

Simuler les interactions piétons-automobilistes dans un environnement urbain

Une approche à base d'agents

*Simulating Pedestrians-Drivers Interactions in an Urban Environment: an
Agent-Based Approach*

Arnaud Banos et Sylvain Lassarre



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/tem/1048>

DOI : 10.4000/tem.1048

ISSN : 1950-5698

Éditeur

Université des Sciences et Technologies de Lille

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2008

Pagination : 58-66

ISSN : 1954-4863

Référence électronique

Arnaud Banos et Sylvain Lassarre, « Simuler les interactions piétons-automobilistes dans un environnement urbain », *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement* [En ligne], 1 | 2008, mis en ligne le 01 mars 2013, consulté le 03 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/tem/1048> ; DOI : 10.4000/tem.1048



Territoire en mouvement est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Simuler les interactions piétons-automobilistes dans un environnement urbain : une approche à base d'agents

Arnaud BANOS

Géographie-Cités
UMR 8504 CNRS
Université Paris 1
13 rue du four
75006 Paris

et

Institut des Systèmes Complexes
de Paris Île-de-France
57-59 rue Lhomond
75005 Paris
arnaud.banos@parisgeo.cnrs.fr

Sylvain LASSARRE

INRETS-GRETIA
23 rue Alfred Nobel
77420 Champs sur Marne
lassarre@inrets.fr

Résumé

Afin d'explorer le rôle des interactions piétons-automobilistes dans l'avènement des accidents de la circulation en milieu urbain, un modèle à base d'agents - SAMU - a été développé. SAMU permet d'explorer des dynamiques complexes à partir de règles comportementales simples. Les principaux éléments de ce modèle sont exposés et discutés.

Mots-clés : accidentologie, environnement urbain, multi-agents, risque routier, simulation

INTRODUCTION

En dépit de son rôle fondamental dans le système des mobilités quotidiennes urbaines, la marche à pied reste le mode de déplacement le moins bien connu. De manière générale, si la France dispose depuis les années 1970 d'outils d'observation standardisés des mobilités à l'échelle urbaine (enquêtes ménages, enquêtes emploi du temps, enquêtes nationales transport, enquêtes cordons de trafic), force est de constater la faible adéquation de ces dispositifs à l'appréhension des déplacements piétons. Diffus, quasi isotropes, souvent de courte portée et dans une grande mesure stochastiques, ces derniers n'en constituent pas moins une part considérable de la mobilité quotidienne, la marche à pied s'intégrant forcément au cœur de toute chaîne de déplacement.

Abstract

An agent-based model - SAMU - has been designed, which allows exploring pedestrians-drivers interaction in a virtual urban environment. Complex dynamics are obtained from simple behaviours. The key elements of SAMU are presented and discussed.

Key words: agent-based simulation, road safety, urban environment

Longtemps délaissée, la marche à pied est aujourd'hui revalorisée, portée par l'aspiration générale à des modes de vie urbains moins agressifs, protégés des externalités négatives engendrées par l'invasion automobile. Mieux comprendre les déplacements des piétons dans un environnement urbain mouvant, caractérisé à la fois par un ensemble de contraintes et d'opportunités, mais également de nuisances et de dangers, est devenu l'un des principaux enjeux actuels de la planification urbaine. Pourtant, si un nombre croissant de travaux s'attachent depuis peu à explorer ce domaine, rares encore sont ceux qui abordent le problème de la dynamique des déplacements piétons en interaction avec le trafic routier, qui est pourtant l'une des dimensions clés de l'environnement urbain vécu.

Nous chercherons à montrer comment un modèle multi-agents, SAMU, permet d'explorer ces questions sous un angle novateur. Ce faisant, notre ambition est de contribuer à poser les fondations de véritables laboratoires urbains virtuels nous autorisant à terme à explorer, sur une base quasi expérimentale, la « fourmilière urbaine ».

1. UN ÉLÉMENT ESSENTIEL DES SYSTÈMES URBAINS, LES MOBILITÉS QUOTIDIENNES

La ville change, s'étale, se dilue, prend ses aises. Au sein des nouveaux « archipels urbains » (Beaucire, 1997), discontinus et multipolarisés, les distances s'allongent, les densités baissent. Le mouvement devient la norme dans cet « espace transactionnel » sillonné par des « nomades urbains » pressés (Beauchard, 1999) aux trajectoires toujours plus complexes. L'avènement de l'automobile a considérablement amplifié cette tendance, ouvrant de nouveaux territoires de conquête à ces aventuriers du quotidien, autorisant des pratiques individuelles plus riches. Toujours plus nombreux, les mobiles urbains irriguent quasiment en permanence cette trame urbaine faite pour et par l'automobile, consommant des espaces plus étendus qu'auparavant. Les trajectoires individuelles se lient et se délient, au gré des pérégrinations effectuées par chacun, ajoutant à la complexité des motifs spatiaux tissés en permanence comme par une main invisible, particulièrement habile et facétieuse.

