

Une caractérisation de l'ambiance acoustique par reconnaissance sonore en situation d'immersion

Philippe Woloszyn

CNRS

Laboratoire CERMA, UMR CNRS 1563

BP 81931, Rue Massenet, F-44319 Nantes Cedex 3, France

philippe.woloszyn@cerma.archi.fr

ABSTRACT. For many years, architectural and urban ambiences have been the main subject study of our laboratory, dealing with the urban built shape interactions. Classical results are predictive numerical models, which provide parameters related to the environment physical factors. Through interaction with environmental parameters such as sound, the human being position through its perception of environmental physical phenomenon enables virtual reality to be a relevant way to evaluate ambiences. Application of this exploration field exposes an acoustic ambience study relative to an identified architectural location. Experimental results are then developed before discussion.

RESUME. Depuis plusieurs années, les ambiances architecturales et urbaines sont le point focal des recherches au sein de notre laboratoire. Les résultats classiques se traduisent par des modèles numériques prédictifs, qui fournissent les paramètres physiques relatifs à l'environnement. C'est par l'interaction avec ces paramètres environnementaux comme le son que le positionnement de l'homme au sein de ces phénomènes environnementaux par sa perception fait des outils de la réalité virtuelle un moyen pertinent pour l'évaluation des ambiances. Une application de ce champ exploratoire présente une étude d'ambiance sonore dans un site architectural donné. Les résultats expérimentaux sont développés avant d'être discutés plus avant.

1 Introduction

Le programme de recherches "Construire avec les sons" organisé par l'atelier de sociologie du PUCA a initié la méthode exploratoire de production et d'analyse des ambiances que nous allons développer ci-après. Basée sur le principe du couplage entre caractérisation spatiale et reconnaissance sonore, cette méthode appliquée présuppose la connaissance acoustique du site architectural que l'on se propose d'étudier. Les modalités de représentation des ambiances sonores seront alors abordées en fonction du positionnement réaliste de l'écouter au sein de la reconstitution acoustique 3-D de l'environnement urbain dans lequel il se trouve, en utilisant des descripteurs pertinents basés sur l'organisation structurelle des stimuli constitutifs de la perception des ambiances sonores.

2 Prédiction acoustique des ambiances sonores

L'intérêt que nous portons à la caractérisation des ambiances sonores est la conséquence d'une préoccupation sociale grandissante concernant l'importance du sonore dans les espaces architecturaux et urbains, préoccupation motivée principalement par l'augmentation de la pollution sonore dans les villes. Pour les architectes, urbanistes et aménageurs, cette dernière constatation a permis une prise de conscience globale de l'importance du phénomène sonore en milieu construit, de l'émission (sources sonores) à la réception (perception située), en passant par la propagation (espaces urbains).

2.1 Du principe de localisation sonore...

Du point de vue physiologique, l'oreille humaine possède une capacité de localisation sur le plan horizontal dépendante de deux facteurs principaux : la phase et l'intensité (Zwicker & al., 1981). Si la synchronisation de la phase des signaux sonores permet une bonne localisation pour les fréquences inférieures à 1.5 kHz, propriété due à une différence de temps d'arrivée inter-aurale supérieure à 700 microsecondes, la différence inter-aurale d'intensité sonore est le seul moyen de localiser les fréquences supérieures à 3 kHz. De plus, comme le montre la figure 1, la localisation fréquentielle dépend de la situation relative de la source incidente (Begault & al., 1994).

