

INFLUENCE DE LA MODALITE VISUELLE SUR L'EVALUATION ACOUSTIQUE DE SALLES

Aurore Defays^{1,2}, Stéphane Safin¹, Alexis Billon³, Christine Decaestecker⁴, Nadine Warzée⁴

¹Ergonome, LUCID-ULg (Lab for User Cognition and Innovative Design) 1 Chemin des Chevreuils (B52), 4000 Liège – Université de Liège – Belgique ; stephane.safin@ulg.ac.be

²Assistante, LECIT-ULg (Laboratoire d'Ergonomie Cognitive et d'Intervention au Travail) 5 Bd du Rectorat (B32), 4000 Liège – Université de Liège – Belgique ; aurore.defays@ulg.ac.be

³Ph.D., INTELSIG-ULg (Laboratory for signal and Image exploitation) 10 Grande Traverse (B28), 4000 Liège – Université de Liège – Belgique ; abillon@ulg.ac.be

⁴Professeur, LISA-ULB (Laboratory of Image Synthesis and Analysis) 50 Avenue Franklin Roosevelt, 1050 Bruxelles – Université Libre de Bruxelles – Belgique ; cdecaes@ulb.ac.be nawarzee@ulb.ac.be

Résumé

Le projet AURALIAS vise à développer un environnement immersif permettant le travail coopératif entre architectes et acousticiens. Ce système associe donc un rendu sonore 3D et une vue du modèle 3D de la salle considérée. Dans ce cadre, nous nous intéressons à l'impact de l'image projetée sur le jugement subjectif de l'acoustique de la salle. 70 sujets ont été confrontés à une tâche de jugement du degré de réverbération d'un extrait sonore dans une situation contrôle (sans image) puis dans une situation expérimentale avec, pour la première partie des sujets, une image visant à soutenir le jugement (cohérente avec le son), pour la deuxième partie, une image « distractive », et pour la troisième partie, sans image (groupe témoin). Nos résultats montrent une influence positive des images évocatrices et pas d'effet des images distractrices.

Mots-clés: Ergonomie cognitive, interaction homme-machine, multimodalité, interactions multimodales, acoustique des salles.

INTRODUCTION

Cette étude se situe dans le cadre du développement d'un dispositif de réalité virtuelle dédié à l'acoustique des salles. Ce projet de recherche dénommé AURALIAS (AUDIO-VISUAL IMMERSION FOR ROOM ACOUSTICS APPLICATIONS LINKED WITH AN INTERACTIVE AURALISATION SYSTEM) vise à développer un environnement virtuel de travail coopératif entre architectes et acousticiens, associant des rendus sonore et visuel tridimensionnels [1] et permettant d'évaluer les performances acoustiques d'un espace architectural en cours de conception afin de permettre aux acteurs impliqués d'améliorer sa qualité acoustique de façon préventive, plutôt que corrective. Cet environnement permet d'afficher le modèle 3D de la salle évaluée et d'en simuler le rendu sonore en trois dimensions de manière dynamique.

Le projet, dans son ensemble, utilise une démarche centrée utilisateurs. Cette implication de l'utilisateur nous incite à avoir des réflexions sur les mécanismes cognitifs mis en œuvre dans l'évaluation de la qualité acoustique des espaces architecturaux dans le but d'obtenir le meilleur couplage entre l'utilisateur et le système. Pour savoir quels types de modèles afficher pour soutenir l'écoute dans notre studio immersif, il nous apparaît nécessaire, dans le cadre de la conception de cet environnement, de comprendre un peu plus en profondeur les liens entre les modalités visuelles et auditives. En particulier, nous essayons de comprendre en quoi une image de l'espace évalué – et ses caractéristiques – peut fournir une aide ou au contraire entraver la tâche d'écoute et de jugement. Pour ce faire, nous adoptons une approche expérimentale.

Nous abordons dans la section suivante les liens entre les modalités visuelles et auditives décrits

dans la littérature pour aboutir à nos hypothèses de recherche. Dans les sections suivantes, nous décrivons notre dispositif expérimental, nos résultats et discutons ces derniers avant de conclure.

