

Unité Mixte de
Recherche
1563
"Ambiances
Architecturales
& Urbaines"

Décrire / Modéliser les dynamiques de cheminement. Du rôle des ambiances à l'hypothèse d'un modèle physique.

Nicolas Tixier – Annie Lucianie 2008



de
école nationale
supérieure
d'architecture
de grenoble

Nicolas Tixier est architecte, maître-assistant à ENSA de Grenoble, Chargé de mission au Bureau de la Recherche Architecturale et Urbaine et chercheur au Laboratoire Cresson, UMR 1563 Ambiances architecturales et urbaines à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble.

Pour citer ce document :

Tixier, Nicolas & Luciani, Annie (2008). Décrire / Modéliser les dynamiques de cheminement. Du rôle des ambiances à l'hypothèse d'un modèle physique. in : International Conference EAAE / ARCC 2008 : changes of paradigms in the basic understanding of architectural research. Copenhagen, 25-28 juin 2008.

CRESSON

ENSA Grenoble
60 Avenue de
Constantine
B. P. 2636 - F 38036
GRENOBLE Cedex 2
tél + 33 (0) 4 76 69 83 36
fax + 33 (0) 4 76 69 83 73
cresson@grenoble.archi.fr
www.cresson.archi.fr

Pour consulter le catalogue du centre de documentation : http://doc.cresson.grenoble.archi.fr/pmb/opac_css/

Dernière mise à jour : 2008

Décrire / Modéliser les dynamiques de cheminement
Du rôle des ambiances à l'hypothèse d'un modèle physique

Nicolas Tixier, Annie Luciani

"Vivre, c'est passer d'un espace à un autre, en essayant le plus possible de ne pas se cogner"*

in Perec Georges (1974). *Espèces d'espaces*, Paris : Éd. Galilée, p. 14.

Nicolas Tixier

Associate Professor and Researcher at the National School of Higher Studies in Architecture at Grenoble (Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble - ENSAG), France.

Member of the CRESSON laboratory (Sound, Space and Urban Environment Research Centre – UMR CNRS N°1563)

Research Project Supervisor at the Office for Architectural, Urban and Landscape Research (Bureau de la Recherche architecturale, urbaine et paysagère – BRAUP), French Ministry of Culture and Communication.

Nicolas.Tixier@grenoble.archi.fr
www.cresson.archi.fr

Laboratoire Cresson
UMR CNRS/MCC n°1563 "Ambiances Architecturales et Urbaines"
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble
60 avenue de Constantine - B.P. 2636
38 036 Grenoble Cedex 2
France

Annie Luciani

Co-director of the ACROE (Association for creation and research on means of expression - Association pour la Création et la Recherche sur les Outils d'Expression)

Director of the ICA laboratory (Computers and Artistic Creation - Informatique et Création Artistique)

Researcher with the French Ministry of Culture & Communication

Deputy Coordinator of FP6 NoE Enactive Interfaces

Annie.Luciani@imag.fr
www-acroe.imag.fr

ACROE
INPG, 46 avenue Félix Viallet
38 031 Grenoble Cedex
France

**"To live is to move from one place to another, trying as much as possible not to bump into things"*

Décrire / Modéliser les dynamiques de cheminement

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

Nicolas Tixier, Annie Luciani

"Vivre, c'est passer d'un espace à un autre, en essayant le plus possible de ne pas se cogner"
in Perec Georges (1974). *Espèces d'espaces*, Paris : Éd. Galilée, 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 (Jean-François 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 (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* (par la méthode de l'observation récurrente (Pascal Amphoux 2001), alors qu'un deuxième temps décrit l'expérimentation d'un modèle numérique relationnel (le modèle physique développé par l'ACROE est un modèle générant des dynamiques, utilisant les descripteurs et les opérateurs de la physique newtonnienne (la notion de force et le principe d'action-réaction). Il est par nature multisensoriel et interactif).

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 étude¹ (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 :

- 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 [cf. Walter Benjamin, Jean-François Augoyard, Jean-Paul Thibaud etc.].
- Les conduites de cheminement sont des formes d'expression [cf. Jean-François Augoyard].
- Il y a un lien entre des attitudes de cheminement, des types d'espaces et des modes de sociabilité observés [cf. Jean-Paul Thibaud, Rachel Thomas].
- Le cheminement met en jeu des interactions et des modes d'attention réciproque [cf. Erving Goffman, Louis Quéré et de Dietrich Brezger, John R.E. Lee et de Rodney Watson, etc.].
- Cheminer c'est communiquer [cf. travaux de l'école de Palo Alto].
- Le cheminement en public relève de comportements collectifs par la mise en jeu de compétences ordinaires partagées [cf. Eric Livingston, Michèle Jolé, etc.].
- Ces comportements collectifs et les ajustements individuels sont en général visuellement identifiables comme des catégories signifiantes pour tous [cf. Michèle Jolé, Pierre Livet].

