HAL
open science

# Visualisation du son et réversibilité

Jean-Baptiste Thiébaut

## To cite this version:

Jean-Baptiste Thiébaut. Visualisation du son et réversibilité : l'exemple du logiciel Sonos. Journées d'Informatique Musicale, Association Française d'Informatique Musicale; Centre de recherche en Informatique et Création Musicale, Jun 2005, Saint-Denis, France. hal-03121423

**HAL Id: hal-03121423**

**https://univ-paris8.hal.science/hal-03121423**

Submitted on 26 Jan 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# VISUALISATION DU SON ET REVERSIBILITE. L'EXEMPLE DU LOGICIEL SONOS

*Jean-Baptiste Thiebaut*
CICM - Université Paris VIII
MSH Paris Nord
jbthiebaut@mshparisnord.org

**RÉSUMÉ**

Cet article présente différentes stratégies de transformation sonores utilisant la visualisation du son et des interfaces visuelles. En m'appuyant sur des recherches précédentes sur la visualisation du son [8][15][16][17], je présente plus explicitement l'importance de la visualisation comme outil intuitif ou guide pour les compositeurs, les musiciens en situation d'échange et le public. Les concepts de *visualisabilité* [8] et d'*orthothécité* [2] appliqués à la musique sont exposés. Souhaitant utiliser – en tant que compositeur – des interfaces visuelles intuitives, j'expose le concept de l'analyse réversible pour développer des interfaces de transformation sonore basées sur les représentations de ses caractéristiques. Le logiciel Sonos [17] est présenté comme exemple avec de nouvelles fonctionnalités de filtrage spectral de deux sources sonores afin d'augmenter la perception des deux. L'utilisation de la vidéo comme paramètre de contrôle est présentée. Enfin, cet article présente des perspectives de transformation sonore selon les procédés présentés.

## 1. INTRODUCTION

La visualisation est un domaine de recherche très intéressant pour la musique et la transformation sonore. Dans de nombreuses disciplines telles que la médecine, la physique ou les mathématiques, les chercheurs ont toujours tenté de mettre en image les parties cachées du corps humain, la configuration atomique ou la géométrie non euclidienne. Cela permet souvent de valider ou d'invalider la théorie et renvoie toujours des informations sur le sujet observé. En arts, la visualisation prend plusieurs formes comme la peinture, la photographie, le cinéma ou la vidéo. La visualisation est alors une vision subjective de la perception de l'artiste et de la façon dont il se recrée le monde. En sciences, la visualisation est le plus souvent un processus consensuel pour représenter des théories et des hypothèses. Ainsi, selon Arthur Miller[11]

> *"Visualization pertains to visual imagery that we abstract from phenomena that we have actually witnessed in the world of perceptions".*[1]

En science et en arts, la visualisation dépend de la perception. A la frontière de la visualisation, le concept de 'visualizability' (visualisabilité) est défini de la manière suivante [11]:

> *"the visual imagery to which we are led by the mathematics of a physical theory"*[2]

La visualisabilité du son peut être considérée comme l'efficacité de la visualisation à représenter des caractéristiques musicales selon une analyse physique. Jusqu'à présent, l'analyse ne suffit pas à représenter des paramètres musicaux. Elle permet d'extraire des valeurs exprimant des variations de paramètres. Parmi les nombreux travaux sur l'extraction de paramètres, nous pouvons citer les travaux [2], [3], [7] et [9]. L'enjeu d'une recherche sur la visualisation et la visualisabilité est de trouver un cadre (ou plusieurs) pour mapper les paramètres extraits en une visualisation formelle et intuitive qui nous conduirait à une visualisabilité des caractéristiques musicales. Une visualisation particulière que l'on appellera réversible ou *orthothétique*[1], permettrait de transformer le son visualisé en fonction de ses propriétés graphiques, qui sont elles-mêmes corrélées aux propriétés sonores. Dans [1], l'orthothécité est définie comme "ce qui pose exactement comme sens". Dans notre cas particulier, le sens est évidemment un sens musical, et la projection se fait sur un écran d'ordinateur. Si nous pouvons obtenir une représentation orthothétique de la musique, qui représente exactement le sens musical, nous pourrons revenir au son par le procédé inverse.

