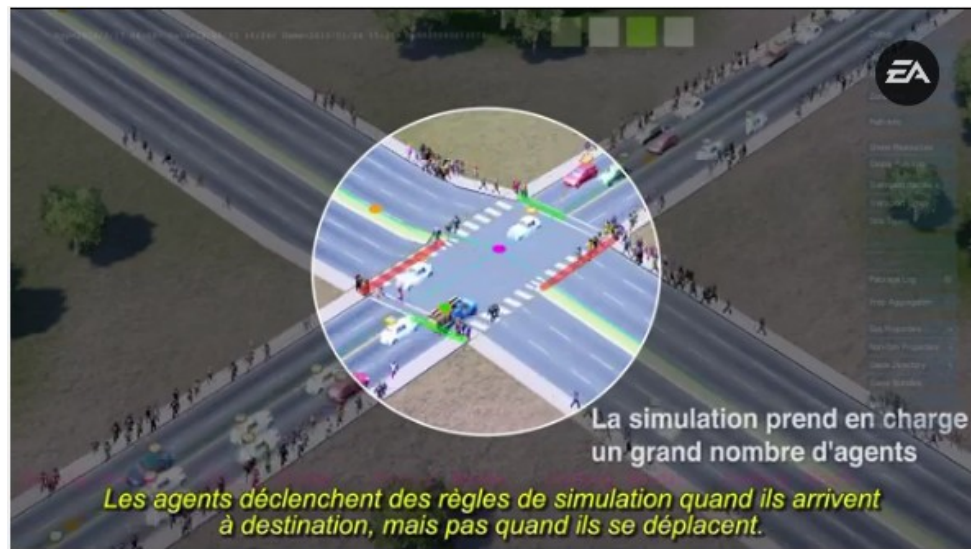


Image extraite de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »

Il existe tout un panel d'agents du même type mais qui seront invisibles pour le joueur. Ces agents ne seront là que pour le transport des ressources d'un lieu à un autre. Certains cas particuliers permettent de transmettre autre chose que des ressources, comme par exemple une « alerte incendie ». Ces agents parcourent les routes à la recherche d'agents demandeurs de ressources.



Pour les bâtiments, le processus est un peu plus complexe. En effet, ils contiennent des ressources comme du charbon ou des ouvriers pour une centrale de charbon.

Image extraite de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »

Chaque bâtiment pourra alors avoir un rôle spécifique, comme recruter des ouvriers et consommer des ressources naturelles afin de créer une autre ressource dans le cas des bâtiments industriels, participer à la sécurité de la ville en envoyant des agents sur des lieux d'accident pour les bâtiments tels que les caserne de pompiers ou les postes de police, ou encore seulement stocker des ressources, naturelles ou non, comme par exemple un château d'eau ou un entrepôt de stockage pour un commerce.

De plus, dans la dernière version, il est possible d'ajouter des unités supplémentaires aux bâtiments afin de leur ajouter de nouvelles fonctionnalités.

Par exemple, une caserne de pompiers peut être étendue avec des garages afin d'augmenter les effectifs de la caserne.



Image extraite de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »

Chaque unité pouvant être ajoutée est en réalité un agent communiquant avec le bâtiment d'origine.

Dans le dernier SimCity, les habitants aussi deviennent complexes. Ils sont en effet gérés individuellement par le moteur GlassBox et possèdent un lieu de résidence, de travail et de loisir défini. Chaque habitant, appelé Sim, a également un état de santé et une humeur. Ainsi, le mode de vie de chaque Sim (s'il travaille ou non, s'il fait des achats ou visite des parcs...) influe sur son état et son comportement. Les enfants sont également représentés plus petits que les adultes.

A quoi servent-ils ?

