

SONS SOLIDIENS ET ESPACES AURAUX COMPOSITES

Otso Lähdeoja
Matralab
Concordia University
Otso.lahdeoja@free.fr

RÉSUMÉ

Cet article se propose comme une exploration des possibilités offertes par le son solide pour la création musicale et intermédiatique. La technologie du son solide étant basée sur le haut-parleur électrodynamique, elle n'est pas en soi porteuse de nouveauté. L'intérêt que nous souhaitons exposer réside plutôt dans l'appropriation de cette technologie pour la création musicale. Dans ce domaine le son solide a encore été très peu utilisé, et nous y percevons un potentiel considérable. Tout en tenant compte des contraintes techniques et acoustiques du son solide, il présente la possibilité de rendre des objets ou un espace acoustiquement actifs et ainsi ramener l'espace physique dans le domaine de l'espace composable. L'utilisation de multiples sources sonores – tels qu'instruments acoustiques, haut-parleurs et son solide – nous paraît constituer une stratégie fertile, donnant lieu à des travaux artistiques expérimentaux.

1. SONS SOLIDIENS ET SURFACES VIBRANTES

Cette recherche prend comme point de départ l'utilisation du son solide comme moyen original pour créer des espaces sonores composites. Par son solide on entend ici l'induction de vibrations dans un objet ou une surface solide. La surface vibrante transfère son énergie dans l'air, résultant dans du son aérien coloré par les caractéristiques acoustiques de l'objet émetteur, d'une manière analogue au haut-parleur. Aussi, en entrant en contact physique avec la surface vibrante, on acquiert une perception haptique – audiotactile – du son. Dans notre optique, la notion du son solide est étroitement associée à celle d'un objet vibrant et produisant du son aérien.

Tout solide peut entrer en vibration et irradier du son aérien, bien que l'énergie nécessaire pour l'induction du mouvement dépend de l'inertie et de l'impédance acoustique du matériau. Cette polyvalence du son solide nous semble fertile pour la création artistique ; un large éventail d'objets et de structures peut être transformé en source sonore, produisant des effets acoustiques et perceptifs variés. On peut penser à des petits objets quotidiens vibrants – par exemple des luminaires (utilisés dans les performances du groupe « luminosonique » de Concordia University Matralab [11]), au mobilier sonore, jusqu'à des grandes surfaces telles que les fenêtres ou des murs entiers. A chaque

échelle et matériau, la perception sonore sera différente. Il s'agit d'une « scénographie » ou une « architecture » sonores où un ensemble d'objets ou de structures devient un « espace instrumental » [9]. Il serait tentant d'utiliser le terme « objet sonore » pour désigner ces structures vibrantes, mais la confusion avec l'héritage Schaefferien du terme est trop présente. Ici nous proposons d'employer le terme « objets ou structures acoustiquement actives ».

L'induction du son dans des solides est obtenue par des transducteurs acoustiques – ou « vibreurs » - qui sont essentiellement des haut-parleurs où la membrane a été remplacée par une masse. L'inertie de la masse mouvante transfère son énergie au solide et le fait vibrer. Il existe sur le marché un large panel de transducteurs aux caractéristiques et tailles variées. Les plus petits sont de la taille d'une pièce de monnaie avec des puissances d'ordre de quelques Watts, les plus puissants sont capables de faire entrer en vibration un mur en brique.

En soi ces transducteurs acoustiques n'ont rien de nouveau – le haut-parleur électrodynamique est bien connu depuis longtemps. Toutefois, cette technologie continue à être rarement utilisée en musique, bien que dans le domaine des arts plastiques sonores leur utilisation se répand actuellement [10] applications ont vu le jour dans le cinéma et le home-cinéma, ainsi que dans des recherches de sensation auditive pour malentendants par la perception audiotactile. Notre recherche est animée par l'idée que le son solide peut apporter une dimension fraîche et intéressante dans la pratique des musiques électro-acoustiques et mixtes.

1.1. Transducteurs de sons solides - défi de la qualité sonore

Le son aérien irradiant d'un objet vibrant est modélisé par les caractéristiques acoustiques de celui-ci. Le signal irradié est coloré par la réponse fréquentielle du support et ses modes de résonance. Aussi, la chaîne électroacoustique comporte le transducteur, et - pour une part à importance moindre ici – l'amplificateur. Déjà, les transducteurs en soi ne sont pas des appareils de haute-fidélité, mais en y ajoutant le régime vibratoire complexe d'une surface solide, les son résultant est une version lourdement filtrée de l'original, sans commune mesure avec les systèmes de haut-parleurs perfectionnés. Ce problème de qualité sonore constitue le plus grand frein

pour une utilisation plus répandue des sons solidiens en musique.