## 2. A PROPOS DE LA VISUALISATION

La visualisation du son prend plusieurs formes qui dépendent du procédé employé, artistique ou scientifique. Dans le cas de visualisations artistiques nous pouvons parler de visualisation de la musique plutôt que de visualisation du son, car la plupart des artistes tendent à montrer des phénomènes musicaux plutôt que des phénomènes sonores. L'image est alors un guide, un commentaire ou un support du contenu musical. Si l'on considère l'impact considérable de l'image sur la perception, une telle représentation peut avoir un effet important sur l'audience d'une œuvre. Cette prépondérance de l'image sur le son soulève d'importantes questions esthétiques et perceptives : pourquoi veut-on visualiser la musique ? Que cherche t-on à représenter ? Quelles stratégies utiliser pour visualiser la musique représenter la perception sonore ou musicale, la pensée du compositeur, des images abstraites liées aux caractéristiques sonores ou des images non corrélées telles celles que l'on trouve dans

[1] La visualisation est reliée à l'image visuelle abstraite des phénomènes dont nous avons déjà été témoins dans le monde de la perception.

[2] l'imagerie visuelle à laquelle nous sommes conduits par les mathématiques d'une théorie physique.

les clips ? Dans la plupart des cas, en raison du pouvoir de l'image, la perception visuelle prend le pas sur la perception auditive. Pour soutenir un propos musical, la problématique principale est de déterminer comment la relation entre l'image et le son augmente la perception de la musique. Bien souvent le résultat final est considéré comme indissociable tant l'image et la musique semblent liées. Pour souligner les phénomènes musicaux, il peut être utile de mapper des paramètres extraits de la bande sonore pour construire une visualisation qui serait fonction de l'évolution de ses paramètres. Les représentations formelles des phénomènes perçus peuvent mener à une meilleure compréhension du son et de la musique. Actuellement, une des représentations du son les plus répandus est la transformée de Fourier (FFT). Bien entendu, la FFT seule ne montre pas autre chose que les fréquences, l'amplitude et le temps. Grâce à de nombreux algorithmes (parmi lesquels nous retenons [2], [3], [7] et [9]) nous pouvons extraire de la FFT des paramètres comme la hauteur, la durée, les transitoires d'attaques ou le rythme. Le cadre que nous souhaitons utiliser pour élaborer une nouvelle façon de représenter le son prend en considération la typologie de Pierre Schaeffer [14] revue par Michel Chion [6] et R. Murray Schaefer [13]. Des travaux similaires ont étés initiés par Antonio de Sousa Dias à l'université Paris 8 et seront explorés dans le futur par l'auteur.

Le second intérêt de la visualisation du son à l'aide de représentations formelles est d'utiliser le résultat de l'analyse comme interface pour contrôler des caractéristiques sonores dans le temps. Dès qu'une représentation est réversible, il est possible d'utiliser cette visualisation pour transformer le son à l'aide de manipulations graphiques. Des interfaces visuelles de contrôle du son ont été explorées depuis un certain temps déjà, et nous pouvons noter parmi celles-ci l'UPIC (Unité Polyagogique Informatique du Cemamu) initiée par Iannis Xenakis et développée par des ingénieurs [10]. Le logiciel Phonogramme et Sonographe de Vincent Lesbros, Metasynth d'Eric Wenger et Audiosculpt de l'Ircam. Le concept de réversibilité qui n'est pas présent dans tous ces logiciels est le point que nous choisissons d'explorer. Lors d'un précédent travail, le logiciel Sonos [15][16][17] affiche à l'écran d'un ordinateur une transformée de Fourier à court terme (Short Time Fourier Transform, STFT) et un filtre graphique permettant de transformer graphiquement le son. Comme la STFT représente les fréquences, l'amplitude et le temps, il est possible d'agir sur chacun de ces paramètres sonores. Le but de notre recherche est de définir des interfaces graphiques réversibles qui peuvent être utilisées comme des outils de transformation sonore et d'exploration des morphologies sonores basées sur des saillances visuelles afin de produire, souhaitons-le, de la musique.

