

# **Décrire / Modéliser les dynamiques de cheminement**

## **Du rôle des ambiances à l'hypothèse d'un modèle physique**

**Nicolas Tixier<sup>1</sup> & Annie Luciani<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire Cresson – UMR CNRS 1563  
École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France  
nicolas.tixier@grenoble.archi.fr  
www.cresson.archi.fr*

<sup>2</sup> *ACROE / Laboratoire ICA – INP Grenoble, France  
annie.luciani@imag.fr  
www-acroe.imag.fr*

*RÉSUMÉ. La marche dans l'espace public est un vaste sujet de recherche qui relève de nombreuses disciplines. Il sera abordé dans cet article sous l'angle plus précis des conduites de cheminements. L'approche ici développée met en avant le rôle des ambiances architecturales et urbaines dans les dynamiques piétonnières selon une logique d'acteurs-réseau. Un premier temps présente l'adaptation d'une méthode d'observation in situ (l'observation récurrente), alors qu'un second temps décrit l'expérimentation d'un modèle numérique relationnel (le modèle physique). L'objet initial de l'étude est un dispositif architectural public : un sas de centre commercial composée de portes automatiques.*

*MOTS-CLÉS : Ambiances architecturales et urbaines, Conduites de cheminements, Sociologie des acteurs-réseau, Observation in situ, Modélisation numérique par modèle physique.*

## 1. Introduction

"Vivre, c'est passer d'un espace à un autre, en essayant le plus possible de ne pas se cogner". Georges Perec (Perec, 1974 : p. 14).

Observons un peu attentivement les déplacements de personnes dans l'espace public. Que voit-on si on s'attache à leurs trajectoires, aux relations qui se jouent avec autrui, aux espaces investis ou délaissés et plus encore à la dimension dynamique de ces variations et des ajustements permanents ? Il est de plus en plus important pour désigner l'espace public de prendre en compte les mobilités potentielles ; que ce soit pour la qualité et la diversité des trajets (parc, musée, espace public) ou pour la capacité d'un lieu à accueillir ou évacuer du public (centres commerciaux, stades, gares, etc.). Il devient alors nécessaire de connaître ces dynamiques singulières autant que collectives et de proposer des outils d'analyse et de conception qui les intègrent.

La marche dans l'espace public est un vaste sujet de recherche qui relève de nombreuses disciplines. Il sera abordé dans cet article sous l'angle plus précis des conduites de cheminements. L'approche ici développée met en avant le rôle des ambiances architecturales et urbaines (Augoyard, 1979) dans les dynamiques piétonnières, comme situations d'interactions sensibles dont on fait l'expérience selon une logique d'acteurs-réseau. Par acteurs-réseau nous acceptons la proposition que fait Bruno Latour (Latour, 2006), c'est-à-dire qu'un acteur peut être une personne physique, un groupe de personnes, un dispositif construit fixe ou mobile, mais aussi, des éléments de sémantique présents dans l'espace, ou encore des éléments sensibles de l'environnement, une lumière particulière, une zone ou une source de chaleur ou de fraîcheur, un sonorité apaisante ou stressante, etc.

Un premier temps présente l'adaptation d'une méthode d'observation *in situ*, alors qu'un deuxième temps décrit l'expérimentation d'un modèle numérique relationnel.

L'objet initial de l'étude est un dispositif architectural public particulièrement dynamique : un sas de centre commercial composé de portes automatiques. Depuis cette première étude (Tixier, 2000) les applications de ce modèle se sont développées et permettent d'aborder l'ensemble des configurations urbaines relevant de l'espace public pour

l'analyse de lieux existants comme pour la recherche en design d'espaces.