¹ Document disponible en pdf à l'adresse suivante : www.grenoble.archi.fr/presentation/enseignants/tixier_these.html

- Ces comportements collectifs ont des caractéristiques d'organisation remarquables et récurrentes [cf. Eric Livingston, Michèle Jolé, etc.]
- Les conduites de cheminement peuvent répondre à une économie de la locomotion, voire du principe de moindre action (cf. John R.E. Lee et de Rodney Watson).

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 mette en jeu des interactions de deux types : individu / dispositif spatial et individu / individu.

L'objectif était d'étudier les conduites dans un espace construit et en lien avec lui. Il fallait donc un lieu dans lequel il y ait du mouvement, de l'action et que ceux-ci puissent être observés sans trop de difficultés. L'idée d'étudier un dispositif spatial et technique à l'échelle du corps humain limitait l'importance d'une étude embrassant un large contexte. Il faut un lieu qui soit public ou semi-public et dans lequel il y avait suffisamment de passages, condition nécessaire à l'étude des conduites. Pour une modélisation future, il fallait aussi un espace qui n'offrait pas une trop grande complexité spatiale.

Le choix d'étudier un sas avec des portes automatiques dans un espace public a donc été motivé par les dynamiques spatiales, temporelles et les interactions qui s'actualisaient en permanence dans un tel dispositif. Tout y est effectivement 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.



Sas composé par un double système de portes automatiques coulissantes
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, etc.), 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.

Au nombre de sept, Les catégories sont ici présentées selon des "niveaux de description" et esquissent un lien vers une possible modélisation. Au début on a plutôt les principes sous-jacents aux phénomènes, puis après, ce qui relèvent des interactions, suivent ensuite les dynamiques particulières et observables, pour conclure sur des observations concernant l'ensemble de la scène ou de la séquence avec une forte dimension narrative.

Un principe émergent : l'élasticité

Au niveau du sas, une figure apparaît de façon récurrente. Elle consiste lorsque l'on est deux à se mettre en file indienne le temps du passage de la zone étroite, ou alors pour laisser passer quelqu'un à qui on cède la priorité, ou encore pour effectuer un ajustement mutuel. La notion d'élasticité fournit sans doute un concept de base pour la modélisation des interactions - elle intervient dans les questions de priorité, dans les processus coopératifs, dans l'idée du volume psycho-perceptif, et sans doute dans l'impression des dynamiques de flux avec des effets d'étirement et de contraction.

Un principe émergent : le volume psychophysique

Ce principe de volume psychophysique (notion que développe E.T. Hall) fonctionne sur le rapport aux distances, plutôt que sur les distances absolues. Les paramètres sont tout d'abord physiques : on a bien un volume réel, une morphologie propre, (et se faire rentrer dedans n'est pas vraiment naturel) avec un volume de débatement gestuel. Ce volume peut se modifier en fonction de la personne d'en face, par un ajustement corporel : on peut se mettre de biais, se faire plus petit... Ces paramètres sont à la fois d'ordre physique, psychologique et culturel ; leur description porte tout à tour sur une personne, un couple, un groupe ou même les objets construits comme les portes. Le "volume" dépend du type de rapport que l'on se dit avoir, ou que l'on se donne avec l'autre (et cela dans un ajustement réciproque). Ce "volume" pourrait se réduire pour l'étude des portes automatiques à un disque plus ou moins élastique, en plan. Puisque les interactions qui en découlent s'actualisent principalement dans un changement de trajectoire et dans des phénomènes de compression / décompression.

Dynamiques des priorités / Priorités des dynamiques

De nombreuses hypothèses sont faites lors des séances d'observation récurrente autour de la notion de priorité. Qui, de soi ou de l'autre a priorité si l'on ne peut pas passer à deux ? En temps normal, on ne remarque que très rarement des conflits de priorité alors qu'ils se posent implicitement et constamment au niveau de l'entrée ou de la sortie du sas. Quelques logiques de priorités qui ont été exprimées : Droite / gauche - Celui qui est le plus engagé dans le sas - Celui qui a le plus fort volume psycho-physique - Celui qui marche le plus droit en regard à une logique de trajectoire commune - Celui qui va le plus vite, ou qui est le premier arrivé au sas - Un geste de courtoisie, etc.

Il semble bien que toutes ces règles de priorité sont actives en même temps. Elles s'actualisent ou non en fonction de paramètres de type physique, comme la proximité, le volume, la vitesse, la direction... Mais elles s'actualisent aussi par des règles de type culturel, comme être dans le sas est prioritaire, la courtoisie, le volume psychophysique... C'est autant les logiques de priorités qui régissent les dynamiques que les dynamiques qui induisent des logiques de priorités.