Dans un tel contexte, mieux connaître la mobilité quotidienne à l'échelle d'une ville est un enjeu de taille. Nulle politique d'aménagement urbain ne saurait en effet aujourd'hui faire l'impasse sur ce sujet brûlant qui, au-delà de sa dimension « transport », renvoie à une fonction essentielle et fondamentale de la ville : permettre et favoriser les interactions sociales entre ses habitants. Toutefois, au-delà d'un « droit à une mobilité choisie », c'est davantage un « droit à la ville » qu'il nous faut contribuer à ouvrir. Mieux connaître ces mouvements permanents qui animent la ville est en effet essentiel, dans une perspective « d'urbanisation durable », en raison des perspectives qu'ouvre cette connaissance sur des problèmes de société qui se posent aujourd'hui avec une acuité particulière, tels que :

- la maîtrise de l'étalement urbain, la réduction de la congestion et, au delà, la réduction des risques et nuisances associés à la mobilité quotidienne, tout déplacement étant à la fois (dans des proportions variables) générateur de risques (accidents, pollution, bruit, épidémies), et vecteur d'exposition à ces mêmes risques ;
- la revalorisation des modes « doux » (marche à pied, vélo, roller...), qui doit s'accompagner d'une réduction de la vulnérabilité de leurs usagers.

Mieux comprendre les stratégies de déplacement des « nomades urbains » dans un environnement urbain mouvant, caractérisé à la fois par un ensemble de contraintes et d'opportunités, mais également de nuisances et de dangers, est aujourd'hui l'une des clés de la planification urbaine. Dans cette perspective, la simulation informatique ouvre des pistes prometteuses.

2. DES LABORATOIRES URBAINS VIRTUELS ?

Les méthodes de simulation informatiques actuelles permettent de créer de véritables laboratoires urbains virtuels nous autorisant à explorer, sur une base quasi expérimentale, la « fourmilière urbaine ». Postuler que l'on peut étudier la ville à la manière d'un éthologue étudiant une fourmilière ne signifie nullement que la première se réduise à la seconde. Bien au contraire, les limites de l'analogie naturaliste permettent de mieux appréhender la spécificité des phénomènes sociaux. Au-delà, une telle mise en parallèle ouvre la voie à des horizons méthodologiques renouvelés, faisant de la modélisation et de la simulation des méthodes d'investigation scientifique à part entière, à même de nous aider à mieux explorer les phénomènes étudiés dans leur complexité.

En créant des mondes artificiels, informatiques, peuplés d'agents artificiels autonomes agissant au sein de réseaux d'interaction à géométrie variable, le géographe a les moyens aujourd'hui de se doter de plateformes d'expérimentation d'un genre nouveau, lui permettant de reproduire des situations difficiles à observer, afin de mieux les étudier. La constitution de véritables laboratoires virtuels permet même d'introduire une composante expérimentale novatrice dans

l'étude des phénomènes sociaux, puisque ce ne sont plus seulement les résultats de la simulation qui deviennent objets d'attention, mais également les processus souvent complexes par lesquels ces résultats ont été obtenus (Drogoul, 2000). D'après ce même auteur, « *observer un monde artificiel offre de grands avantages du point de vue de la simulation : tous les paramètres, depuis les lois physiques de l'environnement jusqu'à la définition des acteurs qui le peuplent, peuvent être modifiés, simplifiés ou complexifiés. Tout en lui permettant de conserver sa méthode de travail, l'environnement expérimental va donc permettre au chercheur d'adopter une démarche spéculative, fondée sur la constitution d'hypothèses difficilement vérifiables en nature* ». L'objectif devient alors de reconstruire, par simulation, les processus susceptibles d'engendrer les structures socio-spatiales observées, et de raisonner ainsi sur la base de scénarios comparatifs, dans une démarche prospective orientée y compris vers l'aide à la décision.

Une telle approche se justifie de la manière suivante : notre capacité à anticiper le comportement d'un système complexe est fondamentalement liée à notre capacité à le penser, le formaliser, et au bout du compte le simuler (Zwirn, 2006). Selon l'acceptation la plus courante aujourd'hui, un système complexe est constitué d'un grand nombre d'éléments en interaction non linéaires, situés dans un environnement. Ces éléments (ou entités) actifs, dénommés *agents* dans la terminologie informatique usuelle, agissent dans et sur cet environnement, qui les influence en retour. Un tel système ne bénéficie pas, de plus, d'un mode de contrôle global, centralisé. Le pouvoir d'action des agents est réduit à une dimension très locale, et certaines structures globales observées sont le fait de processus d'auto-organisation. Dans une telle perspective, les multiples interactions, qui plus est localisées, entre agents peuvent conduire à l'apparition de propriétés à un autre niveau d'observation ou d'agrégation, intermédiaire ou global, non déductibles à partir des simples propriétés des agents. Ces propriétés sont dites *émergentes* et leur identification constitue l'un des principaux enjeux des théories de la complexité. Enfin, certains systèmes complexes sont également qualifiés d'*adaptatifs*, afin de souligner leur capacité à évoluer,

essentiellement par mutation ou par apprentissage, soit au niveau des comportements des agents, soit au niveau des agents eux-mêmes. Penser la ville et de manière plus générale les systèmes urbains à travers ce prisme théorique implique une évolution significative de nos façons de penser et de formaliser ces objets géographiques classiques (Batty 2005 ; Portugali, 2002 ; Pumain *et al.*, 1989), au sein d'une démarche qui peut être qualifiée à la fois de :

- ascendante (bottom-up), puisqu'elle vise, à partir de la spécification de comportements individuels, à explorer l'émergence de propriétés (structures) collectives ou globales ;
- générative (Epstein, 1999), dans la mesure où elle vise à identifier les micro-spécifications suffisantes pour générer des macro-phénomènes ou macro-structures ;
- interactionniste, enfin, puisqu'elle considère le territoire comme un système adaptatif complexe en partie auto-organisé, constitué d'un grand nombre d'agents en situation d'interaction locale, dans un environnement en évolution permanente.