## **2. Les conduites de cheminement comme objet d'étude**

Le recensement raisonné que nous avons mené sur les études concernant les conduites de cheminement a permis de poser les bases de notre problématique, résumé ici et simplifié à quelques auteurs<sup>1</sup> :

- Il n'y a pas une seule manière de cheminer un espace comme il n'y a pas non plus de bonnes ou de mauvaises manières de cheminer ;
- Les conduites de cheminement sont des formes d'expression ;
- Il y a un lien de co-configuration entre des attitudes de cheminement, des types d'espaces et des modes de sociabilité ;
- Le cheminement met en jeu des interactions et des modes d'attention réciproque ;
- Cheminer c'est communiquer ;
- Le cheminement en public relève de comportements collectifs par la mise en jeu de compétences ordinaires partagées ;
- Ces comportements collectifs et les ajustements individuels sont en général visuellement identifiables comme des catégories signifiantes pour tous ;
- Ces comportements collectifs ont des caractéristiques d'organisation remarquables et récurrentes ;
- Les conduites de cheminement peuvent répondre à une économie de la locomotion, voire du principe de moindre action.

Une grande partie des points ci-dessus relève de comportements ou d'organisations dynamiques. Aussi, la question que nous posons est bien de savoir précisément comment intégrer ces dimensions dynamiques dans l'analyse des conduites de cheminements à des fins heuristiques et dans la conception de l'espace à des fins pratiques.

L'idée initiale est d'analyser un dispositif architectural de petite taille dans lequel s'actualisent en permanence des dynamiques de différentes natures. Il fallait que celles-ci soient directement « observables » et qu'elles offrent un caractère répétitif et récurrent suffisant. Il était intéressant que le dispositif présente des caractéristiques relativement changeantes au niveau des ambiances. De plus, il fallait que cet espace

---

1. Par ordre alphabétique : Jean-François Augoyard, Walter Benjamin, Dietrich Brezger, Erwing Goffman, Michèle Jolé, John R.E. Lee, Pierre Livet, Eric, Livingston, Louis Quéré, Jean-Paul Thibaud, Rachel Thomas, Rodney Watson, etc.

mette en jeu des interactions de deux types : individu / dispositif spatial et individu / individu. Pour une modélisation future, il fallait aussi un espace qui n'offrait pas une trop grande complexité spatiale. Le choix est fait d'étudier un sas avec des portes automatiques dans un espace commercial, c'est-à-dire un lieu semi-public ou tout y est en mouvement.

Ainsi, l'objectif principal de cette observation vidéographique est la mise en évidence de dynamiques à partir des vidéogrammes, par la caractérisation des phénomènes émergents et des interactions notables ou décelables.



*Figure 1. Sas composé par un double système de portes automatiques. Centre commercial Grand Place, Grenoble Sud*

Nous avons procédé à la constitution d'un corpus vidéographique grâce à la pose fixe d'une caméra discrète duquel nous avons extrait 8 séquences courtes, représentatives et variées dans ce qu'elles montrent. Ces séquences ont servi de support à une observation dite récurrente dont le principe est de soumettre des documents photos ou vidéographiques de situations choisies à l'interprétation de spécialistes de disciplines différentes (ici architecte, urbanistes, techniciens de la société des portes automatiques, psychologues...) et à des habitués du lieu (passant régulier, commerçant...), tout en les faisant réagir sur les commentaires ou interprétations de ceux qui les ont précédés. Ensuite, par recoupement et ressaisissement des commentaires et des matériaux d'observation nous essayons de comprendre les principaux phénomènes émergents. « En cela, cette approche de nature qualitative est intrinsèquement « indirecte, interprétative et cumulative » (Amphoux, 2001).

L'analyse du cumul des commentaires interprétatifs a permis de relever ou de mettre à jour les principaux phénomènes récurrents, que nous avons ensuite énoncé en termes de principes et de dynamiques émergentes.

Les catégories s'articulent selon des « niveaux de description ». Au début on a les principes sous-jacents aux phénomènes, puis après, ce qui

relève des interactions, suivent ensuite les dynamiques singulières et observables, pour conclure sur des dynamiques concernant l'ensemble de la scène et comportant une forte dimension narrative :

1. Principe émergent : l'élasticité
2. Principe émergent : le volume psychophysique
3. Dynamiques des priorités / Priorités des dynamiques
4. Dynamiques des processus coopératifs
5. Dynamiques d'anticipation
6. Dynamiques d'ajustement
7. Dynamiques du seuil