## 3. LA VISUALISATION REVERSIBLE

La visualisation en sciences est une représentation formelle de phénomènes selon des règles scientifiques. En arts, la visualisation est en relation avec l'émulation interne par l'artiste de ces phénomènes. Certains vidéastes utilisent les deux possibilités pour « illustrer » la musique. On peut également distinguer la visualisation des paramètres sonores et la représentation du son lui-même. La première aide le musicien à composer dans des environnements logiciels tandis que la seconde renvoie des informations à l'observateur en fonction de son analyse (sonagramme, forme d'onde, ondelettes,…). Jusqu'ici la visualisation a pris plusieurs formes. La forme d'onde est la première visualisation réversible du son, utilisée pour la visualisation et la manipulation. Dans la plupart des logiciels de musique actuels l'utilisateur peut redessiner graphiquement la forme d'onde, c'est-à-dire redéfinir la dynamique du son. Certaines techniques de synthèse sont basées sur la construction graphique de forme d'onde. Les autres visualisations utiles sont celles proposées dans les séquenceurs virtuels qui permettent d'organiser des évènements musicaux dans le temps. La visualisation peut aussi être utilisée comme partition, ou comme guide d'écoute avec le logiciel Acousmographe qui permet d'afficher un sonagramme et de l'annoter avec des formes graphiques [8]. La représentation dessinée en figure 1 a été faite avec l'Acousmographe.

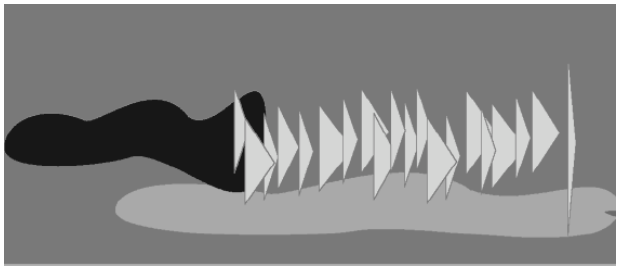

**Figure 1.** Extrait de l'annotation dans l'Acousmographe de la pièce Sud de J.-C. Risset dessinée par Pierre Couprie

Les différentes représentations du son dépendent des différentes analyses comme la forme d'onde, le sonagramme ou les ondelettes. De telles représentations renvoient des informations perceptives comme l'amplitude, la complexité du timbre et la durée, entre autres. La figure 1 montre une représentation qui renvoie des informations selon un code subjectif. À propos de l'analyse de Sud, Pierre Couprie disait : « J'ai réalisé cette représentation graphique de Sud en me concentrant sur la perception et non sur la composition. Les différentes figures ont été choisies en fonction de leur analogie avec les sons. » [5]. Ce parti pris est une stratégie possible utilisée pour illustrer un propos musical, basé sur la perception et la reconnaissance de morphologies du son.

Utiliser la visualisation pour contrôler, transformer, représenter ou organiser la musique est une pratique qui date de l'apparition de l'ordinateur. Utiliser la représentation graphique du son (et les propriétés graphiques de sa représentation) pour contrôler des effets sonores est le but recherché par de nombreux éditeurs de son, la plupart du temps en fonction de la forme d'onde. Comme la visualisation du son peut être réalisée avec de meilleurs algorithmes et montrer plus d'information

qu'auparavant (rythmes et transitoires d'attaques par exemple), nous pouvons aussi penser à des manipulations de ces représentations pour transformer le son. La première étape du logiciel Sonos a été de modifier un sonagramme fenêtré à l'aide de transformations graphiques globales telles que le flou, le zoom ou la rotation. Le principal problème rencontré alors est la taille de la fenêtre qui applique à l'effet une temporalité particulière et répétitive. Dans le cas particulier de la transformation en temps réel ce problème ne peut être résolu car le son doit être représenté avant d'être transformé. Une solution pourrait être étudiée dans un contexte hors temps réel avec un large sonagramme sur lequel nous pourrions pratiquer des transformations graphiques locales. Mais selon moi, le domaine de recherche le plus prospectif et prometteur concerne les transformations graphiques de morphologie sonore plutôt que des transformations graphiques de la FFT.