3. SIMULER LES DÉPLACEMENTS DE PIÉTONS

Les premiers modèles de déplacements de piétons s'inscrivent dans la lignée des modèles de trafic classiques (Hankin *et al.*, 1958) : centrés sur l'appréhension des *choix tactiques* des piétons, ces modèles s'apparentent aux modèles de génération/distribution/affectation mis en œuvre dans le cas des déplacements motorisés. Cette analogie trouve toutefois rapidement ses limites. De manière générale, de tels modèles ne peuvent identifier que des itinéraires grossiers, difficiles à transposer au cas piétonnier dans lequel le choix du trottoir est en lui-même une information fondamentale. Par ailleurs, les flux de piétons sont beaucoup moins homogènes que les flux motorisés en terme de motifs et de répartition spatio-temporelle. De plus, la définition d'un réseau pédestre est beaucoup plus demandeuse d'informations que celle d'un réseau routier, l'extrême liberté de mouvement des piétons en étant un corollaire évident (par exemple, les traversées des piétons ne se limitent pas aux zones prévues à cet effet).

D'autres types de modèle ont été développés, qui visent à appréhender les comportements des piétons à un *niveau individuel*. Toutefois, ces modèles analytiques se concentrent généralement sur une tâche spécifique du déplacement piéton, telle que la traversée (Goldsmith, 1977 ; Griffiths *et al.*, 1984 ; Hunt et Williams, 1982 ; Hunt et Griffiths, 1992).

Des travaux plus récents ont enfin abordé le déplacement piéton dans le cadre de la théorie des systèmes complexes, en se focalisant sur l'émergence de *comportements collectifs à partir de comportements individuels* simples. Blue et Adler (1998) ont ainsi pu reproduire des caractéristiques collectives (courbes débit-vitesse, formation de files) à partir d'un automate cellulaire. Les travaux de Helbing (Helbing et Monnar, 1997 ; Helbing *et al.*, 2001) s'inscrivent quant à eux dans une optique de microsimulation des foules de piétons, grâce à un modèle de force comportementale lié au modèle de dynamique moléculaire des flux granulaires. Ces travaux ont pu montrer que dans certaines conditions, il était possible de reproduire l'émergence de comportements collectifs non centralisés (formation de files au-dessus d'une densité de piétons critique, changements oscillatoires de la direction de marche aux passages étroits, apparition temporaire de circulation giratoire aux intersections). Ces travaux s'appuient toutefois sur une représentation particulièrement simplifiée de l'environnement urbain (un couloir, une place) et des stratégies et motivations des piétons, ce qui a conduit un certain nombre d'auteurs à envisager la piste des *systèmes multi-agents*.

Dans cette dernière famille de travaux (Batty, 2003 ; Haklay *et al.*, 2001 ; Kerridge *et al.*, 2001), les auteurs partent du principe que chaque individu est animé par des motivations personnelles qui influencent la façon dont il se comporte et se déplace au sein de l'environnement urbain, ce dernier offrant par ailleurs un degré de liberté considérable aux mouvements des piétons.

4. LE MODÈLE SAMU¹

L'hypothèse centrale sur laquelle repose SAMU peut être formulée de la manière suivante : en dépit de la complexité avérée des mécanismes cognitifs en jeu, la dynamique d'ensemble des déplacements piétons dans un environnement mouvant doit pouvoir être approchée à partir de règles individuelles relativement simples, mais intégrées dans un réseau d'interactions localisées en évolution permanente.

L'objectif est alors de créer un environnement urbain virtuel, qui puisse être peuplé d'entités autonomes (piétons et automobilistes) animées par des motifs propres et agissant dans le cadre d'une architecture distribuée de type multi-agents. Cet environnement urbain est, dans un premier temps, simplifié à l'extrême : un quadrillage de rues et de trottoirs, de type Manhattan. Quant aux entités, dénommée « agents » selon la terminologie en vigueur dans le domaine, elles sont guidées par des règles de fonctionnement le plus souvent simples, de type stimulus-réaction, la perception de l'environnement urbain et des autres agents se faisant au moyen d'un champ de vision propre à chaque catégorie d'agents (piétons et automobilistes).

4.1. Les véhicules

Les voitures sillonnent les rues au hasard, en respectant les principales règles du code de la route (sens de circulation, feux de signalisation, priorités à droite). Nous avons ainsi étendu le modèle d'automate cellulaire NaSch (Nagel *et al.*, 1992). A chaque itération $t \rightarrow t+1$, chaque véhicule adopte une vitesse $V = 0, 1, 2 \dots V_{max}$ et l'arrangement des véhicules est mis en jour en parallèle en suivant les règles suivantes :

Etape 1: Accélération

Si $V_n < V_{max}$, la vitesse du $n^{ième}$ véhicule augmente d'une unité, $V_n \rightarrow V_{n+1}$.

Etape 2 : Décélération (liée à la présence d'autres véhicules ou de piétons)

Posons D_n la distance entre le $n^{ième}$ véhicule et le véhicule devant lui, et D_{pn} la distance entre le $n^{ième}$ véhicule et un éventuel piéton traversant la route. Dans cette situation :

¹ Pour Simulation Agents et Modélisation Urbaine. Ce modèle a été imaginé et développé par (Banos *et al.*, 05a) (Banos *et al.*, 05b) puis étendu par [Godara *et al.*, 07] et [Lassarre *et al.*, 07], au sein de la plateforme de simulation Netlogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>).