LA MULTIMODALITE

Il est maintenant bien connu que les informations perçues par une modalité sensorielle peuvent affecter la perception et le traitement d'une autre modalité sensorielle [2][3][4][5]. La psychologie cognitive appelle ce phénomène l'intermodalité: toutes les activités de notre vie quotidienne reposent sur la participation simultanée et l'interaction de nos sens, même si nous prêtons peu d'attention à ces interactions [6]. En effet, la plupart des objets et des événements de notre environnement nécessitent la mobilisation de plusieurs sens pour être perçus mais, dans la plupart des cas, la convergence des systèmes existe peu voire pas du tout, chaque sens prélevant les informations qui lui sont propres [7][8]. Cet ensemble d'informations recueillies doit être harmonisé pour que l'organisme réponde adéquatement à la situation et perçoive l'environnement comme une unité, c'est-à-dire attribue une *signification* à ce qui est perçu [9]. Ce processus d'intégration réalisé par notre système perceptif s'appelle communément l'*intégration multisensorielle* ou *intégration multimodale* [5].

La psychologie cognitive distingue quatre situations différentes d'intermodalité: le transfert intermodal, l'intégration complémentaire, l'intégration redondante et les conflits perceptifs [6]. L'intégration ainsi réalisée par notre système perceptuel dépend de la relation temporelle unissant les différentes modalités (successivement ou simultanément) mais également des propriétés de l'objet perçues par chacune des modalités (identiques ou différentes). Dans le cas de notre projet, nous cherchons à connaître les propriétés de l'objet véhiculées par la modalité visuelle, en complément de la modalité auditive. Il s'agit de voir si ces informations sont complémentaires ou redondantes. Il s'agit aussi, en plaçant les personnes en situation de conflits perceptifs, de voir si une modalité prend le pas sur l'autre.

En ingénierie de l'Interaction Homme-Machine, une modalité d'interaction caractérise les échanges entre le système et l'utilisateur. La notion de multimodalité renvoie donc aux liens existant entre plusieurs moyens d'interaction avec le système. Dans le cas de notre espace d'immersion, les deux modalités d'interaction en sortie du système sont un écran et des hauts parleurs, qui renvoient tous deux des informations sur la salle de spectacle modélisée et sur son acoustique. Coutaz et Nigay, dans le modèle CARE, identifient quatre types de liens entre modalités dans les interfaces multimodales: l'assignation, la redondance, la complémentarité et l'équivalence [10]. En outre, Martin [11] ajoute la notion de concurrence où les modalités apportent de l'information indépendante en parallèle, simultanément, ce qui peut mener à des conflits dans le cas où ces informations indépendantes seraient contradictoires.

HYPOTHESES

Notre étude tente d'investiguer l'influence de la modalité visuelle sur une tâche d'écoute. Nous nous interrogeons donc sur les effets d'interférences potentiels qui pourraient survenir entre ces deux modalités. En d'autres mots, nous essayons d'étudier dans quelle mesure la présence d'une vue synthétisée de la salle va affecter la performance de jugement de l'acoustique réalisé par les utilisateurs de notre système sur base des simulations du rendu sonore. Quatre questions nous intéressent particulièrement :

- Les sujets non entraînés sont-ils capables de discriminer des extraits sonores aux propriétés différentes, c'est-à-dire d'évaluer la qualité acoustique d'un son ?
- Un modèle visuel cohérent avec un son, affiché simultanément à ce dernier, affecte-t-il l'identification des propriétés de ce son ?
- Un modèle visuel incohérent avec le son détériore-t-il la performance, en plaçant les sujets dans une situation de conflit perceptif, ou la modalité auditive prend-elle le pas sur la visuelle ?
- Les effets du modèle visuel sont-ils identiques suivant le profil de l'auditeur (formation en ingénierie du bâtiment) ? En effet, l'expertise joue un rôle essentiel dans les processus de

perception et de classification [12].

Ces premières hypothèses nous permettront de jauger de l'importance de la modalité visuelle pour soutenir la tâche des acousticiens et architectes dans notre système. En particulier, nous voulons investiguer le type de rapport qu'entretiennent les modalités auditives et visuelles en sortie de notre système pour la tâche visée:

- Elles peuvent être *assignées*, auquel cas seule l'information auditive sera importante pour réaliser la tâche. Les images ne devraient pas modifier la performance.
- Dans le même ordre d'idées, elles peuvent être *équivalentes*, auquel cas l'information provenant d'une seule modalité suffira à effectuer la tâche: il n'y a pas de pouvoir expressif supplémentaire induit par la combinaison de deux modalités.
- Elles peuvent être *redondantes*, auquel cas les images apportent des informations pertinentes pour la tâche et clarifient ou désambigüisent le message. Ainsi les informations auditives suffiront à mener la tâche à bien, mais les informations visuelles permettront d'améliorer la performance, si toutefois elles sont cohérentes avec le son.
- Elles peuvent être *complémentaires*, auquel cas la tâche est impossible (ou quasi-impossible) sans la modalité visuelle. La performance sera très réduite sans la présence de la modalité visuelle, et devrait être affectée par des informations contradictoires présentées dans les deux modalités.
- Elles peuvent être *concurrentes*, c'est-à-dire que la modalité visuelle apporte des informations différentes et indépendantes de l'audio. Cela pourrait améliorer la performance à la tâche si les informations sont congruentes, mais aussi la détériorer si elles sont contradictoires.

