

SONIFICATION DES DONNEES – NOUVELLE VOIE DANS LA COMPREHENSION DES DONNEES (ENSEIGNEMENT ET PROJET TUTEUR A L'IUT DE BOURGES - DEPARTEMENT DES MESURES PHYSIQUES)

Jean-Pierre Martin

IUT de Bourges

Département Mesures Physiques
jmartin@bourges.univ-orleans.fr

Alexander Mihalic

IUT de Bourges

Département Mesures Physiques
mihalic@free.fr

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années nous travaillons à l'IUT de Bourges au Département des Mesures Physiques sur divers projets de sonification des données. La sonification des données est une nouvelle discipline de compréhension des données scientifiques – au lieu d'une observation visuelle, il s'agit de transformer les données en paramètres sonores et auditifs. Dans ce but, nous avons mis en place, dans le département, des cours de sonification avec, comme support, des applications développées sous Max/MSP. Les applications qui transforment les données mesurées en paramètres sonores fonctionnent comme supports des cours et appareils de mesure virtuels. Parallèlement aux cours, le projet tutoré de cette année – aquarium sonore – a comme ambition d'être un projet interdisciplinaire, réunissant des étudiants des domaines scientifiques et artistiques.

1. INTRODUCTION

Depuis quelques dizaines d'années, le son prend une place particulière dans la représentation des données scientifiques. Fruit du développement des ordinateurs et de la facilité logicielle, le son devient un vecteur d'information à part dans la compréhension du monde qui nous entoure.

D'un côté l'automatisation de la collecte des données sous forme numérique et de l'autre leur traitement massif par des logiciels dédiés, créent une nouvelle forme de présentation des données – la sonification. La sonification est l'utilisation du son dans un but de perception auditive des données scientifiques. C'est la représentation acoustique des données mesurées.

La sonification est une voie complémentaire à la visualisation des données. Elle permet à l'observateur d'un événement physique d'entendre les changements des valeurs mesurées au lieu de les voir [1].

La raison d'une telle démarche est l'accumulation exponentielle des données mesurées automatiquement par les capteurs ou stockées sur les disques durs. De ce fait, l'accès à l'information et sa compréhension deviennent de plus en plus complexes pour l'observateur. Une des possibilités d'appréhender cette complexité est de changer la manière de percevoir

l'information en utilisant un autre sens que la vue : l'ouïe.

La sonification puise historiquement une partie de son expérience dans l'interrogation de l'homme sur la connaissance et les possibilités de perception du réel à travers le son. Ceci depuis l'Antiquité et Pythagore [2] en passant par Kepler [3] avec le calcul des sons produits par les planètes, jusqu'aujourd'hui avec les scientifiques utilisant le son pour entendre les données dans les domaines de la biologie [4], de la volcanologie [5] ou de la médecine [6]. L'expérience de la sonification puise une autre partie de ses sources dans l'application des données, concepts, modèles et algorithmes dans la composition musicale. Parmi de nombreux compositeurs citons son représentant le plus reconnu : Iannis Xenakis [7]. L'exemple de sa composition *Achorripsis* démontre l'intérêt des musicologues ainsi que des scientifiques pour les possibilités d'application des modèles et données extra-musicaux dans la composition [8].

Dans le présent l'article nous allons présenter la mise en place de l'enseignement de la sonification à l'IUT de Bourges et les outils logiciels que nous développons dans le cadre des cours, et enfin, les projets menés dans le cadre de cet enseignement, dont le dernier en date a pour ambition de réunir les étudiants des domaines scientifiques et artistiques pour créer une installation sonore et visuelle avec la participation de trois institutions à Bourges – IUT, Beaux Arts et Conservatoire de Musique.

2. COURS DE SONIFICATION A L'IUT DE BOURGES

La formation au Département Mesures Physiques de l'IUT de Bourges est assurée sur deux années. Elle conduit à l'obtention du Diplôme Universitaire de Technologie (DUT), spécialité Mesures Physiques. Le chef de département actuel est Jean Pierre Martin. Les enseignements comportent des cours (20%), des travaux dirigés (40%) et des travaux pratiques (40%). Ils sont complétés par des projets tutorés et un stage (10 semaines) en entreprise¹.