## 4. NOUVELLES FONCTIONNALITES DE SONOS

### 4.1. Contexte

Les matériaux musicaux s'enrichissent avec les techniques d'enregistrement et les manipulations logicielles. les interfaces logicielles présentant des algorithmes récents ont souvent le défaut d'être complexe car elles manipulent des paramètres de bas niveau, la plupart du temps sous forme chiffrée. Il serait utile de proposer des interfaces plus simples de transformation sonore et de production musicale, pour les compositeurs et pour les auditeurs. L'exemple de Sonos décrit en [15] montre comment agir graphiquement sur les fréquences et l'amplitude, mais également comment utiliser les propriétés de l'image (dans ce cas les plans Rouge Vert Bleu) pour définir un délai et une réinjection spectrales. Le résultat est une réverbération spectrale qui a été utilisée au théâtre du Châtelet à Paris avec le baryton suédois David Johansson lors d'une lecture autour de l'opéra *Angels in America* de Peter Eötvös en novembre 2004. Sonos est aussi utilisé pour la pièce mixte 'charley' de l'auteur avec le percussionniste français Ravi Balle.

### 4.2. Filtrage graphique exclusif

En confrontant la technique à une utilisation pratique et à des désirs esthétiques, j'ai développé de nouvelles fonctionnalités de Sonos de mixage temps réel de deux sources sonores à l'aide d'un filtre graphique exclusif. En tant que compositeur, j'utilise souvent le filtrage fréquentiel entre les sources sonores pour éviter l'effet de masquage [12] et pour clarifier l'accumulation des sons. Basé sur les matrices de transfert utilisées dans Sonos, le filtre exclusif contrôle le filtrage fréquentiel de deux sources sonores. Une interface graphique de dessin de 512 points en ordonnée représente la fréquence, et est large d'un point, c'est-à-dire la taille d'un vecteur d'une transformée de Fourier à court terme (STFT). Ce point unique est étiré pour une meilleure utilisation et peut être coloré avec une valeur 8 bits entre 0 et 1. Chaque valeur multiplie l'amplitude d'un bin de la STFT du premier son pendant que son opposée (c'est-à-dire 1-valeur) multiplie l'amplitude du bin de la STFT du second son.