A l'Université de Mons, nous avons conduit des essais préliminaires pour comparer les caractéristiques acoustiques de différents transducteurs sur des plaques de verre. Ce matériau a été choisi pour son universalité, sa réponse plutôt satisfaisante au son solidien, et sa maniabilité. Une méthode de réponse impulsionnelle (RI) par balayage exponentiel de sinusoides a été utilisée. Nos tests visaient à mettre en évidence des différences entre transducteurs afin de comparer des produits sur le marché. Les résultats peuvent être consultés sur le site de l'institut Numediart [8]. D'une manière générale, les tests ont mis en évidence le type de filtrage qu'induit le couplage surface solide – transducteur au signal audio. La figure 1. montre un courbe de RI typique de plaque de verre, caractérisé par un filtrage extrême, marqué par les modes de résonance du solide. Le profil de la RI est propre à chaque solide et à chaque emplacement de transducteur sur celui-ci, mais l'ordre de complexité de la courbe est similaire d'un cas à l'autre.

1.2 Amélioration de la qualité sonore des systèmes de son solidien

Afin de pallier à cette transformation problématique du signal, nous avons implémenté un système de filtrage numérique par l'inverse de la RI mesurée en amont de l'induction du son dans le solide. L'idée étant de contrer l'effet de filtrage par un filtrage inverse afin d'obtenir une sonorité plus proche de l'original. En guise d'exemple, la figure 2. représente l'inverse de la RI de la figure 1, avec l'application d'un léger lissage avant inversion. Notre outil a recours à la librairie d'objets *HissTools Impulse Response Toolbox* (HIRT) pour max/MSP, développée par l'équipe de University of Huddersfield [6]. Cette librairie offre une implémentation de la mesure de RI par différentes méthodes ainsi qu'un filtrage multicanal par convolution, économe en puissance de calcul. Notre outil réunit les étapes de a) mesure de RI, b) inversion et lissage de la courbe, c) filtrage par convolution, en un patch simple, relativement rapide à utiliser. Les RI des sons solidiens que nous souhaitons corriger sont complexes, et le filtrage par convolution via la transformée de Fourier apporte une solution adéquate en proposant un grand nombre de bandes fréquence (selon la taille de fenêtrage *fft*). Nous visons un outil automatisé permettant de mesurer la RI de la chaîne électroacoustique¹ et en déduire un filtre de correction en « un clic », le but étant de produire des filtres correctifs pour chaque transducteur utilisé. Cet outil est en cours de développement et il sera utilisé pour la création d'une pièce pour violoncelle et espace acoustiquement actif en

¹ Les variables de la chaîne électroacoustique traitée ici : ordinateur, interface audio, transducteur, l'objet solide et l'emplacement de transducteur sur celui-ci, microphone et son placement, caractéristiques acoustiques de l'espace.

septembre 2013. Dans nos essais actuels, nous employons 20 canaux simultanés de filtrage par convolution sans problèmes liés à la puissance de calcul de l'ordinateur.

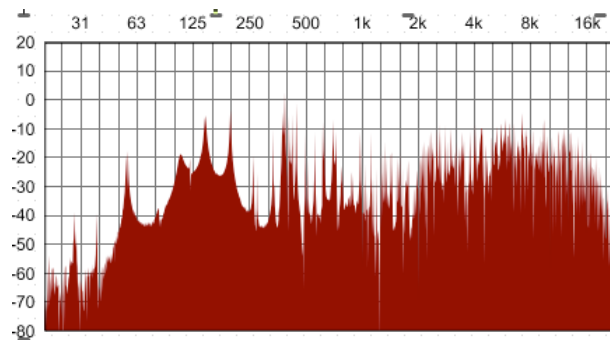


Figure 1. Courbe de réponse impulsionnelle typique d'un transducteur de son solidien sur une plaque de verre.