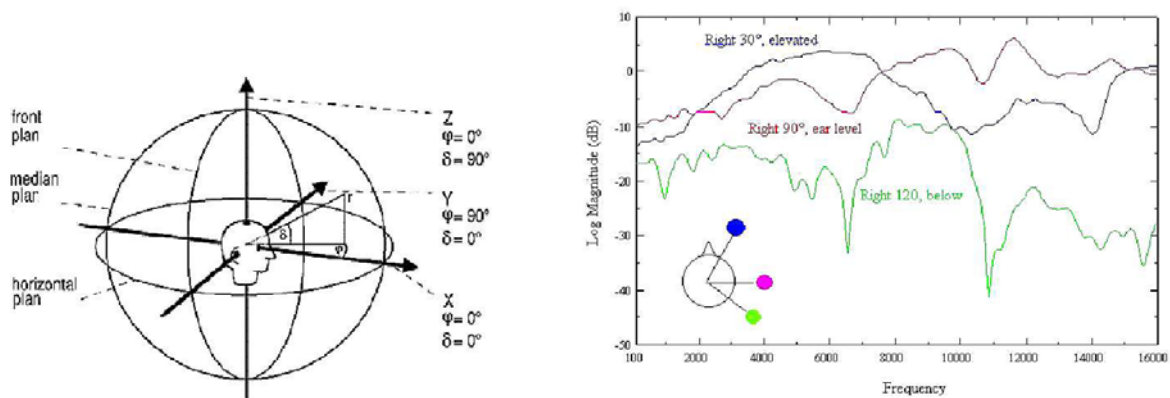


Figure 1. Indices physiologiques de la localisation sonore (Begault & al., 1994)

2.2 ... à celui de validité écologique

La restitution expérimentale se doit d'être *écologiquement valide*, en d'autres termes, la reproduction de l'ambiance acoustique doit fournir un référent d'ambiance crédible. Rappelons qu'en physique, le phénomène sonore est traité en termes d'émission, de propagation et de réception. Par conséquent, les stimuli sonores utilisés en restitution immersive devront confirmer les conditions ambiantales de la situation de référence, à la fois en termes de caractérisation physique des sources, de lois spatiales de propagation, et de conditions de réception. Ces conditions écologiques (Hoc, 2001) seront implémentées par les études expérimentales traitant des relations entre caractérisation acoustique et perception sonore.

La correspondance entre organisation physiologique et restitution électro-acoustique de l'écoute permettra ainsi la réalisation d'un système d'immersion permettant de tester les ambiances réelles *in labo*, sans aucune pollution contextuelle, afin de fournir les deux types de données nécessaires à l'interprétation perceptuelle des propriétés physiques de l'espace ambiant par la caractérisation des données suivantes :

- Les réponses du sujet à des stimuli sonores caractérisés physiquement (données sensibles),
- Les attributs spatiaux caractérisant les signaux des stimuli sonores (données physiques).

L'analyse des corrélations entre ces deux types de données fournira alors la base constitutive des descripteurs psychophysiques.

2.3 Formalisation des critères de jugement

La comparaison entre la caractérisation physique de l'espace de propagation et son exploration sensible vise à définir les paramètres psychophysiques de catégorisation prototypique du paysage sonore (Dubois, 2000) comme entrée sémantique du système de computation mentale du sujet. En outre, la prise en compte et le traitement des informations symboliques témoignent de la participation du sujet dans la construction de l'émergence interactionnelle (Moles, 1990). En ce sens, l'ambiance n'est pas restreinte au simple traitement de l'information environnementale, mais est également constituée par des représentations préalables qui contribuent à l'acte perceptuel. Ainsi, ce n'est pas le sujet écoutant et ses motivations qui nous importent, mais bien la détection et l'analyse d'un comportement global invariant aux facteurs personnels, et dépendant essentiellement des conditions environnementales -c'est à dire des facteurs d'ambiance- de la « mise en immersion ». Le retournement du sujet en objet statistique d'observation place de fait l'expérimentateur dans le champ de la recherche objectivable, déconnectée de toute interprétation liée aux attributs individuels. L'approche psychophysique considérant une action duelle du milieu sur l'homme et de l'homme sur le milieu (Condamines, 1985), l'identification préalable des paramètres de quantification permettra d'objectiver l'interface grandeur physique/intensité perceptive afin de caractériser l'effet induit du paysage sur l'homme *en dehors des effets de sens inhérents* à l'objet ou aux objets perçus.