¹Pour plus d'informations voir le site web <http://www.bourges.univ-orleans.fr/iut/mp/>.

Les cours de sonification sont programmés pendant le troisième semestre (première moitié de la deuxième année d'études), pour environ une quarantaine d'étudiants. Les étudiants sont divisés en groupes d'une dizaine d'élèves et les cours sont donnés une fois par semaine dans la salle d'informatique. Chaque étudiant a à sa disposition un PC avec un logiciel comme support de cours. Le projet tutoré quant à lui est mené par deux à trois étudiants tout au long de la deuxième année.

3. LOGICIELS UTILISES POUR LES COURS

Chaque cours s'appuie sur une application développée dans l'environnement Max/MSP. Les applications sont en quelque sorte des appareils de mesures sonores virtuels.

3.1. Logiciels d'apprentissage sonore

Il existe ainsi cinq applications dont les buts sont : analyse sonore, synthèse (additive, modulation de fréquence, modulation d'amplitude) et étude des filtres. Les étudiants travaillent ainsi pour s'approprier le son en l'analysant et en le synthétisant tout en gardant la méthode de comparaison et le lien visuel – auditif.

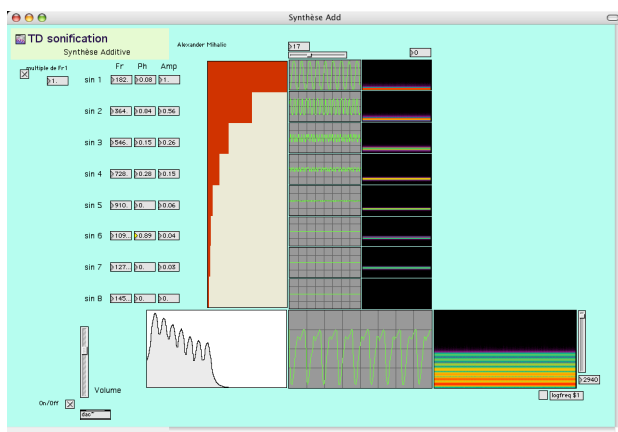


Figure 1. Application pour l'étude de la synthèse additive.

Chaque étudiant fait l'observation auditive et visuelle de l'expérience, note les résultats et en donne le rapport à la fin du cours.

Tous les logiciels gardent une structure unifiée de l'interface utilisateur. La partie haute est la partie des sources et la partie basse les sorties, avec les mêmes représentations visuelles. Dans le cas de l'application de sonification, la partie en haut à droite contient les paramètres de sonification.

3.2. Logiciels de sonification

Enfin les deux dernières applications, utilisées à la fin des cours, sont les applications pour la sonification des données proprement dites. Les étudiants manipulent et étudient les aspects sonores des données provenant de leur propre expérience en première année et d'une collecte de données sur internet directement pendant les cours.

3.2.1. Synthèse sonore basée sur les données mesurées par le diffractomètre.

Cette application transforme les données obtenues par un diffractomètre vers les « empreintes sonores » générées par la synthèse additive. Les données sont obtenues par les étudiants eux-mêmes, pendant la première année de leur cursus. L'appareil permet d'obtenir la composition atomique de l'échantillon de la matière observé. Le résultat se présente sous forme d'un tableau contenant l'angle et la valeur en pourcentage ou, plus simplement, sous forme d'un graphique avec les pics correspondant aux composants de l'échantillon.

L'étudiant remplit la partie « données mesurées ». C'est le tableau avec l'angle et la valeur correspondante mesurée (exprimée en pourcentage). L'application comporte trois mémoires pour stocker les données des trois échantillons. Il est possible ensuite de sauvegarder et relire les fichiers sur le disque dur. La partie « données sonores » calcule automatiquement les valeurs de fréquence et d'amplitude pour chaque oscillateur. La relation entre les données est la suivante : l'angle correspond à la fréquence et le pourcentage à l'amplitude.

L'application contient 20 oscillateurs et une partie des paramètres de sonification – mapping des fréquences en entrée et en sortie et les changements de transformation linéaire, exponentielle ou logarithmique pour les amplitudes des oscillateurs. L'étudiant, en archivant les données, obtient une base de données sonores où chaque échantillon sonore comporte un timbre spécifique correspondant à un échantillon de la matière. L'application donne ainsi un résultat sonore intemporel – le timbre



Figure 2. Application « mapping » - transformation des données par la synthèse additive.