METHODOLOGIE

Pour répondre à ces questions, nous mettons en place un dispositif expérimental. Dans cette expérience, la tâche de jugement acoustique proposée aux sujets consiste à classer des extraits sonores selon une des principales dimensions perceptuelles caractérisant l'acoustique d'une salle [13], la réverbération (rattaché au critère objectif de temps de réverbération), en s'aidant ou non d'images. Nous cherchons à investiguer si la présence d'une image associée à un son facilite et/ou perturbe la performance d'une tâche d'évaluation comparative du degré de réverbération d'extraits sonores.

L'expérience se déroule via un ordinateur portable où les extraits sonores sont diffusés au casque. Une interface a été développée permettant l'affichage des consignes, la lecture des extraits sonores, la visualisation des images ainsi que l'encodage des résultats. Les consignes ont été standardisées pour limiter les biais liés à l'attitude de l'expérimentateur et ont été formulées de façon à ce qu'elles n'incitent pas trop les participants à regarder les images afin d'éviter que la tâche d'origine auditive se transforme en tâche purement visuelle (ou de classement d'images). Les cinq extraits sonores, présentés en ordre aléatoire pour chaque sujet, varient uniquement selon leur temps de réverbération et ils peuvent être réécoutés à loisir.

Chaque sujet est amené à effectuer la même tâche de classement des extraits sonores en ordre de réverbération croissante deux fois: en situation contrôle (sans image) puis en situation expérimentale (voir Tableau 1). La situation contrôle permet de vérifier qu'ils sont effectivement capables de réaliser cette tâche de jugement acoustique sur base du temps de réverbération et d'obtenir, pour chacun, une valeur de performance de référence. En ce qui concerne la condition expérimentale, les participants sont répartis en trois groupes. Dans le premier groupe (regroupant G1 et G2), l'image associée au son dans la condition expérimentale est dite « évocatrice », c'est-à-dire qu'il y a une correspondance entre la réverbération de l'extrait sonore et la réverbération évoquée par l'image. Le second groupe (G3 et G4) est confronté à des images « distractrices » visant à perturber le jugement. Les extraits sonores et les images ont été appariés aléatoirement, de sorte qu'il n'existe plus aucun lien plausible entre la réverbération du son et la résonance perçue de l'espace. La condition témoin (regroupant G5 et G6), elle aussi sans image, permet de juger de l'effet d'apprentissage éventuel. Entre la situation contrôle et la situation expérimentale, les extraits

sonores sont comparables mais différents: il s'agit du même instrument, mais l'extrait et son rythme sont différents.

0	1	2	3
Contrôle (extrait sonore 1 uniquement)	Images évocatrices (extrait sonore 2)	Images distractrices (extrait sonore 2)	Témoin (extrait sonore 2 uniquement)
G1: 10 architectes G2: 17 divers	G1: 10 architectes G2: 17 divers		
G3: 10 architectes G4: 17 divers		G3: 10 architectes G4: 17 divers	
G5: 8 architectes G6: 8 divers			G5: 8 architectes G6: 8 divers

Tableau 1: Plan expérimental

Sujets. Deux types de sujets ont été testés: des étudiants en fin de parcours en architecture (G1, G3 et G5) et des étudiants terminant également leurs études mais dans d'autres filières (G2, G4 et G6). De cette manière, nous espérons déceler des différences de sensibilité acoustique entre un public averti et non averti en matière de conception architecturale des salles.

Extraits sonores. Cinq extraits sonores de niveaux de réverbération différents ont été obtenus à partir de deux motifs sonores sur lequel différents filtres sont appliqués, soit 10 échantillons. L'auditeur doit alors juger les extraits sonores obtenus selon leur durée de réverbération et les classer dans l'ordre de réverbération croissante. Le concept de réverbération est simple à appréhender et l'association d'un lieu réverbérant avec certaines caractéristiques visuelles de l'édifice, comme sa taille ou ses revêtements, est relativement aisé. Un pré-test effectué préalablement à la tâche d'écoute a été mis en place pour valider cette assertion (voir ci-dessous).