Comme dit précédemment, chaque agent a un rôle bien précis. Certains agents comme les voitures ou les agents invisibles sont chargés de transporter des ressources d'un lieu à un autre, comme des ouvriers, de l'eau, de l'électricité... etc. D'autres agents plus spécifiques, comme les bâtiments ou les habitants, ont un rôle défini pour le déroulement du jeu. Par exemple, une caserne de pompier peut recruter des pompiers, envoyer des camions de pompiers sur un lieu d'incendie après avoir reçu une alerte... etc.

Tous ces rôles sont définis par ce que l'on appelle des règles de simulation.



Image extraite de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »

2) Les règles de simulation

Que sont les règles de simulation ?

Une règle de simulation est une modélisation du comportement d'un agent face à une situation donnée. Un agent peut agir selon une ou plusieurs règles. Par exemple dans le cas de SimCity, une industrie ayant des postes à pourvoir suivra la règle suivante :

S'il y a des postes à pourvoir → Alors envoyer des appels d'offre

Et pour continuer le jeu, les habitants sans travail pourront répondre aux appels d'offre des industries. Un agent tel qu'un bâtiment peut ainsi suivre plusieurs règles en parallèle. Dans le cas de notre industrie, une quelconque activité de celle-ci induira une production de pollution aux alentours, ainsi qu'une diminution des ressources disponibles.

A quoi servent-elles ?

Ces règles de simulation permettent de définir les différents comportements que peuvent avoir les agents, et ainsi créer une grande diversité d'actions possibles.



Elle permettent également de créer des animations associées aux actions, ce qui rendra le jeu bien plus attrayant et agréable à jouer.

Images extraites de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »

Chaque règle ayant été exécutée pourra avoir des conséquences sur l'agent qui l'a exécutée, sur d'autres agents ou même sur l'environnement alentour.





Par exemple, un agent chargé de transporter l'électricité aura une certaine quantité de ressources en partant de la centrale d'énergie, puis parcourra les routes afin de la distribuer aux habitations qui en consomment.

Image extraite de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »

Ainsi, chaque fois que l'agent transporteur rencontrera une habitation, le transporteur verra ses ressources diminuer tandis que celles de l'habitation augmenteront. De même, une industrie qui consomme du charbon au cours du temps verra ses ressources diminuer et augmentera la quantité de pollution dans l'environnement alentour.



Certaines règles peuvent en déclencher d'autres. Ici, un feu peut enflammer d'autres maisons proches. Mais elles peuvent également créer de nouveaux agents comme ci-dessous.

Images extraites de la vidéo « GlassBox (Partie 4) »

Ici, une déclaration d'incendie dans une maison crée un agent d'alerte incendie qui parcourt les routes à la recherche d'une caserne de pompiers, ensuite, les pompiers viendront combattre le feu à la position indiquée par l'alerte.



3) L'environnement des agents

L'environnement dans SimCity est un terrain composé d'un ensemble de cartes qui définissent la répartition des différentes ressources.



Images extraites de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »



Il existe également d'autres cartes contrôlant les éléments comme les arbres ou la pollution.

Les cartes comme la distribution de pollution pourront avoir des effets sur les agents alentours. Par exemple, l'eau d'un château d'eau en zone polluée deviendra marron selon la quantité de pollution.

Le développeur de zone permet aux zones définies par le joueur de fournir un terrain et des ressources aux habitant venant construire une habitation, une industrie ou un commerce, selon le type de zone et sa densité.



Image extraite de la vidéo « GlassBox (Partie 1) »

4) Quels sont les aboutissements possibles de la simulation ?

Selon les différents choix du joueur quant aux paramètres tels que le taux d'imposition, la qualité d'entretien des routes, les financements octroyés aux services publique ainsi que les choix effectués pour la densité des zones résidentielles, industrielles ou commerciales, tous les agents vus précédemment réagiront à leur manière. Notamment au niveau des habitants, puisqu'ils ont chacun des aspirations et des buts différents dans la « vie ».