3.2.2 Représentation sonore des données météorologiques.

A la différence du procédé précédent, cette application exprime l'évolution temporelle des données. Les données de températures sont collectées et mises en ligne par une station météo amateur disponible sur

internet². Les données sont transcrites par les étudiants directement dans un tableau de trente dates – une valeur de température pour une date, pendant un mois. Les valeurs sont visibles sous forme d'un graphe qui est en fait un séquenceur de données avec commandes de lecture, pause, mise en boucle et vitesse.

Les données, ainsi lues dans le temps, sont envoyées vers les paramètres suivants : fréquence de la synthèse, fréquence de coupure du filtre, index de modulation de la synthèse FM et paramètres de fréquence de filtre. L'étudiant choisit la source sonore (synthèse, bruit blanc) et règle ensuite les paramètres de sonification qui sont les mis au point de l'étendu de chacun des paramètres de la synthèse.

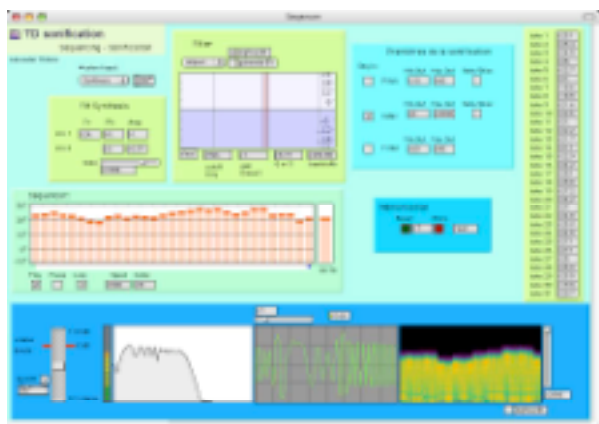


Figure 3. Application pour la transformation temporelle des données.

4. PROJET TUTEUR – « AQUARIUM SONORE »

« Aquarium sonore » est la sonification des données issues des mesures de température dans un liquide. Le projet consiste à créer une installation physique permettant de « plonger » virtuellement l'observateur – le scientifique qui mesure les données ou le visiteur d'une exposition – dans l'objet observé.

Le projet « Aquarium Sonore » s'appuie sur la possibilité de mettre en commun le savoir-faire, les connaissances scientifiques et artistiques et enfin le matériel et les lieux de trois institutions à Bourges : Département Mesures Physiques de l'IUT, École nationale Supérieure d'Art et Conservatoire de Musique et de Danse.

Cette collaboration se base sur la constitution d'un groupe de travail formé par des étudiants et des enseignants de ces trois institutions.

Le départ du projet est le projet tutoré nommé « Aquarium Sonore ». Ce projet a été mis en place l'année dernière au département Mesures Physiques de l'IUT de Bourges dans le cadre du cours de sonification des données. Son objectif est l'observation auditive tridimensionnelle de l'évolution de la température dans un liquide. Le projet est cette année mené par deux étudiants : Jordan Roux et Romain Dujour.

²Le site est disponible à l'adresse <http://www.meteo-oise.fr/>.

C'est une expérience de transformation des données thermiques en paramètres sonores. Le but du projet est l'immersion virtuelle de l'observateur dans l'objet observé en mesurant les températures dans un bac rempli d'eau à l'aide de huit capteurs de température.

4.1. Expérience

4.1.1. Description

Nous voulons mesurer les températures dans un bac rempli d'eau à l'aide de huit capteurs de température.

Le procédé « classique » d'un observateur est de mesurer les températures dans le récipient et de les visualiser par la suite sur des graphes. Ceci comporte un inconvénient majeur : la lecture des graphes est une projection d'un volume dans un plan. Un simple passage d'une vague du liquide chaud va être décomposé entre plusieurs graphiques placés l'un au-dessus de l'autre ou superposés avec 8 lignes de températures dans un seul graphique. Si l'exactitude est bien conservée, l'illisibilité d'un tel procédé est évidente. Le projet propose une autre approche par laquelle l'observateur perçoit directement les changements de température via les changements sonores.