#### ***Dynamiques d'anticipation***

Elles concernant l'ouverture des portes, le croisement de personne... A la vision du film bien plus qu'en le vivant in situ, s'oppose simultanément l'idée du choc à venir et celle du déclenchement de l'ouverture permettant d'éviter le choc et de ne pas avoir à ralentir. Pour les ajustements corporels et de trajectoires, il y a bien cette idée de croyance au système coopératif qui fait que l'autre s'ajustera bien en fonction de moi, et que moi réciproquement j'agis en conséquence de ce qu'il fait, et ce constamment. Les dynamiques d'anticipation et d'ajustement sont assez semblables. L'anticipation inclut l'idée d'un temps « avant » l'événement plus long que celui de l'ajustement qui, lui, se fait "au dernier moment". Erving Goffman a proposé un concept sur lequel peut s'appuyer l'anticipation : le « scanning » balayage visuel, dont la surface change constamment selon la densité de la circulation environnante.

*Figure 2. Exemple résumé d'une dynamique émergente*

L'étude a montré qu'il n'y a pas, en général, de séparation évidente entre les causes et les actions résultantes. Les unes et les autres s'actualisent en permanence en s'incarnant dans des figures de mobilité et de sociabilité. Les formes spatiales induisent des types de conduites comme les types de conduites configurent elles aussi l'espace de façon temporelle, spatiale et significative. On assiste en permanence à un continuum perception-action-représentation que manifestent bien les dynamiques d'ajustements, d'anticipation et de processus coopératifs, ou encore l'absence de conflit.

Enfin, nous avons testé *in situ* avec les portes le principe qui consiste à insérer un élément perturbateur pour voir comment se réorganisent les passages. Ces éléments agissent comme révélateur de règles qui régissent certaines interactions. Ainsi, passer à gauche entraîne des conflits ; s'arrêter dans le sas perturbe les « flux » et modifie, de fait, la « fluidité ». Quand le dispositif est en panne, immédiatement des pratiques et des attitudes particulières envers les portes se mettent en place. On peut aussi,

grâce à une intervention humaine, créer des éléments perturbateurs artificiels. On peut sciemment à des fins d'expérimentation, par exemple, bloquer les portes, demander à quelqu'un de s'arrêter au milieu, etc. Ainsi, par induction expérimentale, observation puis déduction, on peut valider ou invalider des hypothèses sur la nature des relations (interaction, règles de comportement culturel, etc.). Par exemple, ce genre d'expérimentation peut être menée pour l'étude des priorités, des processus coopératifs... Mais on peut aussi mettre en place un protocole d'expérimentation pour éprouver l'importance d'un élément sur un autre. On verra que cette latitude expérimentale s'avère très utile et peut-être même indispensable pour éprouver les réglages et la pertinence d'un modèle (on parlera alors de robustesse du modèle).

Pour résumer, on peut observer que, de par son automatisme, ce type de dispositif offre un champ pour l'étude des dynamiques de cheminement *in situ* à la fois assez complexe et très délimité (en regard à l'étude d'autres espaces publics : rues, place, etc.). Ce sera deux caractéristiques avantageuses pour passer à l'étape de modélisation.

### **3. L'hypothèse du modèle physique**

De nombreux modèles numériques s'intéressent aux conduites de cheminement. Ils sont souvent rassemblés sous le terme de *modèle de foule*. Bien que presque tous puissent être regroupés sous le vocable de modèle multi-agents, ils relèvent d'hypothèses pragmatiques différentes de par la nature du modèle utilisé. Or, ces différences les rendent parfois porteurs d'hypothèses théoriques fortement opposées : écologie de la perception, cognition et comportement, intelligence distribuée...