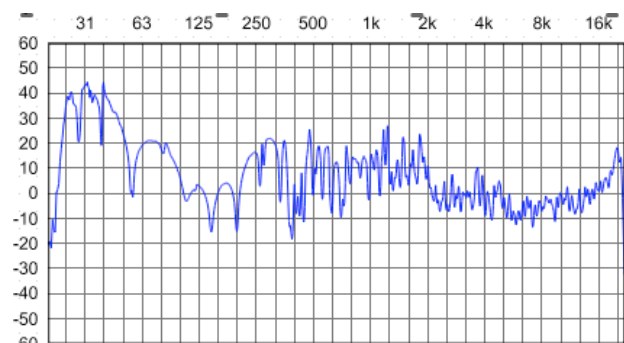


Figure 2. L'inverse de la courbe présentée dans la figure 1., avec un léger taux de lissage (iraverage~ *smoothamount* 0.02).

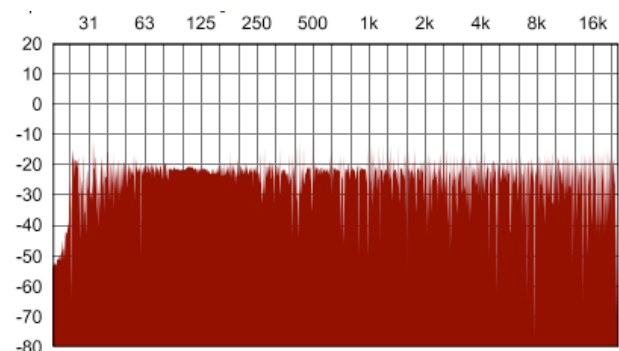


Figure 3. La réponse impulsionnelle résultante de l'application du filtre de la figure 2. sur le signal de la figure 1, filtrage par convolution.

Les résultats obtenus par le conditionnement du signal induit dans un solide sont encourageants – une nette amélioration de l'équilibre spectral du son est obtenue. On arrive à atténuer les défauts perceptifs évidents typiques des matériaux (par ex. résonance métallique, son sourd du carton ou de l'aggloméré). La figure 3. montre la réitération de la mesure de la figure 1. Avec l'application du filtre inverse sur le signal induit dans

l'objet. On remarque un aplanissement des modes de résonance les plus saillants visibles dans la figure 1. Toutefois, le caractère chaotique et complexe du filtre n'est pas complètement effacé, surtout dans l'aigu du spectre. Selon nos expériences, les paramètres clés pour arriver à des résultats satisfaisants sont le type et le placement du microphone pour la mesure de la RI, ainsi que le facteur de lissage de la courbe obtenue avant son inversion pour créer le filtre. Toutefois, les caractéristiques physiques de la surface telles que ses dimensions, sa densité, sa profondeur et sa rigidité, posent des limites évidentes aux performances sonores du matériau. Le son solidien reste tributaire du matériau qui le porte. Le travail avec le choix des matériaux eux-mêmes s'avère donc de première importance, et il peut être envisagé comme un choix compositionnel. L'utilisation du son solidien nécessite des compromis et des stratégies artistiques claires afin d'obtenir une qualité sonore satisfaisante. Nos recherches artistiques pour la construction des espaces sonores incorporant du son solidien sont détaillées ci-dessous (voir 3.1 et 4).

1.3 Orchestre d'objets acoustiquement actifs

L'induction du son dans des solides nous permet de concevoir des espaces peuplés d'objets acoustiquement actifs ou délimités par des structures architecturales sonores. Certains éléments du mobilier, les fenêtres et les murs non porteurs, trouvés *in situ*, ont des caractéristiques acoustiques satisfaisantes pour devenir sources sonores. On peut aussi fabriquer des éléments scénographiques pourvus d'une RI optimale. Il est ainsi possible de constituer non seulement un orchestre d'objets acoustiquement actifs à l'image d'un acousmonium, mais aussi une architecture sonore à large échelle.

Cette extension de l'espace sonore a pour résultat l'introduction de la construction de l'espace et de son mobilier dans le processus compositionnel. Le compositeur accède à la possibilité de travailler avec les notions de scénographie aurale et de l'architecture aurale en choisissant les matériaux des objets sonores, ainsi que leurs taille, forme et emplacement. L'espace physique de l'œuvre devient support sonore et ainsi une dimension de l'*espace composable* [5].