En effet, un habitant plutôt aisé souhaitant s'installer dans une zone résidentielle à faible densité, loin des industries pour éviter la pollution et proche des petits commerces pour se ravitailler facilement préférera ne pas s'installer dans votre ville plutôt que de faire des concessions sur ces points. Ainsi, le but du jeu est d'arriver à équilibrer la ville de sorte à avoir différentes classes sociales, régler correctement les financements et les taxes, configurer la ville de sorte que les services comme les pompiers ou les forces de l'ordre couvrent le maximum de résidences... etc. En rendant sa ville attractive, le joueur permet à de nouveaux habitants de s'installer, ce qui permet d'agrandir la ville et remplir les caisses grâce aux taxes.

Bien sûr, ce jeu étant très complet, une quasi-infinité de scénarios sont possibles.

5) Parallèle avec SimPop

SimPop est projet de modèle multi-agents pour l'évolution des systèmes de peuplement. L'objectif du modèle est de reproduire sur une période de temps très longue (environ deux mille ans), le passage d'un système de peuplement relativement homogène et à économie agricole, à une organisation urbaine hiérarchisée. Différentes hypothèses sont testées à l'aide de simulations et cet outil permet ainsi d'évaluer les rôles respectifs des paramètres qui caractérisent les comportements des villes ainsi que l'effet des différentes règles qui régissent l'évolution de l'ensemble du système.

Contrairement à SimCity, ce modèle est tourné vers le domaine géographique, où il est plus intéressant de gérer des agents représentant des entités territoriales (avec un certain niveau d'abstraction) relativement autonomes telles que des villages ou des villes, plutôt que de gérer des individus. L'intérêt majeur de ce formalisme est d'associer à chaque agent les propriétés et les règles qui définissent ses interactions avec les autres ou son évolution. Même si les règles sont communes aux entités qui composent le système, leur application est gérée localement, au niveau de chaque entité, en fonction de son état et des informations dont elle dispose sur ses voisins.

Par exemple, au lieu que la forme des interactions spatiales soit fixée par une équation de type gravitaire (décroissance des flux avec la distance) pour un ensemble du système, chaque localité va se définir un voisinage en fonction du type d'activités qu'elle possède, des portées qui y sont associées, de la concurrence des localités voisines ou des obstacles locaux aux échanges.

Dans SimPop, on considère une région représentée par une grille, dont les cellules peuvent varier en taille et en forme. Chaque cellule de la grille ainsi définie, c'est-à-dire chaque unité spatiale, définit un agent. Puisque les agents communiquent, les lieux peuvent aussi accéder aux informations relatives à d'autres cellules. Un ensemble de règles déterminent la nature, le sens et le rythme de l'évolution.

Concrètement, dans un système multi-agents, le choix de ce que représente un agent est primordial et dépend totalement du but de la modélisation du système. Dans SimCity, les agents sont individuels pour permettre une gestion locale au joueur, tandis que dans SimPop, les agents sont des entités étendues permettant alors une gestion plus abstraite et globale.

III) Dans l'économie

1) La planification urbaine

Les villes, puisqu'elles logent une population, ont des besoins. Que ce soit au niveau des ressources énergétiques comme l'électricité et le gaz, ou au niveau des aménagements spatiaux, il est nécessaire de pouvoir estimer ces besoins pour prévoir en amont une réponse aux demandes. C'est ce dont il est question dans la planification urbaine.

Simulation EDF :

EDF, premier producteur et fournisseur d'énergie en France et dans le monde, a développé un outil de modélisation urbaine lors des World Cities Summit 2014 à Singapour. Cet outil se base sur des techniques de simulation et de visualisation 3D et a pour but de prendre en compte les dimensions énergétiques et environnementales ainsi que la gestion des espaces verts, de l'eau, des déchets et des transports dans les zones urbaines pour identifier les stratégies de planification urbaine les plus efficaces.

Le projet, nommé ForCity, est un outil d'aide à la décision et d'optimisation des choix stratégiques qui prend en compte les interactions avec l'environnement.