3 Procédure expérimentale d'immersion acoustique dans un espace architectural

3.1 Instrumentation

L'évaluation subjective se fera par "immersion acoustique" en utilisant la technique de l'"ambiophonie". La technologie "Ambisonic®" qui y est associée, basée sur une théorie de la localisation des sons, est apte à reproduire le champ sonore complet en décomposant les caractéristiques directionnelles d'un champ sonore en composantes harmoniques d'une sphère, appelées W, X, Y et Z utilisant les sources ponctuelles distribuées dans l'auditorium (haut-parleurs) de façon complémentaire pour recréer ces composantes directionnelles. Le décodeur Ambisonic® vise ainsi à satisfaire simultanément et avec cohérence les mécanismes utilisés par le couple oreille/cerveau pour localiser des sons. La figure 2 présente le système de reproduction Ambisonic® 6-canaux :

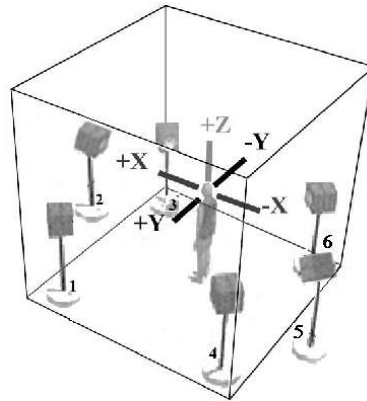


Figure 2. Système de reproduction Ambisonic® 6-canaux.

Pour l'exploitation de ce système d'immersion, la technique d'enregistrement des ambiances sonores est basée sur un encodage dit *B-format* sur quatre canaux. Cette technique a pour avantage de permettre, d'une part, une restitution du champ sonore permettant de maintenir une spatialisation cohérente des composantes de l'environnement, et, d'autre part, elle est un moyen d'évaluation aisé à mettre en œuvre sur le terrain pour analyser la contribution au niveau équivalent du bruit ambiant mesuré du champ acoustique incident au point de mesure sous différents angles d'incidence. A partir de cette technique de captation, la visualisation de la localisation des énergies sonores relatives à la position de l'auditeur est alors possible dans le but de réaliser des histogrammes ou des graphes en radar représentant la densité angulaire de la pression sonore, c'est-à-dire la distribution des niveaux sonores en fonction de l'angle d'écoute, comme décrit figure 4.

3.2 Description expérimentale

Afin d'appréhender le phénomène dynamique de la spatialisation sonore au sein de cet espace, un comédien a prêté sa voix au jeu de l'expérimentation en déclamant un texte de R.M. Rilke (« Lettre à M. Capucin ») en se déplaçant dans le hall. Deux déplacements ont été successivement captés pour l'observation et la mesure : les microphones face au comédien qui effectue un parcours du fond du hall de la Maison Radieuse vers la gauche du point de réception (parcours 1 sur le plan), puis de cette position vers la sortie du hall à droite (parcours 2 sur le plan, voir figure 3). Comme le précise la procédure générale, le positionnement de l'écouter se fait dans l'axe Ox du positionnement microphonique en A (voir fléchage du symbole microphonique sur le plan) : l'écouter fait face au comédien, celui-ci se déplaçant vers la gauche, pour ensuite sortir du hall du côté droit.