2. ESPACES AURAUX COMPOSITES

Au-delà des du son solidien, il nous semble intéressant d'étendre les recherches vers des *espaces aurales composites*, peuplés de différents types de sources sonores. Nous avons identifié cinq sources différentes :

- 1) Instruments acoustiques
- 2) Son solidien - surfaces vibrants d'objets acoustiquement actifs
- 3) Spatialisation - ensembles de haut-parleurs créant des sources sonores virtuelles ; stéréophonie, Ambisonie, VBAP (et d'autres systèmes de même type)

4) Haut-parleurs monophoniques (source sonore de type point localisé)

5) Haut-parleurs omnidirectionnels

Chaque type de source sonore possède une manière d'« habiter » l'espace, sa « signature » sonore. A l'oreille, on peut intuitivement distinguer entre ces quatre sources même dans le noir². Les processus en jeu dans cette identification sont celles de l'analyse du champs sonore, constamment employés par notre cognition pour la construction d'une image cohérente du monde environnant. Selon Bregman [4], l'appareil audio-perceptif a la capacité d'organiser les signaux perçus en des « flux aurales » (*auditory stream*), distinguant les identités et les localisations des événements/sources sonores. Les processus exacts sont complexes et encore mal connus, faisant l'objet d'importants travaux dans le domaine de la psychoacoustique à l'heure actuelle. Dans le cadre de cette étude, nous nommons la « signature » d'un type de source sonore son *empreinte aurale*, en lien avec le vocabulaire d'identité aurale développé par Barry Blesser et Linda-Ruth Salter [3].

De notre point de vue explicitement centré sur la composition musicale la capacité de reconnaissance des « flux aurales » est essentielle, car elle permet d'identifier le type de source sonore et créer une image mentale – une topographie – de l'espace sonore.

3. COMPOSITION DES ESPACES AURAUX

L'articulation perçue de l'espace selon les différentes sources sonores ouvre la voie à la construction d'événements qui s'y inscrivent, donc à une écriture. Un discours musical peut ainsi s'inscrire d'abord dans un effet de distance dans un champs ambisonique, y dessiner une trajectoire avant de venir se placer dans une table à côté du public (son solidien), ou dans un haut-parleur monophonique, ou encore un instrument acoustique. Tout ce développement est perceptible – donc potentiellement porteur de sens et de possibilité de narration. Le compositeur acquiert ainsi une « dimension » supplémentaire pour créer son discours. Il s'agit d'une extension de l'idée de la « mélodie de timbres » (*Klangfarbenmelodie*) vers une « mélodie d'empreintes aurales » de l'espace sonore.

Les pièces mixtes combinant instruments acoustiques et haut-parleurs sont un exemple bien connu de l'utilisation des empreintes aurales. Par exemple, la pièce *Alien Lands* de Sandeep Bhagwati comprend une diffusion ambisonique, un quatuor à cordes ainsi qu'un quatuor de percussions [2]. La localisation du son y joue un rôle essentiel, ainsi que le type de source (acoustique –

² Ce constat est le résultat de nos tests perceptifs initiaux – il n'a pas de valeur générale et cette question nécessite un approfondissement conséquent.

ambisonie). A notre avis, il est cependant possible de continuer l'exploration plus loin, afin d'inclure les deux autres types de source sonore identifiés plus haut (voir 2.).

L'empreinte aurale des sources sonores peut être traitée comme un paramètre de composition au même titre que le timbre, la durée et la hauteur. Toutefois, la notion de l'empreinte aurale correspond à un agrégat combinant la localisation ainsi que la couleur caractéristique d'une source. L'écriture des « empreintes aurales » se confond avec l'écriture spatiale

3.1. Ecritures possibles

Afin de donner une idée plus précise des possibilités d'écriture qu'offre un espace aural composite, nous présentons ici quelques exemples concrets issus de nos travaux de composition en cours.

- Contrepoints : un contrepoint d'empreintes aurales peut prendre la forme d'un dialogue de sources sonores. Par exemple, un instrument acoustique peut entrer en dialogue avec un objet ou un mur, relayé à son tour par une source virtuelle ambisonique. Plusieurs sons peuvent ainsi peupler et se mouvoir dans l'espace sonore, créant des rapports entre eux. Un vaste champs de stratégies d'écritures contrapuntiques est possible, selon la quantité de sons et des sources sonores, ainsi que leur nature.

- Scènes auditives : avec un espace aural composite, il est possible de constituer des scènes auditives – soit entièrement artificielles, soit simulant une scène qu'on trouve dans le monde réel. On peut penser à une simulation d'une pluie, actualisée par un champs ambisonique immersif, ainsi que des surfaces sonores posées par terre, produisant le son des impacts des gouttes d'eau. On peut aussi créer des champs sonores éloignés de nos références habituelles, selon une distinction de son ambiant – flux sonore qui s'en détache. Par exemple, on peut produire un champs sonore uniforme avec l'ambisonie, et y placer des flux sonores saillants issus des instruments, haut-parleurs monophoniques ou encore des objets acoustiquement actifs (son solidien).