Il est basé sur des cartes et des modélisations en 3D qui aideront à visualiser la ville avec des bâtiments, des sources d'énergie et des transports. Par la suite, les comportements des citoyens modélisés grâce à un système multi-agents permettront, grâce à des simulations, d'anticiper les conséquences des décisions qui seront prises (manque ou surplus de ressources par exemple). Ce qui permettra d'affiner les estimations. Malheureusement, les informations plus techniques sur le fonctionnement du système ne sont pas divulguées.

Simulation SIRADEL :

Cette entreprise est installée à Rennes et est spécialisée dans la planification des réseaux urbains et travaille avec tous les opérateurs de télécoms. Cette simulation est basée sur une prise de vues aériennes effectuées grâce au Siradel-Car, un camion équipé de capteurs qui permet une précision de 5 centimètres.

RAPPORT AU MULTI-AGENTS ???

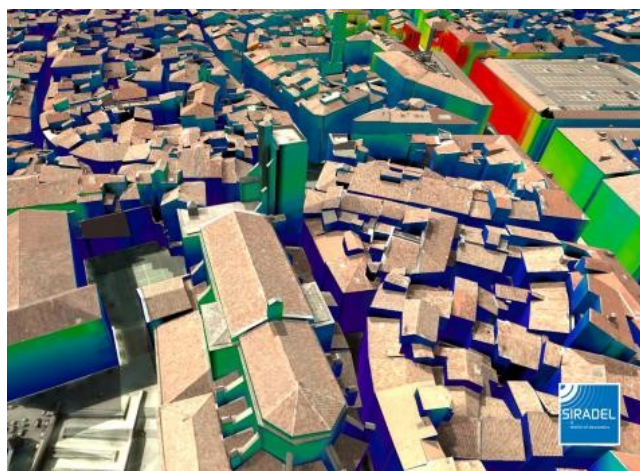


Image de ???

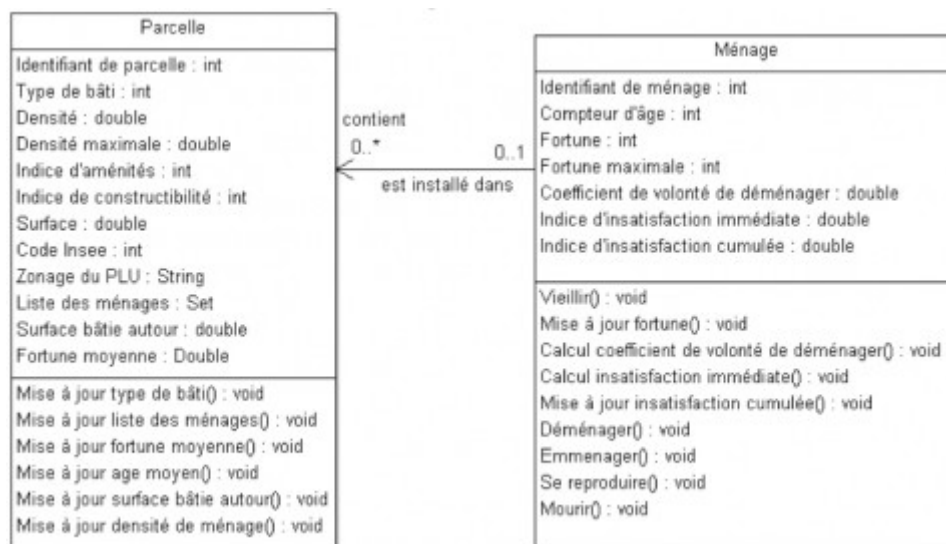
2) L'évolution des structures urbaines et l'étalement urbain

Les structures urbaines évoluent en deux types :

- Structures denses (type Amsterdam) permettant une maximisation de l'espace
- Structure éclatées (type Johannesburg) amenant à un étalement urbain.