Dans de nombreux modèles, on retrouve à un niveau ou à un autre une boucle « perception - décision - action » ; avec la conception de la modélisation physique de l'Acroe, cette boucle n'existe pas puisque le calcul de l'interaction s'effectue au niveau de la liaison et non pas au niveau des particules (des masses ponctuelles pour le modèle physique), *toute perception est action et par là même communication*. Dans ce système, la communication « élémentaire » n'est pas tournée vers l'extérieur, vers une présentation à nos sens, mais tournée vers les autres acteurs et les autres relations du modèle. Il est même possible d'être un de ces acteurs, mais, dans ce cas, nous faisons partie du réseau, comme un autre de ses éléments. Hors les capteurs d'ouverture et les délais avant fermeture des portes automatiques du sas qui participent du modèle à

venir, aucun traitement cognitif ou logique ne gouverne le modèle<sup>2</sup>. Le modèle simulé sera accessible à nos sens par une étape de représentation nécessitant un convertisseur numérique - analogique. Il s'agit alors d'un second niveau de communication.

Le modèle physique utilisé est un modèle générateur construit avec les opérateurs de la physique newtonienne. Le modèle physique de l'Acroe, Cordis-Anima, est basé sur ces principes<sup>3</sup>, c'est-à-dire la notion de force et le principe d'action-réaction, lui-même équivalent au principe de superposition des forces. C'est à partir de ce formalisme, définissant en quelques sortes les éléments et les règles du jeu, que les modèles créés généreront par simulation des dynamiques. Dans ce formalisme, un système dynamique est habituellement décrit par un ensemble d'équations différentielles. Cela nécessite numériquement que l'on discrétise l'espace mais aussi et surtout le temps. Cette discrétisation implique le choix d'une fréquence d'échantillonnage correspondant au pas de calcul pour l'incrémentatation.

La première propriété des modules de Cordis-Anima est leur capacité à communiquer et interagir. La notion de base est celle de « points de communication ». Il y a en a de deux sortes : les points M qui reçoivent des forces et qui renvoient des positions et les points L qui reçoivent des positions et qui renvoient des forces.

---

2. Cependant, tout espace numérique est un espace discret. On peut au plus bas niveau considérer qu'il y a quand même une étape du genre "perception - action" ou plus exactement « action – réaction » et donc in fine un processus du type stimulus - réponse. Mais on est alors au niveau du calcul fréquentiel de chacune des interactions, niveau que l'on peut considérer comme infra-cognitif (1050 Hz en général). De plus, le système est composé d'éléments « duaux », ce qui est produit par l'un est perçu par l'autre et réciproquement.

3. Dans la physique dite classique, on trouve deux grands systèmes théoriques qui ont chacun leur logique et leurs opérateurs : la mécanique newtonienne et la mécanique hamiltonienne. Les principes newtoniens définissent une algèbre des systèmes dynamiques (avec la notion de force comme opérateur et l'action-réaction comme principe) alors que les principes hamiltoniens définissent une géométrie des systèmes dynamiques (avec la notion d'action comme opérateur (énergie, quantité de mouvement, etc.) et le principe de moindre action). La mécanique hamiltonienne, par principe, oblige à considérer le mouvement globalement, comme un tout et à le comparer à une infinité de mouvements virtuels parmi lesquels il est privilégié. La mécanique newtonienne permet de séparer le mouvement du comportement propre de ses éléments. C'est une algèbre du mouvement, en cela elle est synthétique, alors que la mécanique hamiltonienne est une géométrie du mouvement, et en cela elle est analytique. La mécanique newtonienne permet un calcul incrémental (il y a des pas de calcul, et chaque pas peut dépendre des précédents) que ne permet pas la mécanique hamiltonienne. Elle permet de penser les causes sans connaître les effets.

Ces deux sortes de points de communication forment des paires indissociables. Toute communication physique entre deux modules se fait par l'intermédiaire des points de communication. On ne peut connecter qu'un seul point M à un point L - un point n'a qu'une seule position à un moment  $t$  donné -, mais par contre on peut connecter plusieurs points L à un point M. La force entrant en M est alors égale à la somme des forces venant des points L.