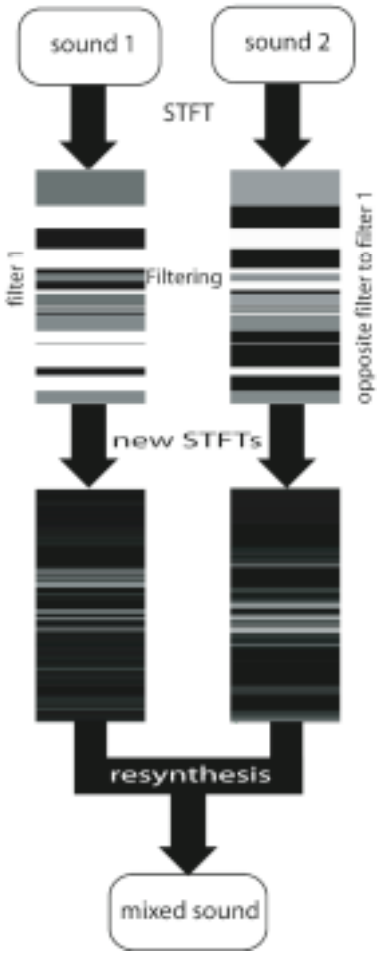


**Figure 2.** Schéma du filtrage fréquentiel exclusif dans Sonos

Dans la figure 2 on peut voir que le filtrage appliqué au son de droite est le 'négatif' du filtrage appliqué au son de gauche. Les nouvelles STFTs qui seront synthétisés sont complémentaires. Cette façon de mixer deux sources sonores est utile pour augmenter les caractéristiques de chaque son (principalement la fréquence). De plus, le mixage de deux sources sonores ne saturera sur aucune fréquence – en admettant qu'aucun des signaux d'origine n'est saturé – car la STFT résultante est composée d'une proportion de chaque son et ne peut excéder l'intensité maximale de l'un des sons. Comme dans la version précédente de Sonos, ce procédé est temps réel avec une latence d'un vecteur de STFT, c'est-à-dire 11.6 ms (voir [16]). La phase obtenue par l'analyse des sons est réutilisée telle quelle lors de la synthèse.

Des programmes existent comme le programme Max/MSP appelé 'Forbidden Planet' (donné en exemple avec l'environnement Max) dans lequel on peut

également filtrer un son seul par sa STFT. Mais le but de Sonos est d'utiliser les plans de couleur RVB et toutes les possibilités graphiques, comme la vidéo, pour développer de nouvelles stratégies de transformation sonore.

### 4.3. Développements futurs

Il y a deux aspects principaux que je souhaite explorer avec Sonos. Le premier est d'utiliser les plans vert et bleus dans le contexte du filtrage exclusif pour augmenter les possibilités d'interactions entre les deux sources sonores. Des effets adaptatifs [18] pourront être utilisés pour donner la possibilité à une source d'intervenir sur les paramètres de l'autre en concevant pour chaque fréquence un certain comportement. De tels développements seront expérimentés dans le projet pplato [19] avec le guitariste finnois Otso Lähdeoja et le percussionniste français Ravi Balle.

Le second but recherché dans Sonos est d'utiliser des stratégies vidéos pour contrôler des paramètres dans le temps. Il est actuellement possible avec Sonos [15] d'utiliser une vidéo pour contrôler le filtre. Comme le filtre est une image d'un pixel sur 512 pixels, on peut utiliser une vidéo pour remplacer le filtre. Les similarités ontologiques entre la vidéo et la musique sont que les deux évoluent dans le temps. Le contrôle du son par la vidéo peut être considéré comme l'automation d'une grande quantité de données, (dans ce cas, il s'agit de 3 X 512 valeurs, potentiellement 4 avec la couche alpha). Grâce à Jitter (de Cycling'74), il est actuellement possible de transformer la vidéo dans la temps. Un problème actuel dans le domaine de l'interaction entre instrumentistes et ordinateurs est que le *computerist* n'a pas de partition qui lui rappelle ce qu'il doit faire. C'est un problème pour l'archivage de pièces musicales et pour être capable de les reproduire. Dans Sonos, l'interaction du *computerist* avec l'interface graphique pourra être enregistrée dans un fichier vidéo en temps réel. Ainsi la vidéo devient une sorte partition très précise de ce qui a été fait et quand cela est arrivé dans le temps. Cela ouvre dans ce contexte un vaste potentiel de recherches.

## 5. CONCLUSION

Les concepts exposés dans la première partie de cet article – visualisabilité, orthothécité et réversibilité – émergent de travaux de recherches du Centre de recherches Informatique et Création Musical (CICM) à Paris avec Benoît Courribet et Anne Sedes. Dans le contexte de la visualisation du sonore et de la sonification du visuel, nous souhaitons explorer ces concepts provenant de la physique, de la philosophie et des mathématiques car ils avoisinent nos propres préoccupations musicales. Les idées dérivées de ces concepts qui seront approfondies sont la représentation des morphologies du son ou la modification graphique de la représentation pour transformer du son en fonction de ses morphologies, notamment au sein de mon travail de thèse.