Les villes sont dans l'obligation de s'adapter. En effet, lorsque les villes s'étalent, on retrouve une agglomération autour du noyau déjà existant. Cependant, si elles se densifient, il faut pouvoir modifier ces structures urbaines. Grâce à une base de données vectorielle, on peut tenter de construire un modèle d'évolution des structures.

La simulation se base sur la modélisation des objets et structures dans lesquels il est possible d'avoir des comportements et d'agir de manière autonome ou non. On peut donc représenter en temps réel l'espace et les entités grâce aux règles de comportement. Pour faire cela, le modèle utilise deux classes : l'espace et les habitants (voir définition des classes).



Modèle conceptuel UML extrait de la revue [vertigo](#)

L'agent peut être physique ou virtuel. Il possède des objectifs individuels ou encore une satisfaction qu'il cherche à optimiser.

→ article geosciences : « L'approche présentée dans ce papier utilise un système multi-agent pour modéliser les propriétés auto-organisatrices des systèmes complexes urbains et vise à fournir un outil permettant d'étudier les évolutions des systèmes modélisés. Le système multi-agent proposé comporte une hiérarchie d'agents topographiques (e.g. les bâtiments, routes, cours d'eau, îlots) 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. »

3) La visualisation

Dans le commerce

→ Pixxim, visites de locaux, visualisations de chantiers... etc.

...

Dans la recherche

→ simulations démographiques, épidémiologiques, catastrophes naturelles... etc.

...

IV) Vers d'autres sciences

Le modèle multi-agents est donc très utilisé dans la recherche comme le divertissement. Mais à présent, grâce à ses capacités étonnantes, ce système commence à être utilisé dans presque tous les domaines.

Dans les sciences sociales et plus particulièrement l'anthropologie, les systèmes multi-agents permettent de modéliser des populations entières grâce à des données historiques afin de pouvoir déduire et expliquer les causes de nombreux problèmes dans la société. Ainsi, cela permet de mieux appréhender la société d'aujourd'hui. Ces résultats peuvent également concerner les domaines de l'archéologie ou de l'histoire par exemple.