Si $\min(D_n, D_{pn}) \leq V_n$

Et si $D_n < D_{pn}$,

alors $V_n \rightarrow (D_n - 1)$

sinon $V_n \rightarrow \left\lfloor \sqrt{V_n^2 - 2g \times D_{pn} \times \varepsilon} \right\rfloor$

où $\lfloor \]$ est pour la partie entière. La constante g correspond ici à la constante gravitationnelle ($g = 9,80665 \text{ m/s}^2$) et le paramètre ε englobe les fluctuations aléatoires liées par exemple aux différentiels de temps de réaction des conducteurs et d'efficacité des freins. La distance de freinage introduite permet d'ancrer le modèle dans une réalité physique : si la distance à l'obstacle (piéton ou véhicule) est trop faible, alors une collision interviendra.

Ainsi, $V_n^2 = V_o^2 + 2ad$,

avec V_n la vitesse à atteindre, V_o la vitesse initiale, a le taux d'accélération et d la distance parcourue pendant l'accélération.

Etape 3 : Randomisation

Afin d'introduire une composante stochastique dans ce modèle jusqu'ici déterministe, une étape de randomisation est introduite : si $V_n > 0$, la vitesse du $n^{\text{ième}}$ véhicule est réduite d'une

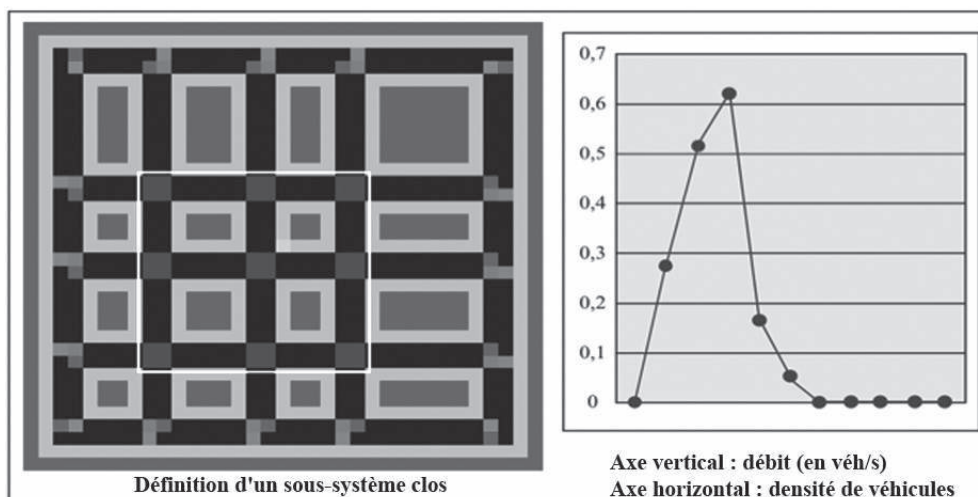
unité (i.e., $V_n \rightarrow V_n - 1$), selon une probabilité p ($0 \leq p \leq 1$). Cette probabilité p est fixée globalement, elle est donc identique pour tous les véhicules et reste constante au cours de la simulation.

Etape 4 : Déplacement

Chaque véhicule avance à la vitesse $X_n \rightarrow X_n + V_n$, X_n étant la position du $n^{\text{ième}}$ véhicule à l'instant t .

En dépit de sa simplicité, ce modèle permet de reproduire certaines caractéristiques fondamentales du trafic automobile, notamment l'émergence d'embouteillages pour certaines densités de véhicules. On notera que ce phénomène peut apparaître spontanément, par auto-organisation, sans cause extérieure au phénomène lui-même (feu de signalisation, panneau stop, accident...). Il est ainsi possible, par simulation, d'explorer ce phénomène de manière très détaillée et d'identifier ce que l'on appelle la densité critique (figure 1). Une fois défini un périmètre de mesure, on fait varier le nombre de véhicules présents dans cette zone (densité) et on mesure le débit correspondant à chaque situation (c'est à dire la différence entre les taux de véhicules entrant dans et sortant de la zone).

Figure 1 : Simuler l'émergence d'embouteillages, une approche par le diagramme fondamental



Pour des valeurs de densité inférieures à la densité critique, le débit croît proportionnellement à la densité. C'est la situation de trafic libre, dans laquelle les interactions microscopiques entre véhicules sont trop peu nombreuses pour avoir un impact macroscopique. A partir du point critique, les interactions s'amplifient et l'état fluide de la circulation devient instable : le débit se met à décroître au fur et à mesure que

le nombre de véhicules injectés dans le système croît, jusqu'à atteindre une situation d'embouteillage total (débit nul).