Le logiciel Sonos est un travail en cours et a pour but de produire des résultats validés par des critères esthétiques. La version actuelle est utilisée par l'auteur dans le contexte musical de l'improvisation et de la composition. De futurs travaux s'attacheront à développer l'utilisation de la vidéo comme contrôleur musical. Les interfaces de contrôles du son dans l'espace, développés dans [16] seront explorées.

Les musiques électroacoustique, électronique et contemporaine sont très liées à une approche perceptive et sensible du son, à une écoute immergée dans les micros caractéristiques (morphologies) du son en terme de fréquence, temps et volume parmi d'autres. La visualisation de ces caractéristiques pourrait être très utile pour accompagner l'auditeur à appréhender le sonore et le musicale. De plus, la visualisation pilotée par le son pourrait aider les musiciens dans un contexte de musique collaborative.

## 6. REFERENCES


[1] Bachimont, B. (1999). De "l'hypertexte à l'hypotexte : les parcours de la mémoire documentaire. In Technologies, Idéologies, Pratiques".in *Mémoire de la technique et techniques de la mémoire*, sous la direction de Charles Lenay et Véronique Havelange), 195-225.

[2] Bello, J.-P. Monti G. and Sandler M. « Techniques for automatic music transcription », in proceedings of International Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR 2000)

[3] Brossier, P., Bello J.-P. and Plumbley. M. D., "Real-time temporal segmentation of note objects in music signals", in Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2004), Miami, Florida, USA, November 1-6, 2004.

[4] Bryan-Kinns, N., Healey, P., Thirlwell, M., & Leach, J. (2003a). "Designing for Group Creativity". Supplementary Proceedings of HCI International 2003.

[5] Castanet, P.-A.O.Meston, J.C.Risset, D.Teruggi, P.Couprie. 2001. *Portrait polychrome n° 2, Jean-Claude Risset*. Paris : INA- CDMC

[6] Chion, M. 1995. *Guide des objets sonores*. Paris : Buchet Chastel.

[7] Gerhard, D.; D. H. Hepting and M. McKague (2004) "Exploration of the correspondence between visual and acoustic parameter spaces". Proceedings of the 2004 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME04), Hamamatsu, Japan, pp 96-99.

[8] Geslin, Y.; A. Lefevre. "Sound and musical representation : the acousmographe software". Proceedings of the 2004 International Computer Music Conference. Miami: International Computer Music Association.

[9] Jehan, T. « Perceptual segment clustering for music description and time-axis redundancy cancellation » in proceedings of International Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR 2004)

[10] Marino, G.; Serra, M-H and Raczinski, J-M., "The UPIC System: Origins and Innovations",

Perspectives of New Music, vol. 31, no. 1, 1993, pp 258-269

[11] Miller, Arthur I., 1996. *Insight of Genius*. Cambridge : The MIT Press.

[12] Miller, D. *Language and communication*, McGraw-Hill, NY, 1963, pp 54-55.

[13] Schaefer, R. Murray. 1977. *The soundscape.Our Sonic Environment and the Tuning of the World.* Vermont : Destiny Books, One Park Street, Rochester.

[14] Schaeffer, P. 1966. *Traité des objets musicaux*. Paris : Editions du seuil.

[15] Sedes, A; Courribet B. et Thiebaut JB. "From the visualization of sound to real-time sonification : different prototypes in the Max/MSP/jitter environment." in Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2004), Miami, Florida, USA, November 1-6, 2004.

[16] Sedes A., Courribet B. and Thiebaut J.-B.: "Egosound, an egocentric interactive and realtime approach of sound space", in *Proceedings of the 6th International Conference of Digital Audio Effects* DAFX-03, London, 2003.

[17] Thiebaut, J-B. 2004. Sonos. Logiciel.

[18] Verfaille, V., 2003, *Effets Audionumériques Adaptatifs: Théorie, Mise en Oeuvre et Applications en Création Musicale Numérique*, these de doctorat, Université AixMarseille 88

[19] http://pplato.free.fr/