Dynamiques des processus coopératifs

On observe des interactions entre personnes qui sont de nature coopérative. On peut distinguer deux sortes de processus coopératifs. Les premiers qui correspondent à l'implication volontaire des actants montrant des attentions réciproques (déclencher l'ouverture volontairement pour le passage de l'autre, tenir la porte et la passer à quelqu'un d'autre, les ajustements corporels et de trajectoire), et les seconds qui sont des actions coopératives quasiment involontaires de la part d'un des actants au moins (Profiter du passage de l'autre pour se mettre dans son sillage, pour se donner la priorité, pour savoir ou passer...).

Le terme de processus coopératif est employé ici dans un sens générique. Les phénomènes comme l'utilisation du passage d'une personne, ou même les ajustements corporels, pourraient s'inscrire dans des registres plus précis que l'on pourrait prendre à Michel de Certeau où avec ses "arts de faire", il développe à propos de la ruse les notions de *stratégie* ou de *tactique*.

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.

Dynamiques d'ajustement

Il s'agit de petits ajustements corporels et de trajectoire que l'on observe quand les gens sont confrontés à l'ouverture des portes : faire un pas sur le côté pour augmenter légèrement son parcours et permettre aux portes

d'avoir le temps de s'ouvrir sans avoir soi-même à ralentir, faire un pas en arrière pour quand on arrive trop vite sur les portes encore fermées chercher la zone de détection, ajuster sa vitesse en ralentissant, se mettre dans l'axe central des portes afin qu'au moment de leur ouverture être à l'endroit le plus adéquat, suspendre son geste (ceci se voit parfaitement quand on regarde les vidéos au ralenti) et esquisser le début d'un geste qui pourrait être nécessaire : mettre la main devant quand les portes tardent à s'ouvrir, mettre le bras sur le côté quand on passe trop près des portes ouvertes, etc. Ces dynamiques d'ajustement se retrouvent pour partie lors du croisement de deux personnes ou d'une personne avec un groupe.

Dynamiques du seuil

Le sas est une forme élaborée de seuil, entre un dedans et un dehors où s'incarnent certaines attitudes, voire certaines traditions (on s'embrasse sur le seuil avant de partir...). On y retrouve 5 figures du seuil : c'est d'abord un lieu de rendez-vous où l'on s'attend, à l'inverse c'est aussi un lieu de séparation où l'on se dit au revoir, c'est ensuite un lieu de regroupement, on passe le seuil après s'être regroupé, c'est pour tous un lieu du changement, on marche différemment, on se découvre, on ouvre sa veste, etc. chez les enfants, c'est souvent très visible (ils se précipitent vers la porte pour la faire ouvrir, jouent dans le sas, etc.), et enfin c'est un lieu de rencontre, croisement qui ne permet pas l'évitement visuel de l'autre.

L'étude de ce dispositif a montré que l'on est bien en présence d'une double situation d'interaction : celle du passant avec le dispositif et celle du passant avec autrui. Ce qui apparaît clairement, c'est 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. Il n'y a pas le construit d'un côté et le public de l'autre. On assiste également 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, et ceci n'est pas détaillé dans cet article, 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 sont deux caractéristiques avantageuses pour envisager 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 (catégorie comportementale, écologie de la perception, cognition, intelligence distribuée, etc.).

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. Il n'y a pas un temps pour la perception, un autre pour une phase de décision et un dernier pour une action qui en résulterait. 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. 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.

De plus, *il n'y a pas non plus de phase de décision*. 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 modèle².

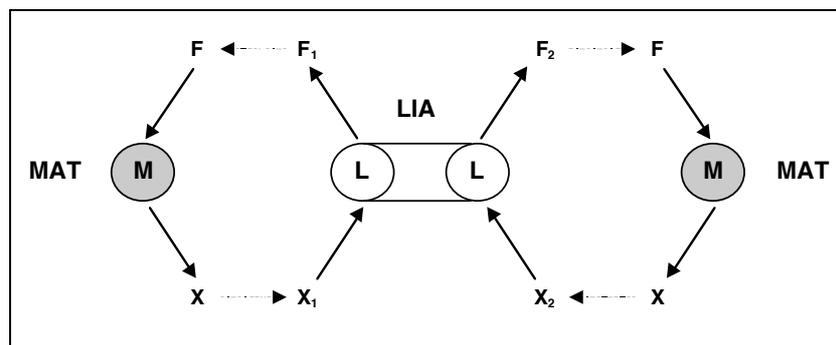
Le modèle physique de l'Acroe est un modèle générateur construit avec les opérateurs de la physique. Dans la physique dite classique, on trouve deux grands systèmes théoriques qui ont chacun leur logique et leurs opérateurs : la mécanique newtonienne et la mécanique hamiltonienne. Les principes newtoniens 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. Le modèle physique de l'Acroe, Cordis-Anima, est basé sur les principes de la mécanique newtonienne.