4.2. Les piétons

Les piétons sont localisés au hasard à l'initialisation et convergent tous vers la même destination, selon un principe de descente de gradient. Cette méthode d'optimisation classique

consiste à progresser par étapes proportionnelles à l'opposé du gradient de la fonction au point courant, ici la distance euclidienne au point d'arrivée. En l'absence d'obstacle, chaque piéton cherchera donc à se déplacer dans la direction de la plus forte pente. Toutefois, la présence d'obstacles (bâtiments), de passages piétons (attracteurs locaux) et de routes amènera chaque agent à modifier localement cette règle de déplacement, afin de s'adapter au contexte local. Le comportement de traversée, tâche cognitive hautement complexe s'il en est, a été modélisé au moyen d'un jeu de coordination, dans lequel l'incitation à agir des uns est une fonction croissante de l'action des autres (Taillard, 06). Deux types de comportements de traversée ont ainsi été différenciés :

- Comportement « raisonnable » : le piéton s'arrête et inspecte son environnement avant de traverser
- Comportement « déraisonnable » : le piéton traverse sans s'arrêter, en aveugle

A chaque fois qu'un piéton se trouve en situation de traversée, il adopte alors l'un des deux comportements précédents en fonction d'un tirage dans une variable aléatoire de Bernoulli (< 1). Si la valeur tirée est inférieure à ε

(indicateur de niveau de bruit dans le système, à rapprocher de celui introduit dans le modèle de trafic décrit précédemment), alors $Y = 0$ sinon $Y = 1$.

Connaissant P_t , la proportion de piétons raisonnables sur la période t :

si $Y = 1$,

alors,

[

si $p_t > 0,33$ (référence), le piéton traversera en adoptant un comportement raisonnable

si $p_t = 0,33$ le piéton adoptera le même comportement que lors de la traversée précédente

si $p_t < 0,33$, le piéton traversera en adoptant un comportement déraisonnable

]

sinon, tirage au sort du comportement de traversée.

Cet algorithme simple permet d'obtenir de manière endogène, pour des seuils de bruit donnés, des variations intéressantes de comportement, sous forme de périodes d'équilibre ponctuées de brèves périodes de changement (figure 2).

On notera également l'influence de ce paramètre ε sur le taux d'accidents (figure 3).

Figure 2 : Proportion de piétons traversant raisonnablement au cours de la simulation, pour deux niveaux de bruit différents ($E_n = 0,1$ et $E_n = 0,5$)

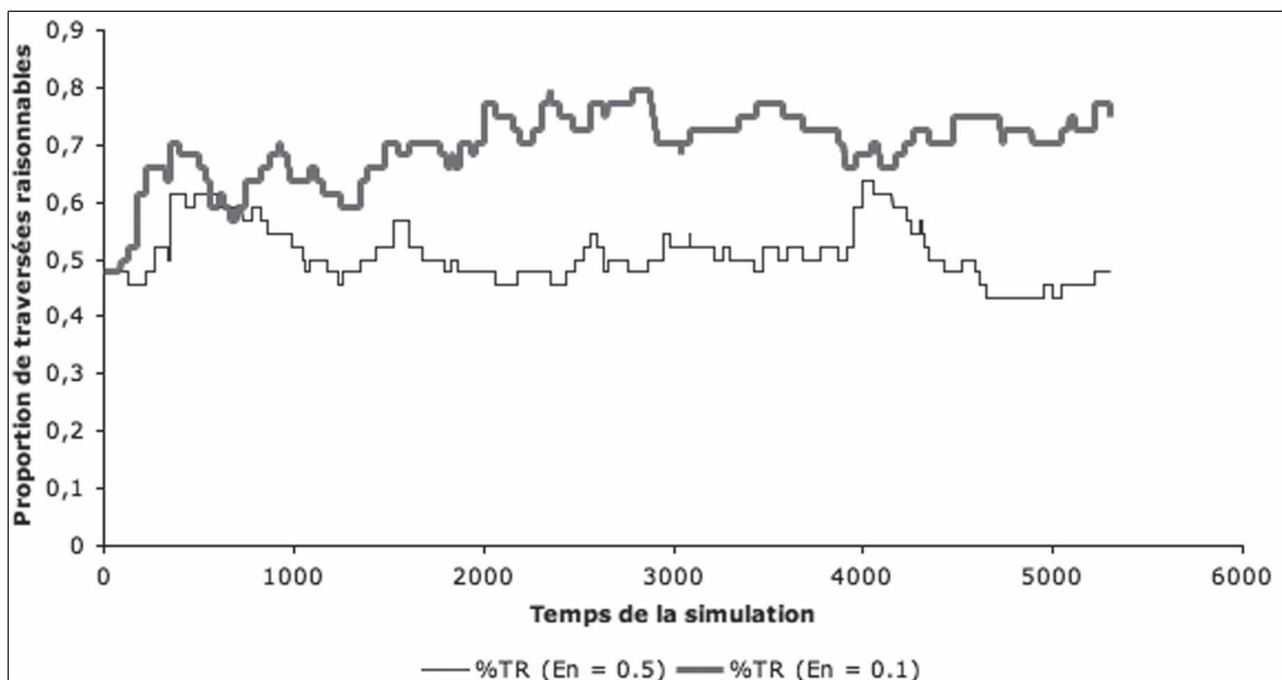
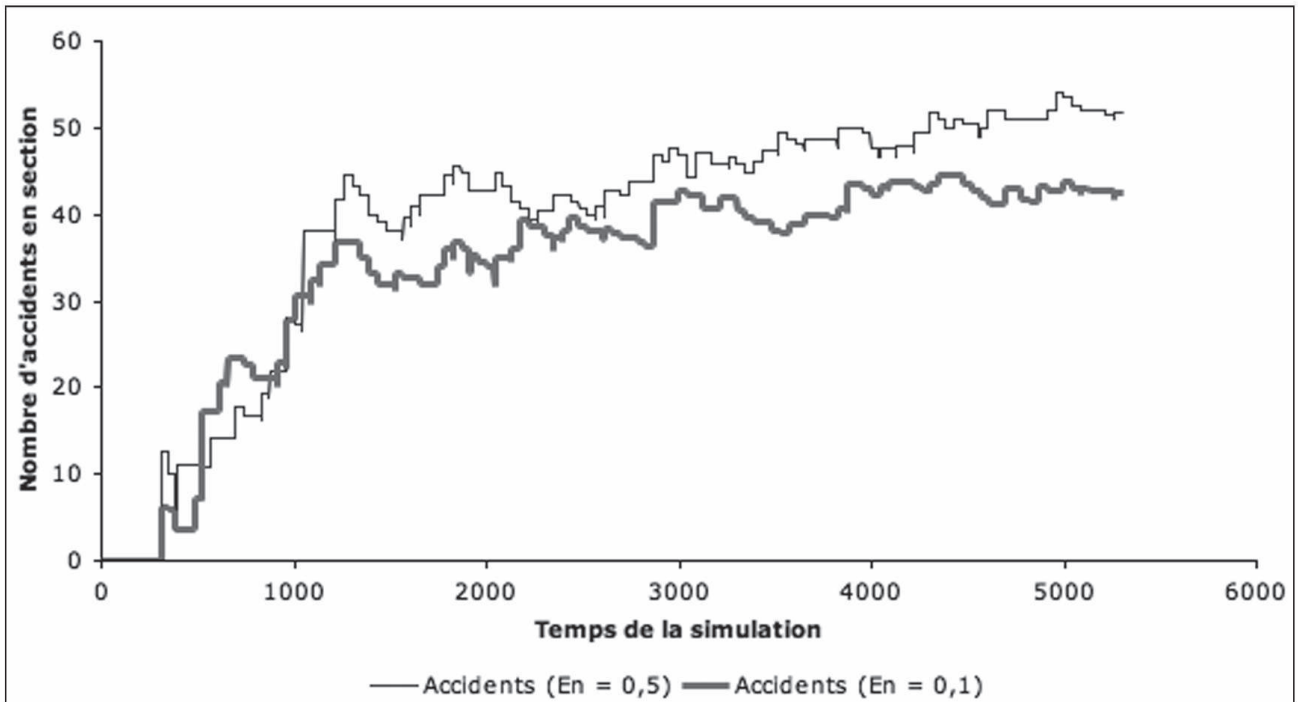