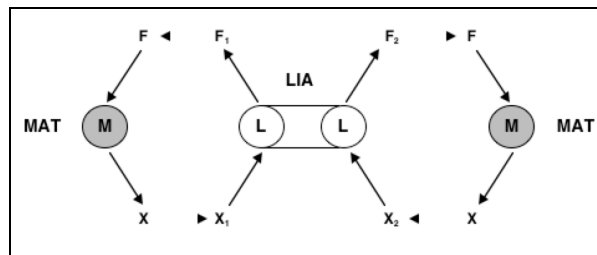


Figure 3. Deux modules MAT liés par un module LIA

À partir de la notion de points de communication et de leur catégorisation en deux types, on définit les deux types de modules nécessaires et suffisants qui satisfont le principe d'action-réaction :

- Les modules MAT, comportant un seul point de communication M. Ils reçoivent une force et produisent une position ;
- Les modules LIA, comportant deux points de communication de type L. Ils reçoivent deux positions et à partir de leur comparaison, produisent deux forces. Ces forces sont toujours égales et opposées et le principe d'action-réaction est toujours satisfait.

Un assemblage d'éléments MAT et LIA définit donc un réseau Cordis-Anima. Il en résulte, de manière récursive, que les modules MAT et LIA peuvent contenir bien autre chose qu'un calcul lié à la masse ponctuelle pour les premiers ou aux interactions élémentaires pour les seconds. Ils peuvent contenir tout un réseau Cordis-Anima, pourvu que la nature des entrées et des sorties soit respectée. Ainsi un Module Complexe MAT calculera la dynamique directe d'un système quelconque (ensemble de forces  $\rightarrow$  ensembles de positions) et un Complexe LIA calculera la dynamique inverse d'un système quelconque (ensemble de positions  $\rightarrow$  ensembles de forces). Inversement, tout objet définit par le formalisme de Cordis-Anima se résume à l'écriture d'un réseau de MAT et de LIA bien choisis. Définir le modèle, c'est donc écrire le réseau Cordis adéquat.



La liaison de base de Cordis-Anima est une liaison de type ressort-frottement. Ses attributs sont une longueur au repos  $L$ , une constante de raideur  $K$  et une constante de viscosité  $Z$ . Ces liaisons sont aussi nommées viscoélastiques. On peut aussi les transformer en liaisons conditionnelles viscoélastiques ce qui s'avère nécessaire pour les applications de type foule.

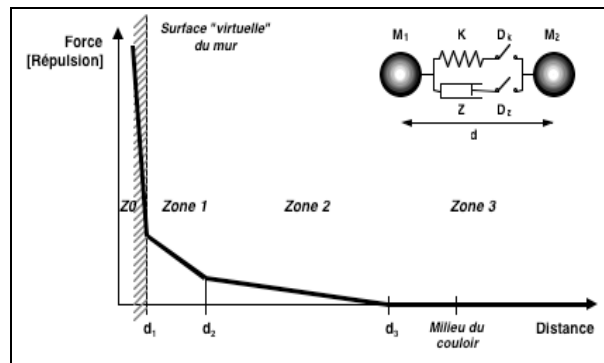


Figure 4. Exemple de liaison entre 2 éléments : interaction de type butée viscoélastique (une fonction d'interaction linéaire par morceaux pour les liaisons individu / mur)

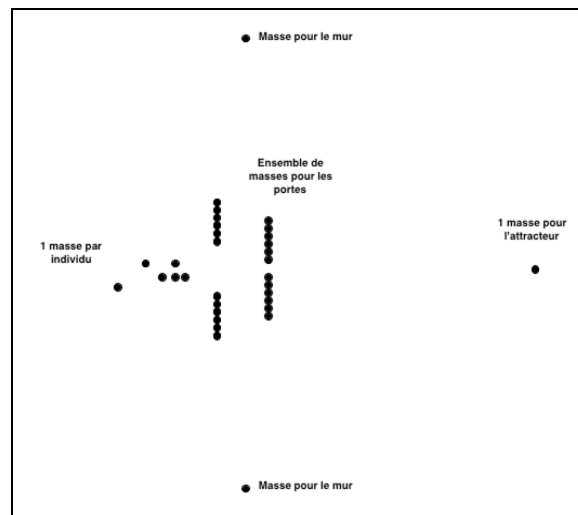


Figure 5. Définition de l'espace du modèle. Hypothèse sur les éléments minimums nécessaires du modèle

Tout modèle Cordis-Anima peut alors s'actualiser dans des espaces sonores, visuels ou tactilo-proprioceptifs. Le modèle simulé peut générer des dynamiques pour chacun des trois séparément ou dans les trois simultanément. On peut alors espérer que la correspondance s'avère « pertinente » dans un « effet de cohérence multisensorielle ». Cette cohérence serait bien alors le fait du modèle numérique sous-jacent commun aux modalités sensorielles et aux dynamiques les engendrant.