C'est donc le formalisme newtonien qui est utilisé ici comme langage. Il est basé sur la notion de force et sur 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. Plongées sur le support de représentation discret qu'est l'ordinateur ces écritures supposent 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'incrémental. C'est parce que le principe de modélisation physique de l'Acroe est basé sur un système de calcul intrinsèquement dynamique et indépendant des particularités sensorielles, que l'on peut espérer qu'il soit pertinent pour la modélisation de dynamiques complexes et multisensorielles.

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". Pour des raisons qu'il est difficile de détailler ici, il y a en a deux sortes de points de communications :

- Les points M qui reçoivent des forces et qui renvoient des positions.
- Les points L qui reçoivent des positions et qui renvoient des forces.

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.



Deux module MAT liés par un module LIA

² Cependant, tout espace numérique est un espace discret fait de zéros et de uns. 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.

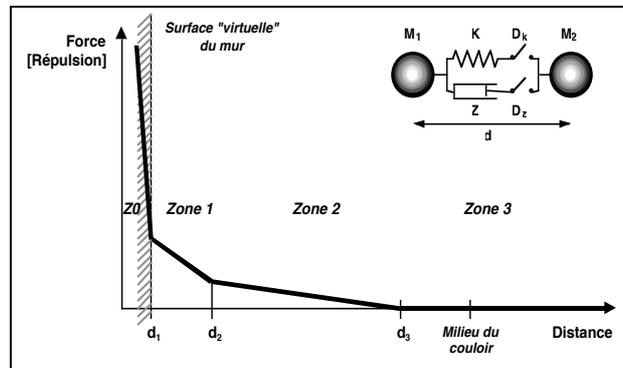
À partir de la notion de points de communication et de leur catégorisation en deux types, Cordis-Anima définit les deux types de modules nécessaires et suffisants pour construire tout type de réseaux satisfaisant le principe d'action-réaction :

- 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.

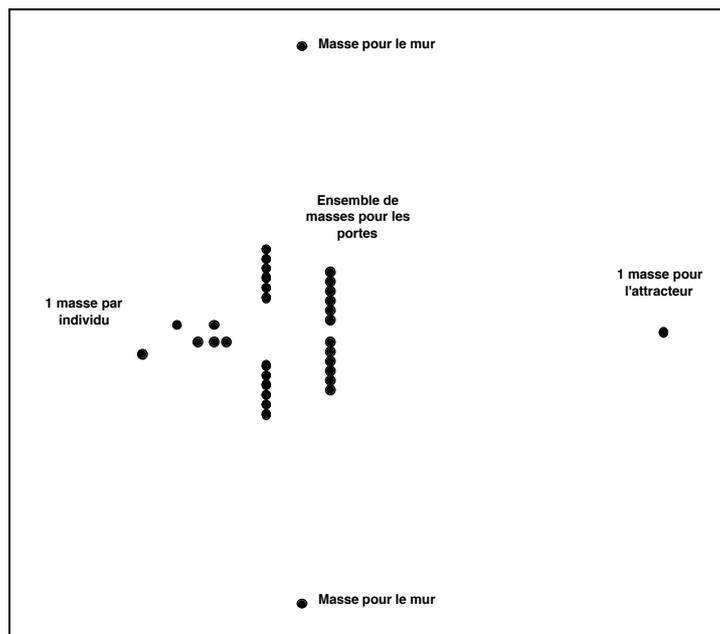
Un assemblage d'éléments MAT et LIA définit un réseau Cordis-Anima. Il en résulte, de manière récursive, que les modules MAT et LIA peuvent contenir bien autre chose qu'un calcul lié à la masse ponctuelle pour les premiers ou aux interactions élémentaires pour les seconds. Ils peuvent contenir tout un 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 -> ensembles de positions) et un Complexe LIA calculera la dynamique inverse d'un système quelconque (ensemble de positions -> ensembles de forces).

Inversement, tout objet défini 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.