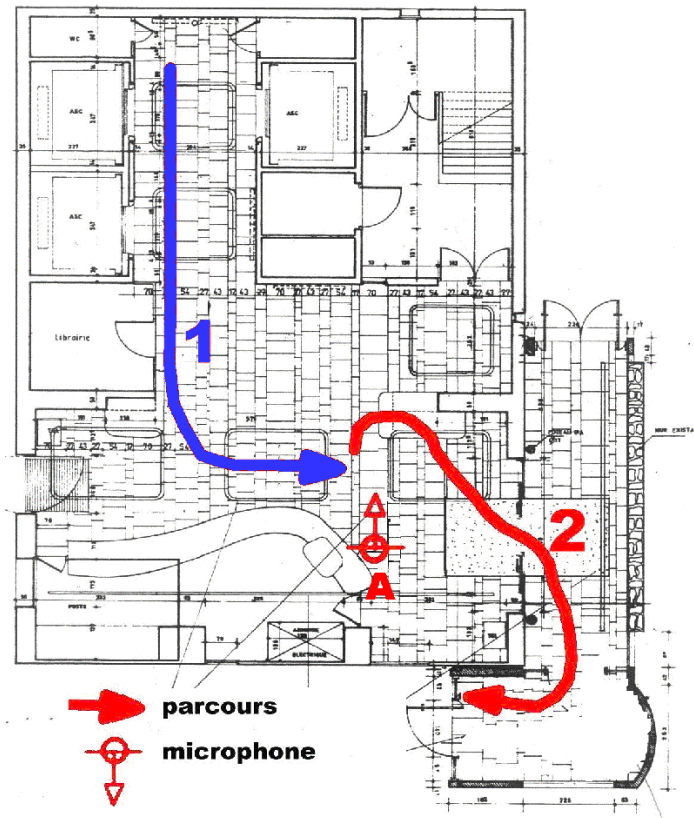


Figure 3. *Parcours du comédien et placement microphonique*

3.2.1 *Caractérisation quantitative*

Le traitement métrologique de la séquence sonore du parcours du comédien utilise l'indicateur de niveau sonore tridimensionnel Leq 3-D, nous donnant un nuage de points des pressions sonores instantanées dans les trois coordonnées de l'espace (x, y, z). Cette information quantitative « située » donne une estimation de la distribution angulaire (localisation) des niveaux, pour fournir une visualisation spatiale de la répartition de l'énergie sonore sur le plan horizontal, centrée sur l'auditeur. Cette « cartographie anthropocentrique » des niveaux sonores se présente sous la forme de « bulles » de pression sonore réparties autour de l'auditeur, l'« instant » décrit par une bulle de pression correspondant à un temps d'intégration de 186 ms de l'énergie sonore (figure 4). Les deux parcours du comédien ont chacun été divisés en six segments temporels, composés chacun de vingt « instants » énergétiques, pour une durée approximative de 4 secondes pour chacune des cartographies successives (figure 7).

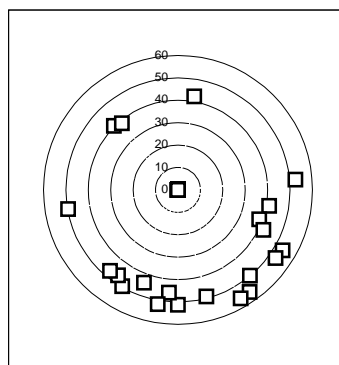


Figure 4. « Bulles » de pression sonore sur le plan horizontal, centrées sur l'auditeur, correspondant à une durée du parcours du comédien de 4 secondes

3.2.2 Caractérisation qualitative

Le questionnaire d'enquête s'est ici essentiellement axé sur le recueil du parcours sonore perçu par l'auditeur. Pour ce faire, il a été demandé aux enquêtés de schématiser ce parcours dans un quadrilatère représentant la vue en plan de l'espace d'immersion. Il est intéressant de constater figure 5 la diversité de ces représentations, le but étant d'en déduire une tendance générale de la spatialisation dynamique du locuteur durant son parcours dans le hall.