Le récipient avec le liquide est situé au milieu de la pièce. Le récipient est équipé de 8 capteurs de température, un dans chaque coin. La pièce elle-même est équipée de 8 haut-parleurs, qui sont l'image des capteurs à l'intérieur du bac. Chaque haut-parleur est situé dans un coin de la pièce.

Ainsi, par la transformation géométrique d'homothétie, chaque capteur correspond à un haut-parleur. La pièce dans laquelle se situe l'observateur est une image du récipient contenant le liquide situé à l'intérieur de cette pièce même. Les changements sonores diffusés par les haut-parleurs correspondent aux changements de température mesurés par les capteurs correspondants.

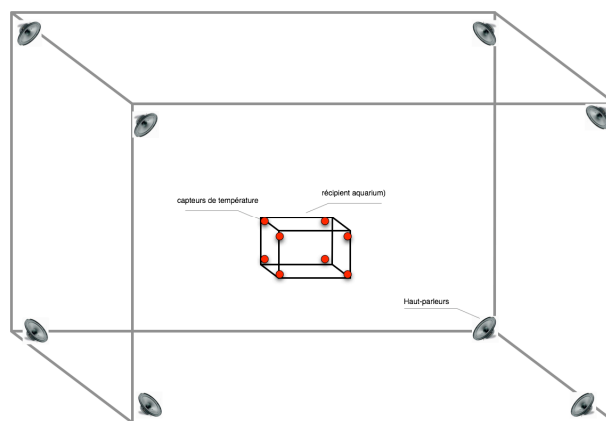


Figure 4. Schéma simplifié de l'installation « aquarium sonore ».

De cette manière, l'observateur se trouve plongé dans le récipient. Il peut observer virtuellement - par les changements des paramètres sonores - les changements de température à l'intérieur du récipient, endroit qui lui est physiquement inaccessible.

4.1.2. Réalisation technique

Nous avons réalisé les premiers tests d'acquisition des données des températures au mois de janvier. Le montage consiste à réaliser le hardware (principalement le circuit électronique d'amplification du signal des capteurs de température) et le software (le logiciel de sonification) de l'installation.

Le capteur de température utilisé est le LM35 DZ. Ses caractéristiques principales sont les suivantes : Plage de la tension d'alimentation - 0,2 Volt à 35 Volts Sensibilité- 10 mV / °C ; Précision +/- 0,5°C (à 25°C). Le signal est décalé et amplifié pour pouvoir régler les limites des entrées des températures et contrôler ainsi l'étendu du signal envoyé vers le logiciel de sonification.

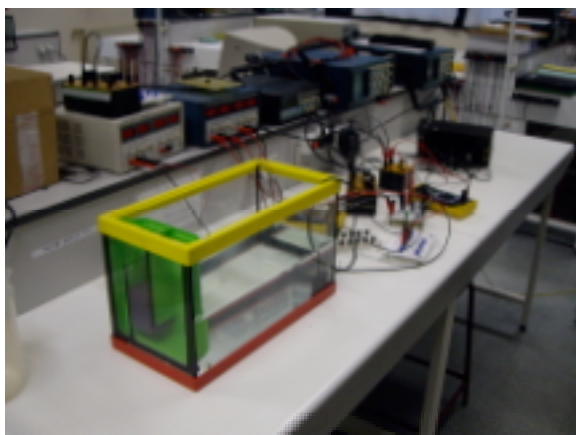


Figure 5. Les premiers tests des capteurs de température et des circuits électroniques.

Le signal est ensuite converti par l'interface analogique numérique Doepfler et envoyé vers l'ordinateur via l'interface MIDISPORT 4x4. Le logiciel de sonification sera programmé en Max/MSP entre les mois de mars et mai, en utilisant en partie les applications utilisées pendant les cours. Le résultat consiste en un signal audio envoyé sur les huit sorties de l'interface audio ESI ESP1010.

4.2. Collaboration entre les institutions

Le lien avec les partenaires se joue naturellement sur les capacités de chacun à utiliser les résultats de l'expérience en apportant son propre savoir-faire artistique ou scientifique.

Le groupe de travail est constitué d'un élève de chaque institut, travaillant avec son enseignant et coordonné par Alexander Mihalic du Département Mesures Physiques de l'IUT.