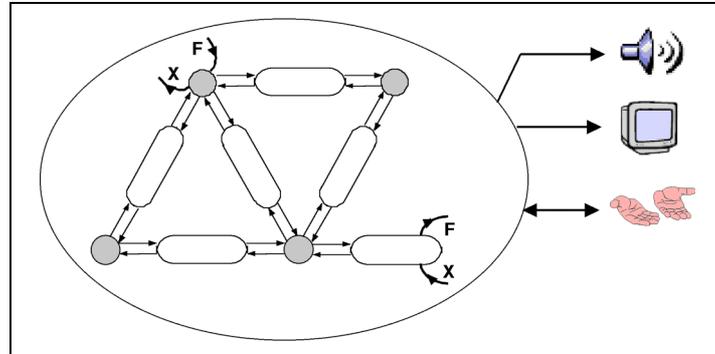


Définition des interactions : exemple de liaison entre deux éléments : interaction de type butée viscoélastique (Ici, une fonction d'interaction linéaire par morceaux pour les liaisons individu / mur)

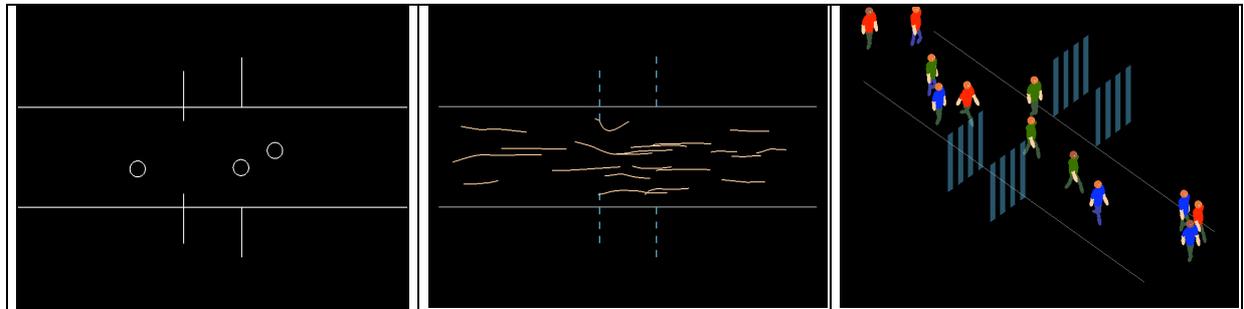


Définition de l'espace du modèle
Hypothèse sur les éléments minimums nécessaires du modèle

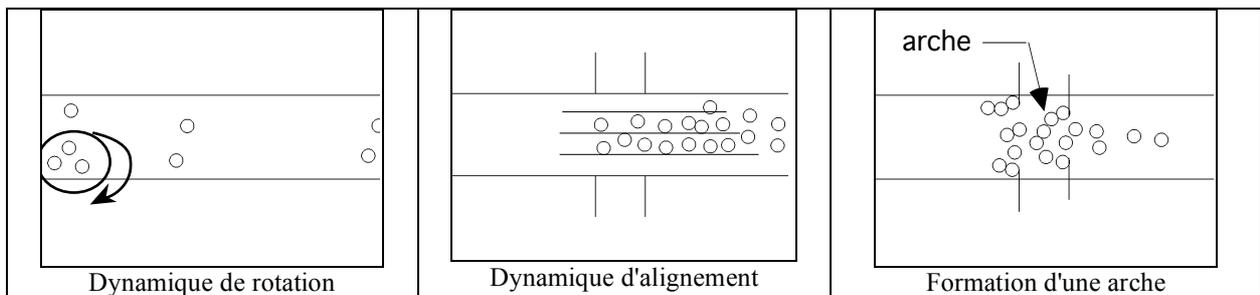
Le système de modélisation de l'Acroe permet à tout modèle Cordis-Anima de s'actualiser dans des espaces sonores, visuels ou tactilo-proprioceptifs. Le modèle simulé peut générer des dynamiques s'actualisant dans chacun des trois séparément ou dans les trois simultanément. On peut alors espérer que la correspondance des trois 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 du processus dynamique les engendrant.



Principle of ACROE's physical model
Space of the construction of the model / Space of the actualization for our senses



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



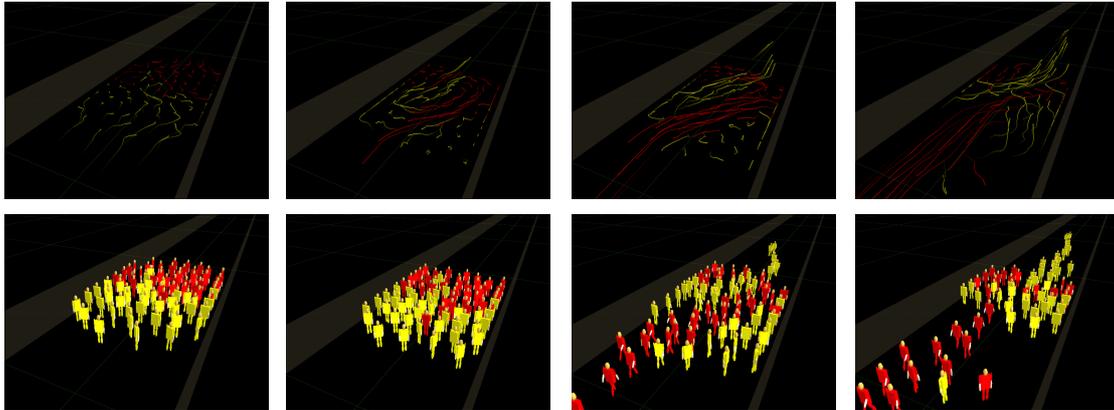
Observation "numériques"
Caractérisation de figures dynamiques émergentes, etc.