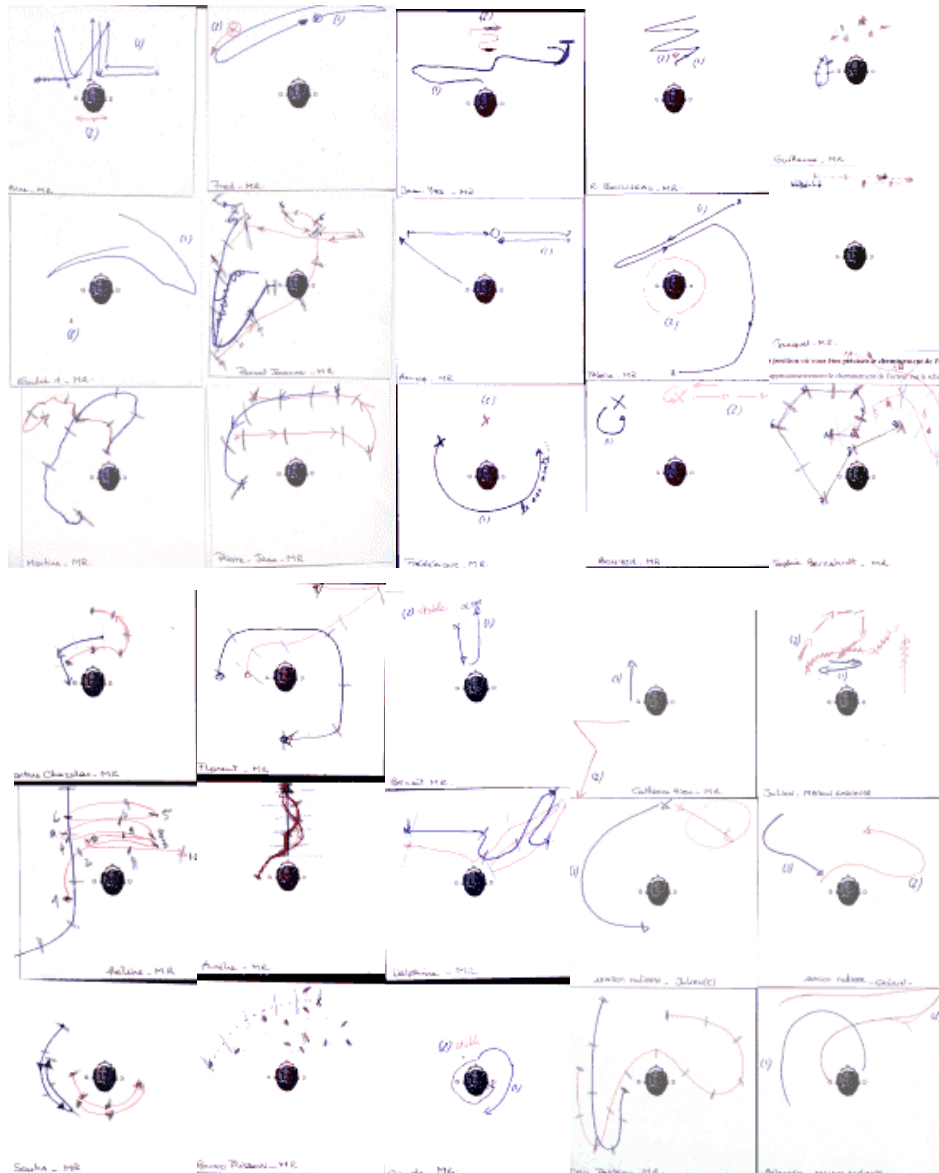


Figure 5. Localisation dynamique perçue durant les deux parcours du comédien

Le traitement de la localisation dynamique passe par une discrétisation temporelle de ces parcours schématisés lors de la passation, en émettant l'hypothèse de la proportionnalité entre longueur du segment représenté et temporalité de la séquence sonore. La volonté de ne pas réduire statistiquement les échantillons observés en une valeur unique, si représentative soit-elle (moyenne, médiane, barycentre), nous a conduit à représenter la totalité du nuage de points résultant du traitement des observations valides visibles figure 5, afin d'essayer de décrypter une tendance générale de la dynamique du parcours par un codage angle-distance des retranscriptions de trajets (figure 6), plutôt que d'essayer de recoder un « parcours moyen représentatif ».

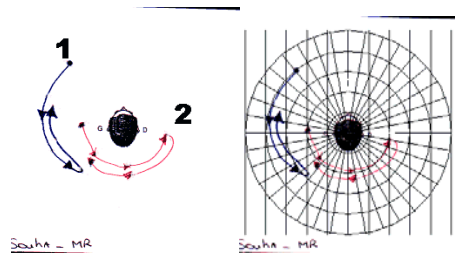


Figure 6. Codage angle-distance des retranscriptions de trajets

3.3 Croisement des données quantitatives-qualitatives

Les cartographies sous forme de nuages de points de la figure 7 confrontent localisation énergétique (bulles de pression sonore instantanée) et localisation perçue (retranscriptions des trajets) pour chaque segment temporel du parcours du récitant, d'une durée approximative de 4 secondes.