Images. Pour obtenir cinq images évoquant une réverbération différente au travers de leurs caractéristiques visuelles, 13 images ont été classées par rang de réverbération croissante par 14 sujets. À l'analyse des résultats de ce pré-test, un certain consensus sur le classement des images apparaît. Pour affiner ce résultat, des comparaisons par paires ont été effectuées (test de Wilcoxon) permettant de sélectionner cinq images (Figure 1) différenciant les unes des autres avec un niveau de signification suffisant ($p < 0.01$).



Figure 1: Images proposées par ordre de réverbération croissante de (1) à (5).

RESULTATS

Participants. 70 participants (31 hommes et 39 femmes) ont réalisé cette tâche d'écoute et de

classement d'extraits sonores. La moyenne d'âge était de 25.1 ans avec un écart type de 5.21 ans.

Analyses. L'analyse des résultats porte sur deux variables: le temps d'exécution de la tâche et sa performance. La performance à cette tâche d'écoute est évaluée à l'aide du coefficient de corrélation de Spearman. Celui-ci exprime l'adéquation entre l'ordre théorique (les réponses correctes) et l'ordre observé (les réponses du sujet). Ce coefficient varie de -1 (inverse parfait de l'ordre correct) à +1 (ordre correct). Les différences entre groupes indépendants ont été éprouvées par des tests (non-paramétriques) de Mann-Whitney et les différences intra-participants (au sein d'un même groupe) par le test des Signes. Tous les tests ont été éprouvés au seuil de 5% en bilatéral.

Profil professionnel des sujets. Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes (architecture et autres filières): ni sur le temps d'exécution, ni sur la performance. La manipulation fréquente de plans ou des vues 3D n'a donc pas d'influence sur la qualité du jugement de l'acoustique d'une salle. Cette variable « usage des plans » n'est pas discriminante. Les deux types de publics peuvent être considérés comme équivalents et les paires de groupes (G1 et G2, G3 et G4 ainsi que G5 et G6) peuvent être fusionnés pour les analyses ultérieures. Cependant cette analyse doit être nuancée car les résultats présentés concernent des sujets relativement jeunes, majoritairement constitué d'étudiants. En ciblant des publics de professionnels, des différences pourraient peut-être apparaître entre les deux populations testées.

Profil personnel des sujets. Des données complémentaires sur les participants ont été récoltées via un questionnaire (complété avant la clôture de l'expérience) pour déterminer si plusieurs profils se dégagent. Les variables prises en compte sont: la pratique d'un instrument de musique, la fréquentation de salles de concerts ou théâtres, et enfin la familiarité avec les concerts de musique non amplifiée. La seule influence significative identifiée concerne le fait de jouer assez fréquemment d'un instrument. En effet, les participants sont significativement plus rapides pour classer les extraits lorsqu'ils font fréquemment de la musique par rapport à ceux qui en font peu ou pas ($p=0.002$). En revanche, aucun impact significatif sur la performance n'a été observé. Il semble donc que les sujets étant habitués à des tâches d'écoute, la phase d'apprentissage ne soit plus nécessaire. En outre, il est à noter que la variable « habitude de fréquentation des concerts de musique non amplifiée », sans doute très importante pour ce genre de tâche, ne donne pas de résultats. Cependant, la quasi-totalité des sujets ne sont pas des habitués, ne permettant pas de distinguer deux groupes différents pour ce facteur.

Effet des images. Une comparaison globale des performances des participants en situation évocatrice avec celles des participants placés en situation distractive ne révèle aucune différence significative. La Figure 2 présente les moyennes des scores de performance pour les groupes placés en situation évocatrice (G1+G2). Ces résultats montrent que l'addition d'images évocatrices à l'écoute des échantillons sonores a un impact positif sur la performance des sujets ($p=0.003$). La performance moyenne de ces groupes évolue de 0.52 à 0.75. En revanche, aucune amélioration ni détérioration de la performance n'est observée pour les autres groupes. La présence d'images distractives (G3+G4) n'a donc pas d'effet sur la performance ($p=0.7$) (Figure 3). Par ailleurs, la condition témoin (G5+G6) ne met en avant aucun effet d'apprentissage particulier (Figure 4).