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 :

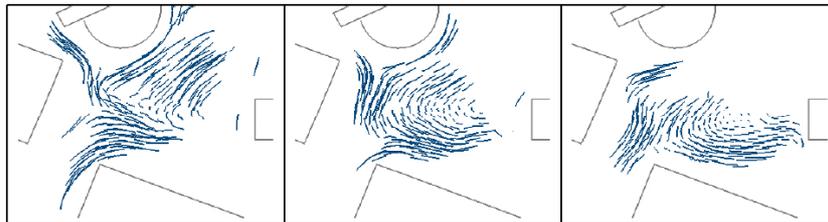
- Anticipation de l'évitement d'obstacle avec ajustement des vitesses (déviations, ralentissements et accélérations) à moyenne et longue distances
- Embouteillages avec formation de sous-groupes cohésifs et évacuation par des avalanches sur les bords de l'embouteillage
- Pénétration des flux, mélange et changement d'objectifs possible
- Ecoulements turbulents avec formation de vortex, permettant aux flux de trouver une solution automatique aux blocages.

Depuis ces premiers travaux, de nombreux ont été effectués à l'ACROE (en particulier par François Thil et Annie Luciani). Quelques exemples ci-dessous montrant des espaces de natures différentes, mais surtout des

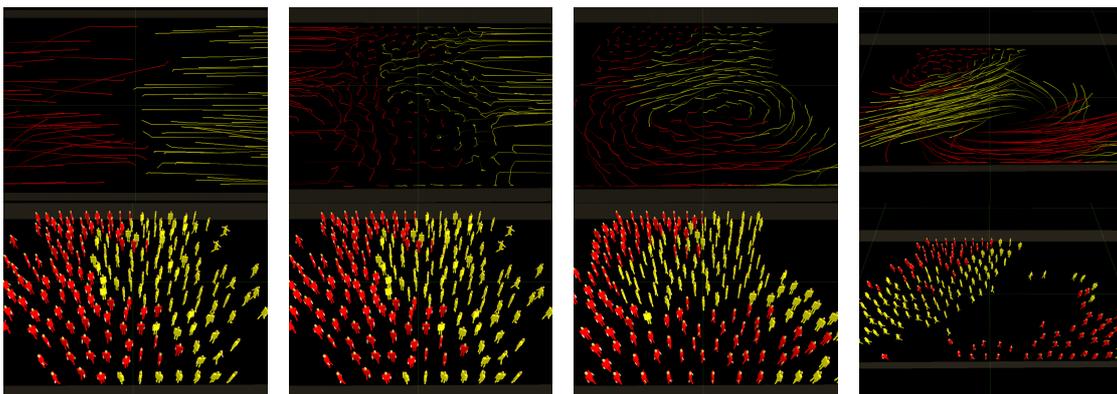
modes de visualisation variée. Chaque technique de représentation a des atouts différents. Certaines permettant de bien voir les dynamiques collectives, et d'autres de ressentir les variations individuelles (par exemple la technique des filaments (personnes représentées par des points, mais avec une rémanence de quelques dixièmes de secondes permettant de voir leur vitesse et leur trajectoire) met en évidence les arrêts, les vitesses, les moindres changements de direction, les croisements de trajectoire, les légers retours en arrière, les alignements. Et inversement, elle ne rend pas compte des rotations des individus. La vision de groupe devient très difficile, mais elle met en évidence toutes les dynamiques individuelles, les plus petites soient-elles.)



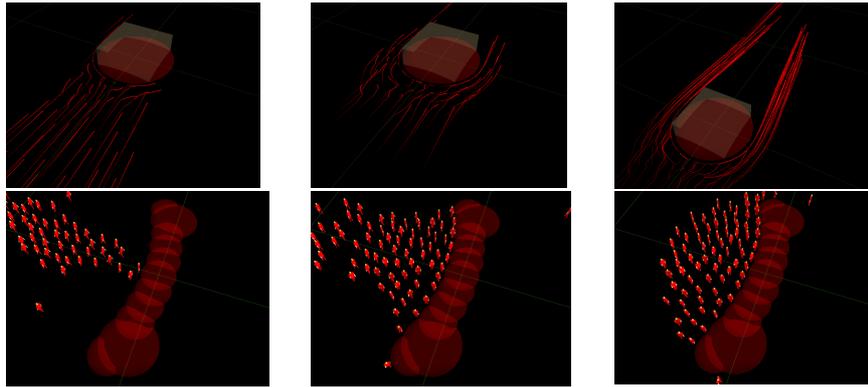
Simulations de la rencontre entre deux flux denses dans une rue étroite : Visualisation des trajectoires et visualisation « humanoïdes »