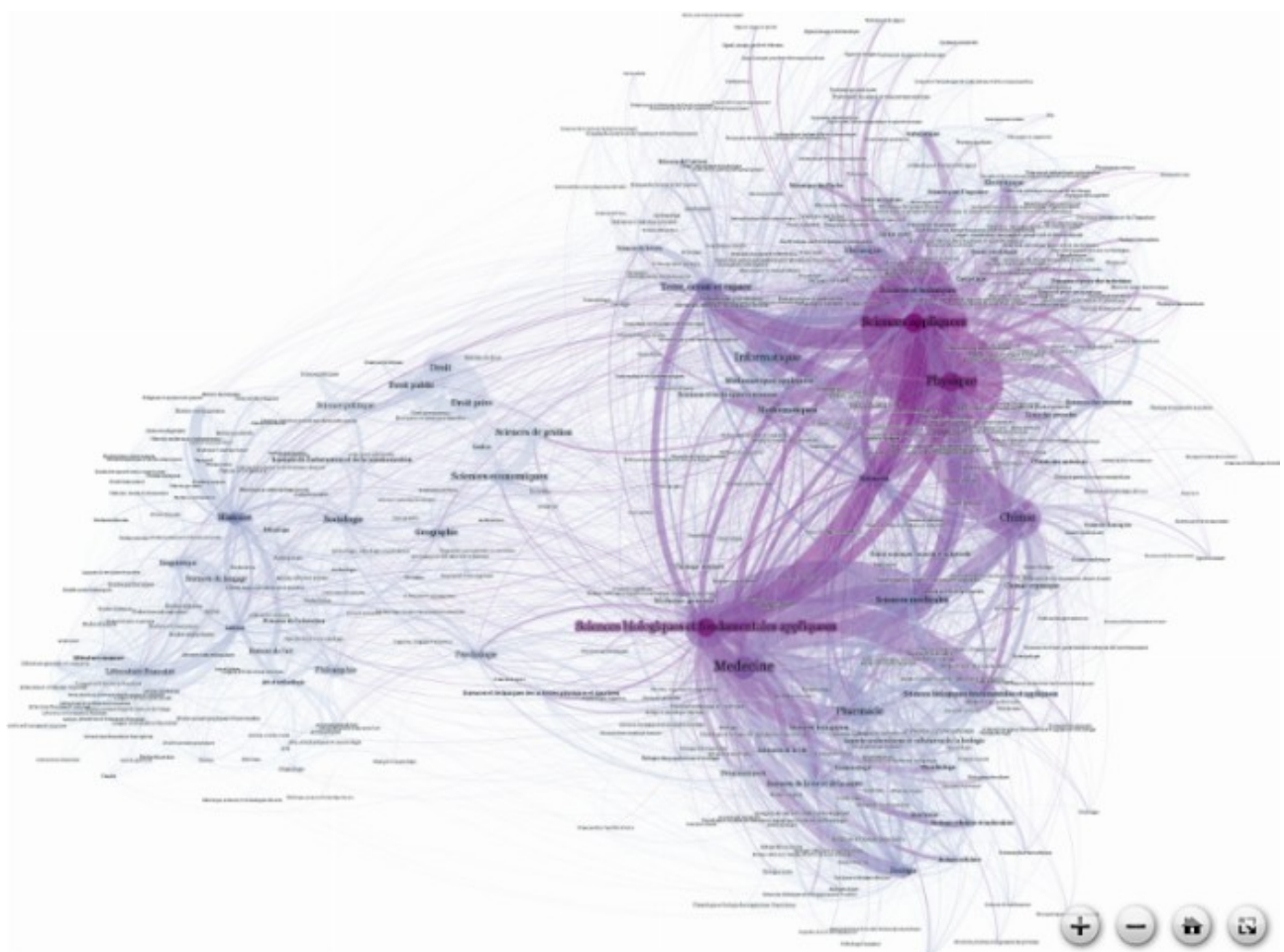
Actuellement, trois grands domaines se sont emparé de cette technologie :

Tout d'abord, elle permet d'analyser et de trouver des solutions pour le trafic urbain (par exemple comment désengorger une route susceptible de créer des embouteillages).

Ensuite, dans l'épidémiologie à l'échelle nationale voir mondiale, elle permet de modéliser la propagation des maladies (les jeux Plague et Pandemic peuvent donner une bonne idée de l'intérêt de ces recherches).

Enfin, elle est très utilisée dans le domaine militaire, notamment pour établir des stratégies militaires et les tester grâce aux simulations multi-agents.

Mais nombreux sont les autres domaines, en sciences ou non, qui peuvent utiliser ce système.



« Le réseau disciplinaire des thèses en France »

Cette image peut donner une idée du nombre de domaines de recherche... seulement en France !

V) Conclusion et Bibliographie

Conclusion

...

Bibliographie

Définition d'une ville (dictionnaire)

Définition d'une ville (internet)

SimCity, outil de modélisation urbaine ?

SimCity : ABM révolutionne les sciences sociales

SimCity : GlassBox Part 1 (vidéo)

SimCity : GlassBox Part 2 (vidéo)

SimCity : GlassBox Part 3 (vidéo)

SimCity : GlassBox Part 4 (vidéo)

SimPop, un modèle multi-agents pour l'évolution des systèmes de peuplement

Modélisation urbaine : de la représentation au projet

EDF : un outil pour la modélisation urbaine

Vers une simulation de l'évolution des structures urbaines à partir d'une modélisation multi-agents

Un système multi-agent pour la simulation des dynamiques urbaines

Pixxim : Maquettes Virtuelles Interactives (vidéo)

L'ambition de modéliser la ville

La modélisation géospatiale pour des applications urbaines en 3D

GIS : Modélisation Urbaine

La modélisation « ABM » pour la mise à l'échelle d'interventions dans l'organisation de soins