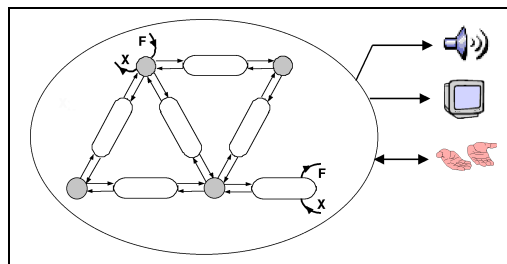


Figure 6. Principe du modèle physique de l'Acroe. Espace de construction du modèle / Espace d'actualisation du modèle

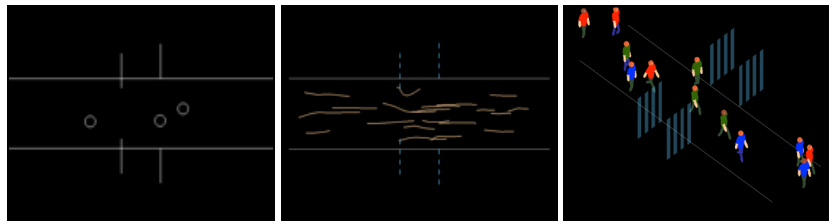


Figure 7. Actualisation du modèle, ici sous forme d'images animées. Trois exemples de rendus visuels

Les travaux d'observation *in situ* et les expérimentations numériques du modèle avec l'exemple du sas ont permis de mettre en évidence les dynamiques suivantes : anticipation et évitement d'obstacle avec ajustement des vitesses à moyenne et longue distances, embouteillage avec formation de sous-groupes cohésifs et évacuation par des avalanches sur les bords, pénétration des flux, mélange et changement d'objectifs possible, écoulements turbulents avec formation de vortex, permettant aux flux de trouver une solution automatique aux blocages.

Depuis ces premiers travaux, de nombreuses modélisations pour des espaces plus vastes et des foules plus denses ont été effectuées, en particulier par F. Thil et A. Luciani.

De plus, chaque technique de représentation présente des atouts différents. Certaines permettant de bien voir les dynamiques collectives, et d'autres de ressentir les variations individuelles.

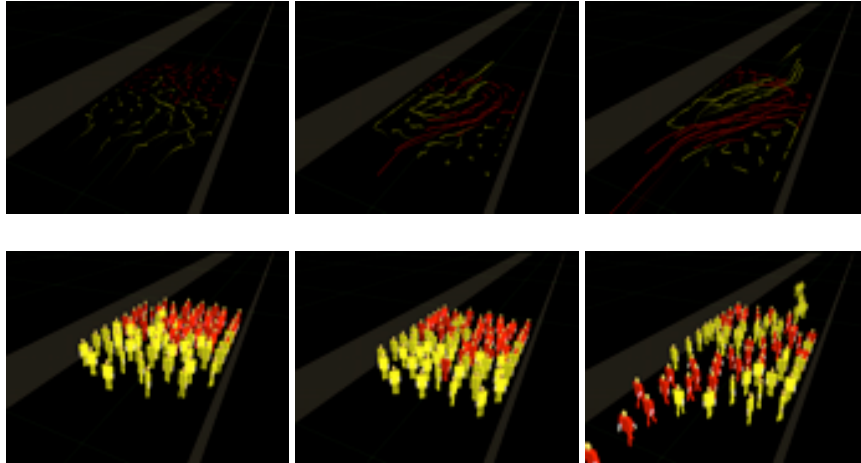


Figure 8. Simulations de la rencontre entre deux flux denses dans une rue étroite. Visualisation des trajectoires et visualisation « humanoïdes »