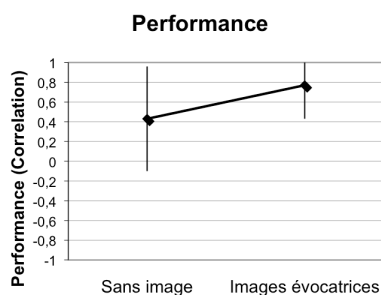


Figure 2: Moyennes et écart-types des performances des groupes placés en situation « évocatrice ».

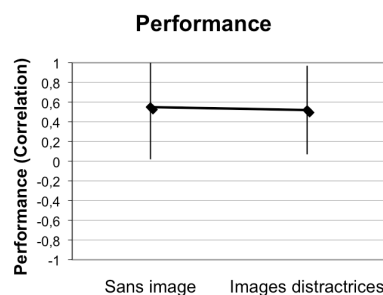


Figure 3: Moyennes et écart-types des performances des groupes placés en situation « distractive ».

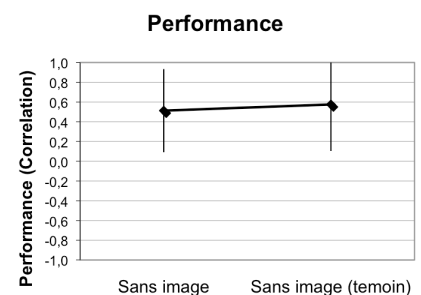


Figure 4: Moyennes et écart-types des performances des groupes « témoin ».

En plus d'obtenir de meilleures performances, les groupes confrontés à des images évocatrices ont besoin de moins d'écoutes pour effectuer leur choix. Les résultats des groupes placés en situation distractive montrent aussi que la présence d'images incite les sujets à choisir plus rapidement. Les groupes témoins indiquent que ce résultat pas dû à un effet d'apprentissage: le nombre d'écoute reste identique pour les deux parties du test. Cependant, la corrélation entre le nombre d'écoutes et la performance est non significative avec une corrélation maximale de $r < 0.31$. Le nombre d'écoutes a donc peu d'effet sur la performance.

La présence d'images a un impact sur le nombre d'écoutes mais aussi sur la durée des écoutes pour les groupes G1+G2 ($p < 0.0001$) ainsi que G3+G4 ($p = 0.0002$). Lors de la situation expérimentale, les groupes mis au contact d'images effectuent moins d'écoutes et sur un temps plus bref (de 9.5 s par échantillon sonore à 8.6 s pour G1+G2 et de 10 s à 8.3 s pour G3+G4). Cet effet n'a pas été constaté pour les groupes témoins G5+G6.

DISCUSSION

Notre projet dans sa globalité cherche à investiguer ce qu'il convient d'afficher à l'écran de notre espace de simulation. Nous cherchons à savoir quel type de représentations présenter (représentations symboliques, niveaux de rendu des textures, types d'éclairages, ...) pour favoriser la tâche d'écoute ou de jugement acoustique précédemment décrite. Cette première étude nous permet de répondre à une question préalable mais fondamentale, à savoir si une image peut interférer, dans un sens ou dans l'autre, avec le jugement acoustique.

L'apport d'un soutien visuel cohérent facilite, en performance et en rapidité, le jugement de la réverbération d'une salle. En revanche, la présence d'images incohérentes ne détériore pas cette tâche d'évaluation. Les modalités auditives et visuelles peuvent donc être qualifiées de redondantes [10]: la tâche est réalisable avec la modalité auditive uniquement, mais l'information visuelle permet de désambiguïser le message et d'apporter des informations complémentaires.

En revanche, la modalité auditive reste la modalité principale stimulée pour la tâche effectuée. La modalité visuelle peut être outrepassée si elle apporte des informations contradictoires et place le sujet en situation de conflit perceptif. Cette étude suggère donc qu'il est dans tous les cas intéressant d'afficher une image en soutien à l'évaluation auditive: dans le pire des cas, la performance ne sera pas détériorée et dans le meilleur des cas, elle pourra être améliorée.

Ces résultats suggèrent également qu'il faut privilégier des images qui apportent des informations complémentaires au son: des informations visuelles sur les matériaux utilisés dans la salle (notamment les matériaux absorbants) ainsi qu'une vision claire de la taille de l'espace sont des indices pertinents pour soutenir l'évaluation des propriétés acoustiques d'un espace. Si ces résultats sont très encourageants, ils ne permettent cependant pas encore d'investiguer de manière systématique le lien entre les caractéristiques du modèle visuel et la cohérence entre l'image et le son. Les textures, les lumières et la précision du modèle fournissent-ils des informations qui permettront aux utilisateurs de se faire une idée plus précise du comportement de la salle ? Cette question fera l'objet de nos prochaines recherches.