La réalisation est planifiée en deux étapes :

1 – collaboration technique, assemblage et présentation du prototype de l'aquarium pour les partenaires dans les locaux des Beaux Arts au mois de juin de cette année

2 – création d'une installation aboutie à la fin de l'année scolaire 2009-10

Voici les éléments de participation de chaque partenaire :

IUT – Département Mesures Physiques

- Construction de l'installation avec les capteurs.
- Montage des circuits électroniques et interfaçage analogique/numérique.
- Conversion des valeurs des températures en données MIDI, exploitées par la suite sur le PC avec le logiciel Max/MSP.
- Programmation d'une application de sonification et conversion des données.
- Conversion numérique/analogique et 8 sorties sur les haut-parleurs amplifiés. Le résultat consiste en un changement simple des paramètres sonores diffusés par les haut-parleurs.
- Établissement d'un protocole de connexion et échange des données pouvant par la suite être exploité par les partenaires.

Ceci concerne deux étudiants dans le cadre des projets tutorés de deuxième année, et par la suite, pour la finalisation de l'installation, un étudiant dans le cadre du stage de fin de deuxième année.

École nationale Supérieure d'Art de Bourges

- Exploitation des données fournies par l'application créée à l'IUT suivant le projet personnel de l'étudiant. Il peut s'agir de rendre visuels les changements des températures à l'intérieur du liquide en injectant différents produits colorants, créer une projection vidéo en utilisant les données etc.

Conservatoire de Musique et de Danse

Collaboration sous deux formes :

- création de matériaux sonores utilisables par l'application programmée à l'IUT
- création d'une application musicale qui communique avec l'application programmée à l'IUT. Il peut s'agir de séquences musicales dont les paramètres sont modifiés, suite aux changements de température.

5. CONCLUSION

Le projet est pour le moment trop récent pour pouvoir tirer des conclusions sur l'instrument scientifique fabriqué à l'IUT, sur l'installation et sur le projet artistique, qui prennent forme en ce moment. Nous sommes en train de construire le prototype de l'instrument de sonification dont les premiers résultats sont très encourageants. Après quelques problèmes de mise en place des circuits électriques, nous avons obtenu des signaux corrects en entrée du logiciel Max/MSP, pour l'exploitation sonore. Le prototype est maintenant fonctionnel pour les premiers tests et la détermination du mapping des paramètres des données mesurées, qui utilise les algorithmes de sonification inclus dans les logiciels utilisés pour les cours.

L'enseignement de la sonification à l'IUT de Bourges et les projets interdisciplinaires comme « aquarium sonore », permettent ainsi de changer les rapports et les relations entre les institutions scientifiques et artistiques de la ville. La participation des différentes institutions : IUT, Beaux Arts et Conservatoire de Musique, permet à chacun d'apporter sa propre expérience dans son propre domaine et de mettre sa spécificité à contribution pour le projet.

6. REFERENCES

- [1] Noirhomme-Fraiture, M. Schöller, O. Demoulin, C. Simoff, S. « Sonification of time dependent data », Second International Workshop on Visual Data Mining, Helsinki, Finlande, 2002.
- [2] Cotte, R. *Musique et symbolisme: Résonances cosmiques des œuvres et des instruments*, Éditions Dangles, St-Jean-de-Braye, 1988.
- [3] Kepler, J. *L'harmonie du monde*, Librairie A. Blanchard, 1979.
- [4] Munakata, N. Hayashi, K. « Gene Music: Tonal Assignments of Bases and Amino Acids », Visualizing Biological Information, Clifford Pickover (Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.), 1995.
- [5] Vicinanza, D. Yopez, H. « Music from Volcanoes on the Network », TERENA Networking Conference, Copenhagen, Denmark, 2007.
- [6] Ballora, M. Pennycook, B. Ivanov, P. Glass, L. Goldberger, L. « Heart Rate Sonification: A New Approach to Medical Diagnosis » Leonardo, February 2004, Vol. 37, No. 1.
- [7] Xenakis I., « Musiques formelles », Revue Musicale, Richard-Masse, 1963.
- [8] Childs, E. « Achorripsis: A Sonification of Probability Distributions », International Conference on Auditory Display, Kyoto, Japan, 2002.