Figure 3 : Evolution du nombre d'accidents en section au cours de la simulation, pour deux niveaux de bruit différents ($En = 0.1$ et $En = 0.5$)

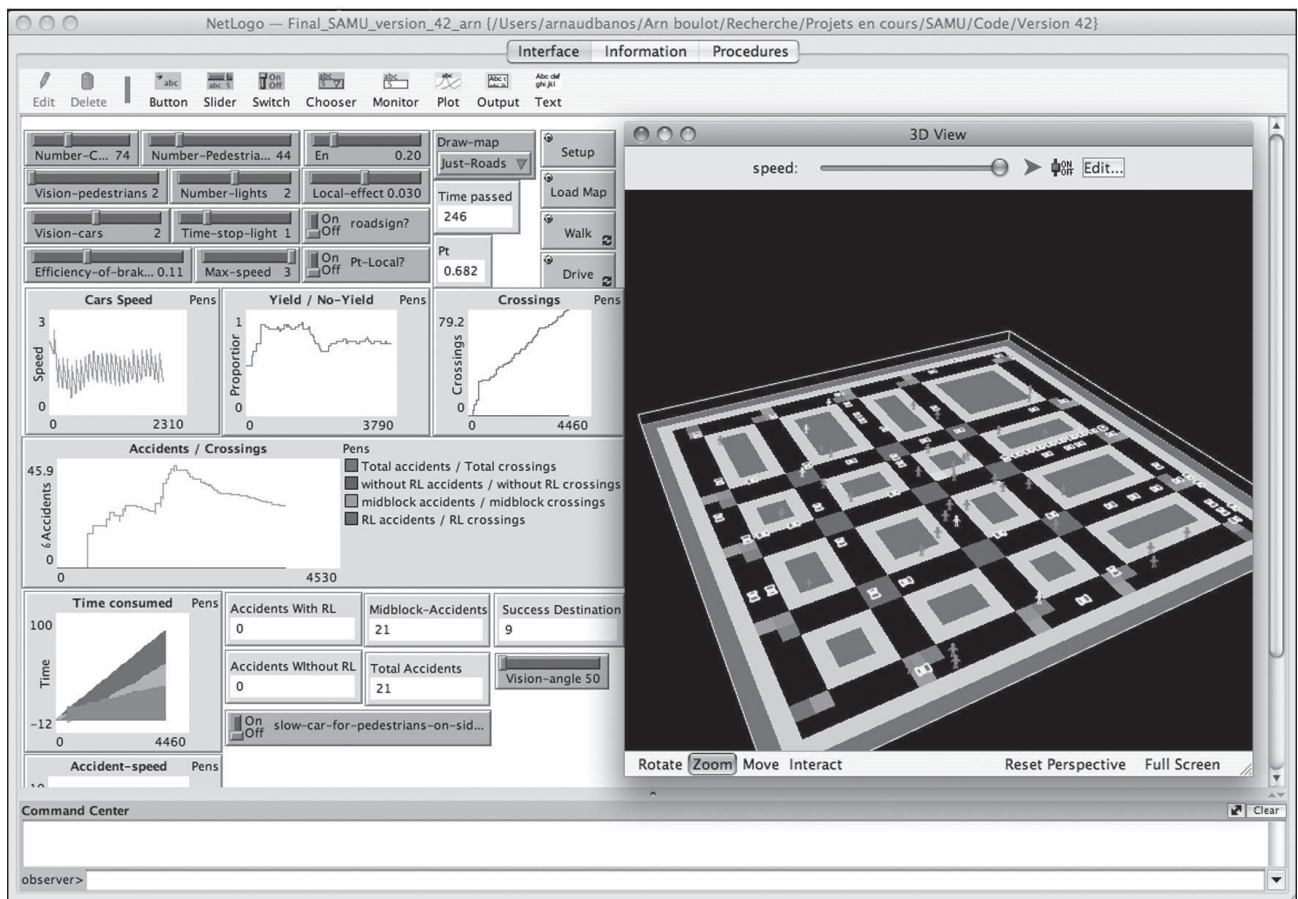


5. LE PROTOTYPE DÉVELOPPÉ

Un prototype a été développé sur la plateforme NetLogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>), afin d'explorer en détail le comportement de

ce modèle. La figure 4 donne un aperçu du modèle complet et de sa relative complexité, sur la base pourtant simple du modèle décrit précédemment.

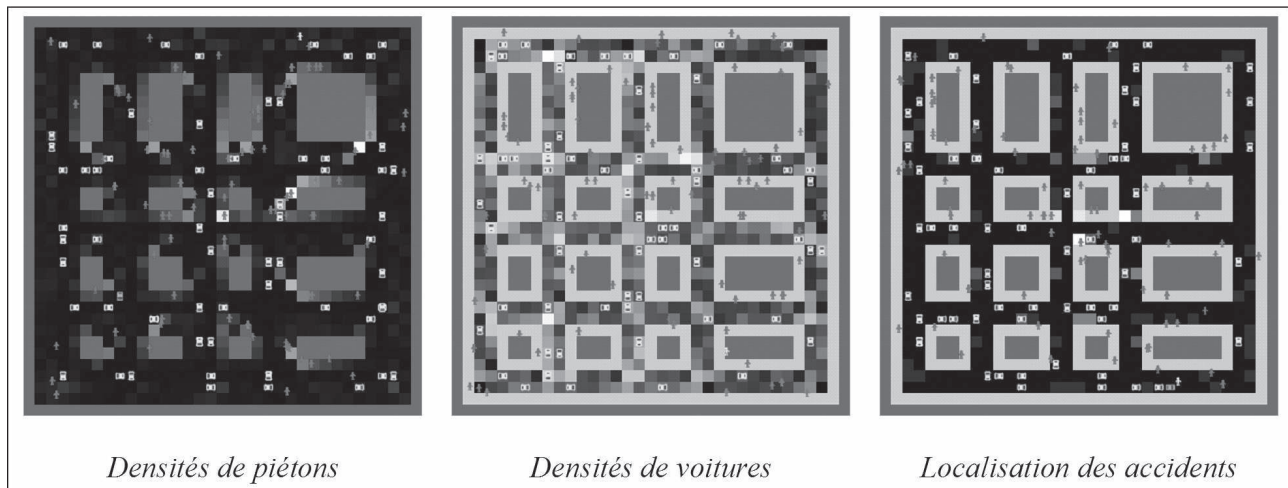
Figure 4 : SAMU, un « laboratoire urbain » virtuel



Le principal intérêt de ce type de modèle est qu'il permet de créer, par simulation, infiniment plus de données que nous ne pourrions en rêver dans la réalité. Il est ainsi possible de générer très précisément, pour un jeu de paramètres donné, les trois composantes essentielles d'un modèle de risque d'accidents, visant à mettre

en relation la fréquence des accidents avec la population exposée (piétons) et le champ de danger (véhicules). La figure 5 illustre de quelle manière ces trois variables peuvent être obtenues par comptage au niveau d'unités spatiales élémentaires (cellules), enregistrant en permanence les événements dont elles sont le support.

Figure 5 : Exemples de sorties cartographiques du simulateur



Sur cette base, Lassarre *et al.*, (07) ont pu montrer qu'un modèle poissonien de type