- Proche-loin : il est possible de créer des effets dramatiques de distance et de proximité avec un espace aural composite. Un mur entier vibrant (son solidien) constitue une source sonore plane, à l'opposé de la nature ponctuelle d'un haut-parleur. Il peut ainsi produire un front d'onde acoustique (quasi) plane, donnant l'illusion d'un son provenant d'un lointain infini – ce qui est problématique avec les techniques « 3D » actuelles telles que l'ambisonie [1]. D'un autre côté, le son solidien conduit au contact avec le corps du spectateur donne une perception audiotactile, porteuse d'une impression de proximité et d'intimité. Le son d'une pièce musicale peut être acheminé *dans* les corps des spectateurs.

De nombreuses autres stratégies sont possibles avec un espace aural composite, avec d'intéressantes possibilités expressives. Il est à noter ici qu'à nos yeux, les avantages d'un tel espace ne se trouvent pas tellement dans la reproduction/simulation de champs auditifs existants dans le monde réel, mais bien dans la construction d'un espace sonore nouveau, porteur de sens poétique et de dramaturgie musicale.

4. TRAVAUX ARTISTIQUES

Notre recherche s'inscrit dans une méthodologie de recherche-crédation. Le développement technologique et théorique y est amené en un dialogue constructif avec la création artistique. Deux projets de création sont actuellement en cours au Matralab de Concordia University, et un troisième a été complété lors d'une résidence en 2012 à Maubeuge.

Un premier projet est une pièce instrumentale pour violoncelle et architecture sonore qui explore la notion de l'instrument augmenté dans un sens figuré. L'idée est de faire dialoguer un instrument soliste avec l'espace qui l'entoure, équipé de transducteurs de son solidien. L'image est celle d'un zoom effectué dans la caisse de résonance du violoncelle qui prend des proportions gigantesques de la taille d'une pièce entière. Le spectateur entre *dans* l'instrument, ou bien l'instrument s'agrandit jusqu'à comprendre l'espace entière.

Une deuxième pièce en développement est un spectacle de danse, où le *kinesis* du corps humain est mis en rapport avec le mouvement du son dans un espace aural constitué d'une diffusion ambisonique et d'une scénographie constitué d'objets et de surfaces vibrantes. La pièce effectuera une recherche dans les percepts que peuvent produire diverses juxtapositions et relations entre le corps humain et l'espace aural composite. La pièce est chorégraphié par Satu Tuomisto et produite par JoJo – Centre de Danse d'Oulu en Finlande et verra sa première en mars 2014.

La troisième pièce est une installation d'art plastique sonore nommé *Chordophones*, coproduite avec l'Agglomération de Maubeuge Val-de-Sambre. Il s'agit d'un ensemble d'instruments à corde suspendus du plafond, équipés de transducteurs de son solidien. Une composition électro-acoustique est distribuée dans les instruments, leur donnant un son – une voix – à chacun. Il en résulte un espace acoustique et visuel où le son acoustique se confond avec le son électronique, bousculant les repères habituels de perception. Une documentation audio-visuelle de la pièce est disponible sur le site <http://otsola.org/>.

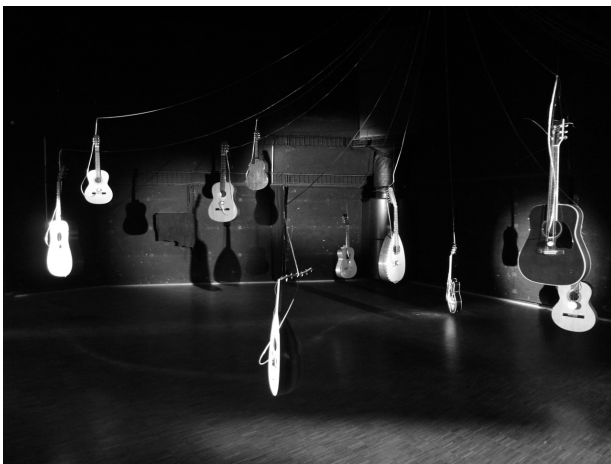


Figure 4. *Chordophones* – installation pour instruments à cordes et transducteurs de son solide