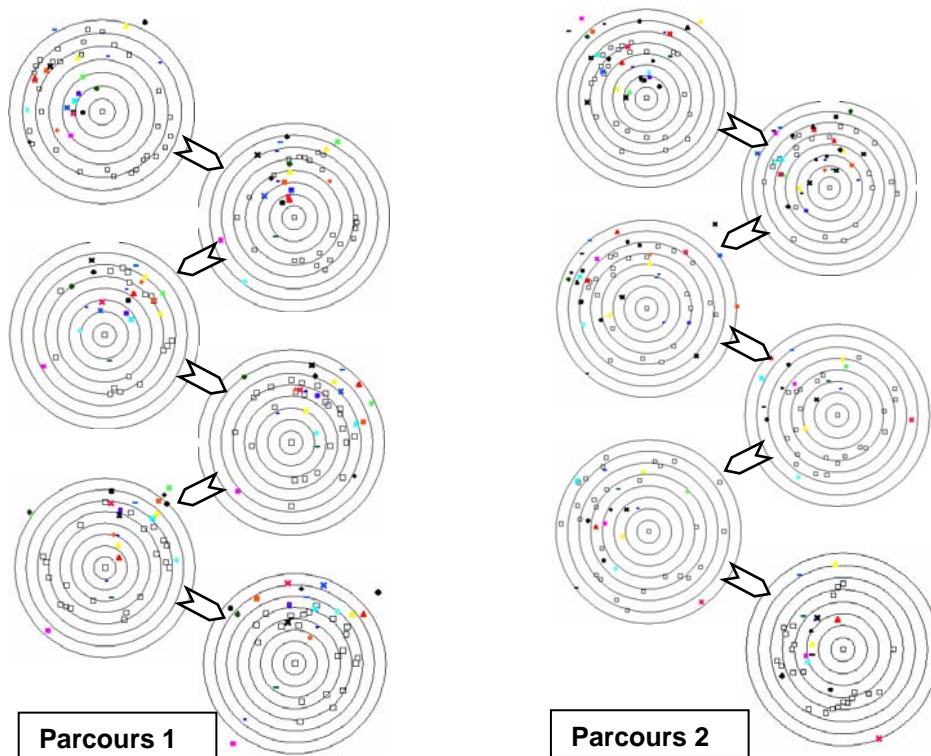


Figure 7. Résultats Comparatifs entre localisation énergétique (bulles de pression sonore instantanée = carrés blancs) et localisation perçue (retranscriptions des trajets = points).

La distribution angulaire des retranscriptions des trajets dans le plan (x,y), discrétisées selon la procédure décrite plus haut, est très fortement corrélée à la distribution angulaire des niveaux sonores correspondants. Pour le parcours 1, le nuage de points se déplace du quart avant gauche vers le quart arrière gauche, ce qui correspond à la localisation réelle du locuteur durant son parcours. De même, sur le parcours 2, la voix se déplace du quart avant gauche vers le quart avant droit, tant en ce qui concerne la localisation énergétique que la localisation perçue, ce qui est encore une fois conforme à la réalité de l'expérience.

4 Discussion

Le croisement des données météorologiques avec les résultats d'observation nous informe sur le type de méthode apte à discriminer l'influence de l'espace sur la manifestation des ambiances sonores. La difficulté de cette étude réside essentiellement dans le « positionnement anthropocentrique » des modes de captation et de passation des indicateurs relatifs aux ambiances sonores : en ce sens, il est toujours délicat de modifier les protocoles « classiques » de la mesure sans ré-étalonner et valider la manipulation à chaque pas de l'expérience.

L'échantillonnage du parcours du comédien dans le hall de la Maison Radieuse a permis de mettre au jour l'effet de transition sonore « dedans dehors » dans la continuité du déplacement d'une source sonore mobile, en caractérisant psychophysiquement cet effet par le croisement d'indicateurs physiques et perceptifs. De surcroît, la localisation dynamique du déplacement d'une source sonore mobile nous a informé sur les seuils d'échantillonnages nécessaires pour traduire un comportement global, en accord avec les données de la mesure. Ce calage méthodologique nous permettra ainsi d'étendre la retranscription psychophysique de la dynamique d'un parcours sur un corpus de sources sonores plus étendu.