$$N = e^{\alpha \ln(P) + \beta \ln(F)}$$

pouvait être ajusté, avec :

- N le nombre d'accidents dans chaque cellule à la fin de la simulation ;
- P le nombre de piétons ayant traversé chaque cellule au cours de la simulation ;
- F le nombre de véhicules ayant traversé chaque cellule au cours de la simulation.

L'ajustement de ce modèle par la méthode des moindres carrés pondérés donne un résultat étonnamment bon ($R = 0,814$), proche des estimateurs empiriques classiques.

CONCLUSION

Dans un système complexe, l'essence même de la complexité réside souvent dans des interactions relativement simples mais suffisamment nombreuses pour permettre l'émergence de structures globales. D'où l'idée de chercher à reconstruire (générer) la complexité d'un phénomène par l'identification d'un ensemble

réduit, nécessaire et suffisant de briques élémentaires, insérées dans un réseau d'interactions approprié. Toutefois, une telle entreprise peut difficilement aboutir sans une feuille de route cohérente et suffisamment détaillée. Or, force est de constater qu'un tel cadre n'existe pas vraiment à l'heure actuelle. Le modélisateur peut, au mieux, se laisser guider par un nombre réduit de principes, afin d'éviter de créer des modèles trop riches et compliqués, dont les résultats seraient aussi difficiles à analyser et comprendre que le phénomène initialement étudié (Schweitzer, 2003).