5. DEVELOPPEMENTS FUTURS

Cet article constitue un état de lieux d'un travail en cours. Un ensemble d'outils informatiques est en développement, des stratégies pour optimiser la qualité du son solide sont explorées. Un travail continu de création artistique expérimentale fournit un cadre de test pour la recherche. A l'heure actuelle, nous souhaiterions aller plus loin dans les essais perceptifs des espaces auras composites, afin de mieux saisir leurs possibilités pour la création de percepts spatiaux et timbraux. Aussi, la terminologie déjà esquissée dans cet article nécessite un approfondissement, qui n'est possible que par la pratique de ces espaces et la compréhension concrète de ce qui y est saillant. Beaucoup reste à faire, dans les trois domaines que sont la technologie, la théorie et la création. Cependant, il nous a semblé utile de communiquer les résultats actuels dans ce rapport de travail intermédiaire.

Une question centrale qui fera l'objet d'efforts supplémentaires est celle de l'écriture de l'espace aural composite. Nous sommes mus par la vision de Xenakis d'une « partition cinématique » [7] qui servirait à fixer les mouvements des sons dans l'espace, sous une forme qui se prête à être organisée par le compositeur. Cet espace est un objet composable complexe, combinant les percepts d'espace et de « flux auditif ». Sa formalisation n'est pas aisée, et par conséquent sa manipulation ne l'est non plus. Nous souhaiterions développer un outil d'écriture informatique générique, adaptable à différentes combinaisons de sources sonores. Il s'agirait d'une notation basée sur un axe temporel, permettant l'écriture précise des trajectoires des sons entre les différentes sources et localisations dans l'espace. Cet outil d'écriture serait directement lié à un *patch* de distribution dynamique de signaux audio entre les sources sonores.

6. CONCLUSION

Dans cet article nous avons présenté l'état de nos travaux dans l'utilisation du son solide en musique et en art intermédiaire. Les problèmes liés à la nature et aux technologies du son solide ont été discutés. Le filtrage par une RI inversée a été proposé comme solution pour contrer l'effet de coloration du signal par le comportement acoustique des solides. L'intérêt de la création des espaces combinant des sources sonores différentes a été argumenté et le terme « espace aural composite » introduite pour les désigner. Cet espace permet d'étendre le geste de la composition vers l'espace physique et les empreintes aurales des sources sonores. Enfin, un ensemble de travaux artistiques a été présenté, proposant des pistes pour l'appropriation des technologies et concepts discutés.

Remerciements

L'auteur souhaite remercier le Fonds Québécois pour la Nature et la Technologie ainsi que le Matralab de Concordia University pour leur soutien.

7. REFERENCES

- [1] Colafrancesco, Julien, L'ambisonie d'ordre supérieur et son appropriation par les musiciens : présentation de la bibliothèque max/msp hoa.lib, *actes des Journées d'Informatique Musicale*, Mons, 2012.
- [2] Bhagwati, Sandeep, *Alien Lands*, pour quatuor à cordes, quatuor de percussion et diffusion électroacoustique, 2011
<http://matralab.hexagram.ca/projects/?title=AlienLands>
- [3] Blesser, Barry et Salter, Linda-Ruth, *Spaces speak, are you listening?*, the MIT Press, Massachusetts, 2007.
- [4] Bregman, Albert S., *Auditory scene analysis*, the MIT Press, Massachusetts, 1990.
- [5] Carvalho, G., Formaliser la forme, *actes des Journées d'Informatique Musicale*, CICM, Université Paris 8 – MSH Paris Nord, 2005.
- [6] Harker, Alexander et Tremblay, Pierre Alexandre The HISSTools Impulse Response Toolbox: Convolution for the Masses. *Proceedings of the International Computer Music Conference*. 2012
- [7] Kanach, Sharon (Ed.), *Music and Architecture*, by Iannis Xenakis, Pendragon press, New York, pp. 144-145, 2008.
- [8] Lähdeoja, Otso et Reboursière, Loïc, Augmented window: structure-borne sound drivers for sound-emitting solid objects and surfaces, *QPSR of the numediart research program*, Vol. 4, No. 4, Décembre 2011

[9] Leitner, Bernhard, *Sound Space Manifesto*, New York, 1977
<http://www.bernhardleitner.at/texts>

[10] Pook, Lynn, *Stimuline*, installation audio-tactile.
<http://www.lynnpook.de/english/stimuline/index.htm>

[11] Stein , Julien, Stein, Max et Basanta, Adam, Music for 12 lamps,; <http://www.julianstein.net/>