Il est aussi à noter que notre étude possède de nombreuses incomplétudes: le public sollicité ne représente que partiellement les utilisateurs finaux du dispositif, les conditions expérimentales ne reflètent pas réellement la complexité de la tâche attendue et les extraits sonores ne varient que sur un seul paramètre. Pour tirer des conclusions définitives, il sera nécessaire de reproduire ce genre d'expérience dans des milieux plus écologiques.

Par ailleurs, les résultats de cette étude nous invitent à une réflexion supplémentaire, liée à l'expertise des sujets. Nous n'avons pas en effet distingué d'effet de l'expertise, entre autres car le public est composé d'étudiants. Néanmoins, il serait intéressant d'étendre cette étude à une population dont l'oreille serait plus formée à l'acoustique des salles (acousticiens, musiciens, chefs d'orchestre, ingénieurs du son, etc.). L'influence des images pourrait être toute différente pour ces publics.

CONCLUSION

Cette étude est une première étape dans nos investigations liées au projet. Elle fournit des résultats intéressants pour le développement de notre système, ainsi que pour tout système multimodal visant à soutenir une tâche d'écoute. Nos prochaines expérimentations, à la suite de cette étude préalable, auront pour but d'investiguer spécifiquement la question du degré de réalisme des modèles visuels. Nous pensons que celui-ci est directement lié au sentiment d'immersion perçu dans la salle de simulation.

Cette étude, malgré ses limites, apporte un éclairage intéressant et expérimentalement fondé pour la suite du développement. Nous estimons qu'elle illustre bien la nécessité d'avoir certaines réflexions d'ordre fondamental dans des projets de nature appliquée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la région Wallonne pour son soutien financier (convention n°616416) au projet (<http://www.auralias.be>).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bos L., Embrechts J.-J. "An interactive real-time based auralization system for room acoustics implementing directional impulse response and multiple audio reproduction modules for spatialization (the AURALIAS project)", Proc. of NAG/DAGA 2009, Rotterdam, p. 1459-1462 (2009).
- [2] Delorme, A. (2003). L'organisation perceptive. In A. Delorme & M. Flückiger (Eds.), *Perception et réalité. Introduction à la psychologie des perceptions* (De Boeck Université ed., pp. 225-246).
- [3] Shams, L., Kamitani, Y., & Shimojo, S. (2004). Modulations of visual perception by sound. In G. Calvert, C. Spence & B. E. Stein (Eds.), *The Handbook of Multisensory Processes*. (pp. 27-34). Cambridge: MIT Press.
- [4] Stein B.E., Meredith M.A. "The merging of senses", MIT Press, Cambridge MA (1997).
- [5] de Gelder, B., & Bertelson, P. (2003). Multisensory integration, perception and ecological validity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(10), 460-467.
- [6] Streri, A. (2003). L'intermodalité. In A. Delorme & M. Flückiger (Eds.). *Perception et réalité. Introduction à la psychologie des perceptions*. De Boeck Université.
- [7] Bonnet, C. (1999). Perception. In J.-A. Rondal (Ed.), *Introduction à la psychologie scientifique* (pp. 187-226): LABOR.
- [8] Rock, I., & Mestre, D. (2001). Le monde de la perception. In *La perception* (pp. 1-15): De Boeck Université.
- [9] Calvert, G. A., Brammer, M. J., & Iversen, S. D. (1998). Crossmodal identification. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(7), 247-253.
- [10] J. Coutaz, L. Nigay, Les propriétés « CARE » dans les interfaces multimodales. *Actes de la conférence IHM'94*, Lille, 1994.
- [11] Martin, J.-C. (1998). TYCOON: Theoretical Framework and Software Tools for Multimodal Interfaces. In *Intelligence and Multimodality in Multimedia Interfaces*. John Lee (ed.), AAAI Press.
- [12] Reason, J. (1993). *L'erreur humaine*. Paris: Presses Universitaires de France.
- [13] Schroeder M.R., Gottlob D., Siebrasse K.F. (1974). Comparative study of european concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. *Journal Acoustical Society of America*, 56, 1192-1201.