Aussi simple soit-il, SAMU permet d'ores et déjà d'explorer des dynamiques complexes. En ce sens, il joue pleinement le rôle heuristique pour lequel il a été conçu. Une perspective intéressante d'application, si l'on suppose que les trafics piéton et automobile s'autorégulent dans une certaine mesure, concernerait, par exemple, l'évaluation de politiques d'intégration et de séparation de ces trafics en termes d'efficacité et de risque.

Bibliographie

- BANOS A., GODARA A., LASSARRE S. (2005a) : SAMU : contribution to the study of urban "anthill", *Proceedings of the Second Indian International Conference on Artificial Intelligence*, Puna, India, 20-22 December, pp. 2876-2888.
- BANOS A., GODARA A., LASSARRE S. (2005b). Simulating pedestrians and cars behaviours in a virtual city: an agent-based approach, *Proceedings of the European Conference on Complex Systems*, Paris, 14-18 November, 4 p.
- BATTY M. (2003). Agent-based pedestrian modelling, *CASA paper n° 61*, 26 p.
- BEAUCHARD J. (1999). *La bataille du territoire*, L'Harmattan, Paris, 144 p.
- BEAUCIRE F. (1997). Il faut relancer la planification urbaine, *Transport Public*, n° 959, pp. 40-44.
- BLUE V., ADLER J. (1998). Emergent fundamental pedestrian flows from cellular automata microsimulation, *Transportation Research Record*, vol. 1644, pp. 29-36.
- CUNNINGHAM P., CULLEN D. (1993). Pedestrian flow data collection and analysis, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport*, Vol. 100., pp. 59-69.
- DJIKSTRA J., TIMMERMANS H. (1999). Towards a multi-agent model for visualizing simulated user behavior to support the assessment of design performance, In: Ataman O, Bermúdez (dir.) *ACADIA99 – Media and design process*, Acadia, pp. 226-237.
- DROGOUL A. (2000). *Systèmes multi-agents distribués*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Paris 6, 117 p.
- EPSTEIN J., (1999). Agent-based computational models and generative social science, *Complexity*, Vol. 4, n° 5.
- EPSTEIN J., AXTELL R. (1996). *Growing artificial societies : social science from the bottom up*, Brookings Institution Press, MIT Press, Washington DC.
- FEURTEY F. (2000). *Simulating the collision avoidance behavior of pedestrians*, 63 p. <http://www.logos.t.u-tokyo.ac.jp/~franck/files/thesis.pdf>
- FRUIN J. (1987). *Pedestrian planning and design*. New York. Elevator world's publication. 206 p.
- GODARA A., LASSARRE S., BANOS A. (2007). Simulating pedestrian-vehicle interaction in an urban network using cellular automata and multi-agent models. In A. Schadschneider et al. (dir.), *Traffic and granular flow'05*, Springer, Berlin, pp. 401-418.
- HACKLAY M., THURSTAIN-GOODWIN M., O'SULLIVAN D., Schelhorn T. (2001). So go downtown : simulating pedestrian movement in town centers, *Environment and Planning B*, n° 28, pp. 343-359.
- HANKIN, B-D., WRIGHT R-A. (1958). Passenger flow in subways, *Operational Research Quarterly*, Vol. 9, n°2, pp. 81-88.
- HELBING D., MOLNAR P., FARKAS I., BOLAY K. (2001). Self-organizing pedestrian movement, *Environment and Planning B*, n° 28, pp. 361-383.
- HELBING, D., BUZNA, L., WERNER, T. (2003). Self-organised pedestrian crowd dynamics and design solutions, *Transportation Science*, 39 p.
- JIANG, B., (1999). SimPed: simulating pedestrian flows in a virtual urban environment, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, Vol. 3, n°1, pp. 21-30.
- KERRIDGE J., HINE J., WIGAN M. (2001). Agent-based modelling of pedestrian movements : the questions that need to be asked and answered, *Environment and Planning B*, vol. 28, pp. 327-341.
- LASSARRE S., GODARA A. (2007). Pedestrian Accident Risk Assessment in Urban Systems Using Virtual Laboratory SAMU, 11th World Conference on Transport Research in Berkeley, pp. 23-28, 2007.
- NAGEL K., ESSER J., RICKERT M. (2000). Large-scale traffic simulations for transportation planning, *Annual Reviews of Computational Physics VII*, pp. 151-202.
- NAGEL K., SCHRECKENBERG M. (1992) Cellular automata models for freeway traffic. *Physics*. I, 2, pp. 2221-2229.
- PORTUGALI J. (2000). *Self-organization and the city*, Springer-Verlag, New York, 352 p.
- PUMAIN D., SANDERS L., SAINT-JULIEN T. (1989). *Villes et auto-organisation*, Paris, Economica.
- SCHWEITZER F. (2003). *Brownian Agents and active particles*, Springer-Verlag.
- TAILLARD P. (2006). Quel degré de rationalité favorise la coordination des agents ?, *Revue d'Economie Politique*, Vol. 116, n° 1, pp. 23-42.
- WEIFENG F, LIZHONG Y., WEICHENG F. (2003). Simulation of bi-direction pedestrian movement using a cellular automata model, *Physica A* 321, pp. 633 – 640.
- ZWIRN H. (2006). *Les systèmes complexes : mathématique et biologie*, Odile Jacob, Paris, 219 p.