#### 4. Une logique d'intentions relationnelles

L'application de ces principes à la conception de l'espace sensible, construit et agi permet de se rendre compte du retournement que la logique de ce modèle implique. Reprenons une situation très simple. Par exemple, dans la modélisation du couloir et du sas, nous avons été amenés à définir des murs. Pour définir un mur, on peut imaginer non pas une description (qui nous dirait qu'il est à tel endroit, qu'il est en béton, haut de trois mètres, etc.) mais des propriétés relationnelles, qui nous diraient par exemple qu'on ne peut pas le traverser, que l'on peut s'y appuyer pour se reposer, qu'il peut servir de guide pour le cheminement, etc. Dans un récit d'observations, le mur est défini non pas comme une entité isolée, mais bien comme un ensemble de situations relationnelles mettant en jeu un élément qu'on nomme mur, un autre qu'on nomme individu et une liaison qui définit leurs relations. Les éléments sont, dès le début de la conception, définis en liaison avec d'autres. Ces liaisons sont par nature dynamiques et a-sensorielles. Dans le cas du mur que nous avons choisi, nous pouvons très bien imaginer que la fonction de

guide pour le cheminement ne s'incarne pas par un dispositif matériel vertical, mais pourquoi pas par un dispositif sonore, ou une simple variation du sol, ou encore un système lumineux. Que la fonction de non-pénétrabilité soit respectée par la mise en place d'un élément de nature sémantique indiquant que le passage est interdit, etc. L'écriture de la liaison ne prédétermine pas la matérialité des éléments du bâti, elle permet juste de les questionner en fonction des relations qu'ils devront ou non entretenir avec d'autres éléments, dont les usagers. Les objets architecturaux sont donc définis en amont à leur matérialité selon une logique d'acteurs-réseau. La nature même du modèle fait qu'il est porteur de multiples virtualités qui ne demandent qu'à s'actualiser dans des dynamiques sensibles. Celles-ci, à leur tour, pourront être observées et feront récit. Il ne faut pas voir dans le caractère générateur du modèle que l'on ne maîtrise aucunement ce qui est produit, mais il ne faut pas y voir non plus à l'inverse que l'on en a toujours une parfaite maîtrise. Tout dépend du modèle, de sa construction, de la complexité de ses éléments et de la qualité des expérimentations qui cumulent les expériences pour affiner les paramètres. En conception, on doit tout à la fois *manager* l'espace et *ménager* des usages. Il en va de même pour un modèle, on peut souhaiter que les dynamiques simulées soient un tant soit peu maîtrisées tout en restant multiples, variées et parfois surprenantes.

## Bibliographie

- Amphoux, P. (2001). L'observation récurrente, in M. Grosjean et J.-P. Tibaud (dir.) *L'espace urbain en méthodes* (pp. 153-169). Marseille : Parenthèses.
- Augoyard, J.-F. (1998). Éléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines, in *Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine* (pp. 13-23). Paris, n° 42/43.
- Cadoz, C., Luciani, A. & Florens J.-L. (1990). *Cordis-Anima*, in Modèles physiques, création musicale et ordinateur, actes du colloque organisé par l'Acroë à Grenoble, Paris : Éd. MSH, Recherche Musique et Danse.
- Gibson, J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Latour, B. (2006). *Changer la société. Refaire de la sociologie*. Paris : La Découverte.
- Perec, G. (1974). *Espèces d'espaces*. Paris : Éd. Galilée.
- Sauvageot, A. (2003). *L'épreuve des sens. De l'action sociale à la réalité virtuelle*. Paris : PUF.
- Thibaud, J.-P. (2003). *La ville à l'épreuve des sens*. Habilitation à diriger des recherches, Institut d'Urbanisme de Grenoble.

Tixier, N. (2001). *Morphodynamique des ambiances construites*. Thèse de doctorat, Laboratoire Cresson.  
[www.grenoble.archi.fr/presentation/enseignants/tixier\\_these.html](http://www.grenoble.archi.fr/presentation/enseignants/tixier_these.html)

*Note : cet article reprend en partie notre contribution en anglais faite au colloque EAAE/ARCC à Copenhague en juin 2008.*