La « généralisation psychophysique » de l'évaluation sensible des effets sonores de transition se fera par la construction d'une typologie des effets de transition recensés sur les sites urbains de référence. En étudiant les propriétés de « stabilité contextuelle », d'indépendance et de disjonction des effets sonores analysés (Augoyard 1991), cette typologie sera indexée par un tableau indicatif à double entrée : « indicateurs physiques spatiaux / résultats d'observations du comportement spatial d'une ambiance ». L'effet sonore devient alors une « figure » émergente du point de vue perceptif et physique, indépendante du lieu de sa manifestation et de l'auditeur qui le perçoit. Répertoriable et hiérarchisable, l'effet pourra ainsi constituer le paramètre fondateur d'une typologie spatiale *effectrice* des espaces de transition urbains, dans le but de faire évoluer la présente recherche expérimentale vers un *outil de prédiction et de maîtrise* des qualités sonores d'un projet urbain.

5 Conclusion

La philosophie du travail de recherche présenté ici est d'introduire l'homme dans la « boucle » de simulation espace urbain / processus physiques *via* l'analyse des facteurs perceptifs relatifs aux ambiances sonores (Woloszyn 2002). Plus spécifiquement, l'étude de la perception en mouvement implique une modalité dynamique de l'analyse spatio-temporelle des ambiances sonores intégrant des dimensions physiques à des grandeurs perçues par la formulation de *structures associatives émergentes* liant les caractères spatiaux, temporels et énergétiques des données utilisées dans ce travail.

Les procédures d'immersion réalisées dans le but d'obtenir ces indicateurs d'ambiance conformes au réel constituent le principal support d'analyse de la perception des ambiances, à la condition préalable de mettre en adéquation les résultats des observations (enquêtes) et les indicateurs spatiaux correspondants (mesures), comme nous l'avons confirmé dans cette recherche (Woloszyn 2003). L'apport de l'outillage d'immersion sonore dans la méthodologie d'évaluation statique et dynamique de la perception utilisée ici pour caractériser les espaces de transition urbains ou périurbains nous a permis de constater que le comportement d'un objet sonore au sein de notre univers perceptif est corréléable à des procédures raisonnées de captation et de traitement physique de l'information sonore. Un travail plus avancé sur le codage des informations perceptives (modalités d'enquête et outils de dépouillement), associé à des procédures plus fines de captation-restitution de l'information sonore spatialisée, et appliqué sur une typologie élargie de sources sonores et d'espaces de transition pourra permettre à terme d'affiner la connaissance de ces structures émergentes dans les trois dimensions de notre espace de perception.

5 Références

- Augoyard, J.-F. *Un outil interdisciplinaire : l'effet sonore*, in : La qualité sonore des espaces habités, Actes du colloque Cresson, Grenoble, 1991.
- Begault, D.R., and Erbe, T. *Multi-Channel Spatial Auditory Display for Speech Communications* Journal of the Audio Engineering Society 42, 1994, 819-826.
- Condamines, R. *Acoustique psycho-physique*, Paris, Masson, 1985, 276 p.

- Dubois, D. *Categories as acts of meaning: the case of categories in olfaction and audition*, Cognitive Science Quartely, 1, 2000, pp 35-68, <http://www.iig.uni-freiburg.de/cognition/csq>.
- Hoc, J.M. *Towards ecological validity of research in cognitive ergonomics*, Theor. Issues in Ergon. Sci., 3, 2001, pp 278-288.
- Moles, A.A. *Les sciences de l'imprécis*. Paris : Seuil, 1990, 302p.
- Slater, M. and Usoh, M. *Representations systems, perceptual position and presence in immersive virtual environments*. Presence. Vol. 2-3, MIT Press, 1993.
- Woloszyn P. *Virtual Reality as an Ambience Production Tool*, IEPM'03 – International Conference on Industrial Engineering and Production Management, Porto, 2003, 10p.
- Woloszyn, P. *From Fractal techniques to subjective quantification: towards an Urban Ambients metric ?* Landscape and Architectural Modelling Symposium, Sousse, 2002, pp1-6.
- Zwicker, E., Feldkeller, R. *Psychoacoustique*. Paris : Masson, 1981.