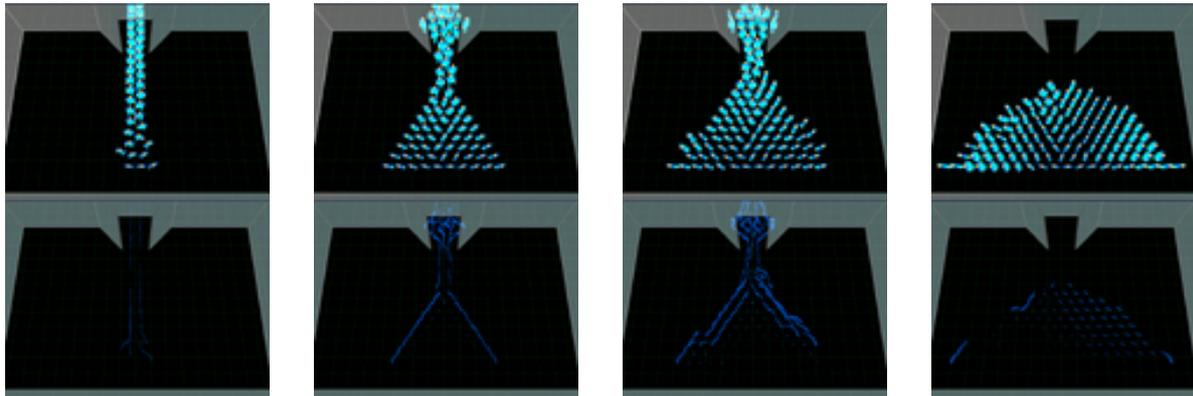
Simulation of the meeting point of three flows in a public space. Representation of the trajectories with regard to the velocity of the persons.



Simulations de la rencontre de deux flux très denses : Trajectoires et humanoïdes.



Simulation d'un flux arrivant sur un gros obstacle fixe.



Simulation d'un flux arrivant sur un gros obstacle fixe avec effets d'amoncellements, d'avalanches de surfaces et d'effondrements internes

4. Une logique d'intentions relationnelles

Le modèle est porteur de multiples virtualités qui ne demandent qu'à s'actualiser dans des dynamiques sensibles. Au-delà d'être un outil d'aide à la connaissance des phénomènes et un outil de prédiction des dynamiques, il propose une autre façon, radicalement différente de celle définie par les outils habituels, pour penser et concevoir l'espace.

- Tout modèle physique peut se concevoir indépendamment de la modalité sensorielle par laquelle il va s'actualiser. C'est le même modèle qui peut générer séparément ou ensemble du son, de l'image animée ou une activité "motrice".
- Tout modèle physique est par nature dynamique. Quand il ne l'est pas, c'est que le système est dit au repos, en attendant qu'il se remette ou qu'on le remette en activation.
- Tout modèle physique est par nature relationnel. Par la définition de modules, on définit autant des éléments que les relations entre ces éléments. Ce sont les relations qui sont porteuses principal des contenus.
- Tout modèle physique peut être interactif par des dispositifs à retour d'effort qui permettent à un élément extérieur - technique ou humain - d'être lui aussi, en quelque sorte, un élément du modèle.

C'est l'application de ses principes à la conception de l'espace sensible, construit et agi qui permet de se rendre compte du retournement que cette logique implique. Reprenons une situation très simple. Par exemple, dans la modélisation du couloir et du sas, nous avons été amené 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 des actions possibles ou des impossibilités d'actions. 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 jamais de la matérialité des éléments de l'espace 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 dans un réseau avec des relations selon une logique d'acteurs-réseau (cf. Bruno Latour). Puis après, ils s'actualisent dans une dynamique par la simulation du modèle.

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. Pour l'application du modèle à l'espace, un piège consisterait à tomber dans l'une ou l'autre de ces attitudes. La première serait d'utiliser un modèle numérique pour uniquement profiter de son caractère générateur. On l'exécuterait jusqu'à ce qu'un résultat donne satisfaction, sans rechercher une quelconque maîtrise entre les éléments du modèle et les phénomènes. L'autre attitude consisterait à utiliser le modèle comme un outil que l'on affinerait de plus en plus pour arriver à l'unique dynamique visée. On peut souhaiter un entre deux. Prenons le champ de l'espace public. Il n'est pas - en général ! - soit un espace d'un total chaos, toujours imprévisible, soit un espace d'une parfaite organisation, toujours maîtrisée. Il est souvent entre ces deux extrêmes. Le cas des dynamiques de cheminement sont révélatrices de cet entre-deux. Il n'est pas question de définir un espace où tout le monde devrait marcher de la même manière et au même endroit, mais il n'est pas plus autant question de définir un espace sans la moindre intention d'usage et d'appropriation possible. Pascal Amphoux utilise les termes *ménager* et *manager* pour cela. Le concepteur 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.

Par le récit d'observations in situ autant que par le modèle de simulations numériques, la conception ne passerait plus seulement par des images de référence mais par des intentions relationnelles (cf. Nicolas Bourriaud). Celles-ci interrogent les données construites autant que les données sociales ou sensibles, mieux, elles peuvent les croiser en les reliant. Le récit permet d'en définir, le modèle permet d'en agencer. Elles sont en fait des intentions structurelles que l'on peut définir au début du projet architectural ou urbain, qui peuvent donc en constituer le fondement et sur les quelles on peut dès lors s'appuyer pour le développer dans un mouvement dynamique cohérent. Par exemple, on peut se demander quelles relations faut-il définir entre un espace et un autre, au niveau sonore, visuel ou thermique comme au niveau de l'accessibilité motrice ou surtout à celui des interactions sociales attendues pour ce projet, etc. Les intentions relationnelles peuvent en outre devenir un lieu de débat possible entre les concepteurs, les commanditaires et les usagers.

En articulant de la sorte le récit et le modèle, on n'inscrit plus la procédure de projection dans une temporalité linéaire, en considérant la conception comme une étape qui doit venir après la phase d'analyse. On est dans un processus qui se définit par une temporalité réursive, visant à formaliser une intention par l'hybridation permanente des activités d'analyse et de conception, au point de ne plus pouvoir être différenciées selon cette terminologie. Ce processus méthodologique doit permettre de ne pas opposer ce qui habituellement se trouve séparé ; mais bien au contraire il doit permettre leur hybridation : hybridation entre analyse et conception, entre actuel et virtuel, entre récit et modèle, entre expérience et expérimentation, entre objet et relation.

5. Sélection bibliographique

Amphoux Pascal (2001) « L'observation récurrente », in *L'espace urbain en méthodes*, sous la direction de Michèle Grosjean et de Jean-Paul Thibaud, Marseille : Parenthèses, pp. 153-169.

Augoyard Jean-François (1998) « Éléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines », in *Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, n° 42/43, pp. 13-23.

Cadoz Claude, Luciani Annie, Florens Jean-Loup (1990) « Cordis-Anima : système de modélisation et de simulation d'instruments et d'objets physiques pour la création musicale et l'image animée », in *Modèles physiques, création musicale et ordinateur*, actes du colloque organisé par l'Acroë à Grenoble, Paris : Éd. de la Maison des Sciences de l'Homme, Recherche Musique et Danse.

Gibson James J. (1979) *The ecological approach to visual perception*, Boston : Houghton Mifflin.

Joseph Isaac (2001) « Tarde avec Park. A quoi servent les foules ? », in *Multitudes*, n°7.

Latour Bruno (2006) *Changer la société. Refaire de la sociologie*, Paris : La Découverte.

Sauvageot Anne (2003) *L'épreuve des sens. De l'action sociale à la réalité virtuelle*, Paris : PUF.

Tarde Gabriel (1893, réédition 1999), *Monadologie et sociologie*, Paris : Les Empêcheurs de Penser en Rond.

Thibaud Jean-Paul (2003) *La ville à l'épreuve des sens*, Habilitation à diriger des recherches, Institut d'Urbanisme de Grenoble.

Tixier Nicolas (2001) *Morphodynamique des ambiances construites*, thèse de doctorat en sciences pour l'ingénieur option architecture, École Polytechnique de l'Université de Nantes.

6. Notes

The **Cresson** laboratory's research focuses on the perceptible environment, and architectural and urban atmospheres, advocating a qualitative approach which may influence design strategies and processes. After concentrating initially on the soundscape, the laboratory extended its scope in the 1990s to include the many dimensions of in situ sensory perception (light, heat, smell, touch and bodily movement) with original pluridisciplinary methods at the meeting point between human and social science, architecture and engineering.

The **ACROE** has produced a method of image and audio creation known as Physically-based Model Synthesis. It has also pioneered in modular multisensory synthesis and force feedback gestural control. Its research in Virtual Reality has applications in Computer Technology and Artistic Creation, particularly Music & Animation, as well as in robotics, telecommunications, education and industry.