

Désassemblons le numérique

#Episode5 : Simuler les caractéristiques sonores d'une trompette historique

Bonjour à tous et à toutes et bienvenue dans ce nouvel épisode de *Désassemblons le numérique*. Aujourd'hui, nous accueillons Augustin Ernoul, chercheur au sein de l'équipe-projet Makutu du Centre Inria de l'université de Bordeaux, qui va nous parler de musique et d'acoustique musicale. Bonjour Augustin.

Augustin Ernoul : Bonjour.

Avant de parler un peu plus en détail de tes travaux de recherche, est-ce que tu pourrais nous expliquer la particularité de l'équipe-projet Makutu à laquelle tu appartiens ?

AE Au sein de l'équipe Makutu nous cherchons à caractériser des milieux et des objets dans lesquels se propagent des ondes. On utilise pour cela des techniques de modélisation et simulation numériques. On applique cela dans trois domaines : la géophysique, l'héliophysique, et l'acoustique musicale. C'est dans ce dernier domaine que moi j'interviens.

Le lien entre la géophysique, l'héliophysique et l'acoustique musicale n'est pas forcément évident à voir. Pourquoi est-ce que dans cette équipe vous travaillez sur des instruments de musique ?

AE En fait dans ces trois domaines on étudie comment se propagent les ondes, et mathématiquement cela se traduit par des équations très proches. On va donc pouvoir utiliser des techniques similaires dans les trois domaines. Dans le cadre de l'acoustique musicale, le but est d'arriver à prédire un certain nombre de caractéristiques sonores à partir de la connaissance de la géométrie et des propriétés mécaniques des instruments, et également de faire l'inverse, c'est-à-dire, « *est-ce qu'à partir des caractéristiques sonores d'un instrument, on est capable de remonter à ses caractéristiques géométriques ?* »

Est-ce que tu as des exemples d'applications de ces recherches à nous donner ?

AE Dans les applications concrètes de nos recherches, il va y avoir par exemple l'aide à la facture instrumentale, c'est-à-dire la conception et la fabrication des instruments de musique et la compréhension du jeu : « *pourquoi le musicien fait tel geste pour produire tel son ?* » etc... Il peut également y avoir des applications en gestion du patrimoine, comme par exemple dans le projet qui s'appelle "SySimpa" auquel je participe.

Le projet "SySimpa" ... Rien que le titre donne envie d'en savoir plus ! Tu pourrais nous en parler un peu ?

AE Alors "SySimpa" ce n'est pas parce qu'on trouvait le projet chouette, c'est l'acronyme de "Synthèse sonore des instruments de musique du patrimoine". Ce projet, on le mène en collaboration avec notamment la Cité de la musique à Paris, le Centre de recherche et de restauration des Musées de France, l'Institut technique européen des métiers de la musique et Inria.

Pour recontextualiser un peu le projet, au Musée de la musique, il y a à peu près 8 000 instruments qui sont stockés et il y en a à peu près 90 % sur lesquels on ne peut pas jouer pour des questions de conservation. La problématique du projet est donc de trouver comment il est possible de restituer un certain nombre de fonctionnalités sonores de ces instruments qui sont des objets patrimoniaux. Car effectivement, leur rôle premier est de faire de la musique et non d'être uniquement exposés au public.

Comment est-il possible de restituer les fonctionnalités sonores de ces instruments ?

AE Dans ce projet, nous avons essayé d'adopter deux approches :

- La première était d'essayer de faire une copie d'un instrument historique acoustiquement informé. La plupart du temps quand on fait une copie d'un instrument historique, on se limite à faire quelque chose qui ressemble à peu près esthétiquement à l'instrument mais là on a essayé de préserver les propriétés acoustiques de l'instrument original.
- La deuxième approche est d'essayer de faire une copie numérique de l'instrument.

Sur quel type d'instrument est-ce que vous avez travaillé ?

AE Dans ce projet on s'est limité à l'étude de trompettes "naturelles". Dans ces instruments, il n'y a pas de système de piston et la longueur du tube est fixe : le musicien va juste pouvoir jouer sur les différentes résonances. Il va donc y avoir qu'un certain nombre de notes et le musicien ne va pas pouvoir faire toute la gamme. C'est le type d'instruments beaucoup utilisé dans des conditions de fanfares militaires par exemple.

On s'est focalisé en particulier sur une trompette du début du XX^e siècle qui a été fabriquée par une famille qui s'appelle Besson, qui a été une grande famille de facture instrumentale dirigée par des femmes pendant tout le XX^e siècle. Dans un premier temps, le but était donc de fabriquer une copie acoustique pour que non seulement elle ressemble à l'original mais qu'elle ait également les mêmes propriétés acoustiques.

Comment procède-t-on pour arriver à faire ça ?

AE On a commencé par récupérer des données : par le biais de l'imagerie et de mesures acoustiques.

Pour l'imagerie, on a fait de la tomographie 3D à rayons X. Plus grossièrement, on va venir scanner l'instrument pour récupérer tout le détail de sa géométrie. Avec les images obtenues, on essaye de remonter à ce que l'on appelle "la perce de l'instrument", c'est-à-dire l'évolution du rayon interne le long de son axe principal. Cela nous permet, pour la suite, de ne pas se concentrer sur toute la géométrie extérieure de l'instrument qui n'a pas d'influence sur ses propriétés acoustiques.

A côté de ça, on a donc fait des mesures acoustiques. Pour être plus précis, nous avons fait des mesures d'impédance.

L'impédance c'est une notion un peu compliquée. Sans trop entrer dans les détails c'est une grandeur qui quantifie avec quelle facilité on peut faire vibrer la colonne d'air à l'intérieur de l'instrument.

Pour mesurer cette impédance, nous avons un espace dédié au Centre Inria de l'université de Bordeaux qui est une cabine insonorisée et qui permet de nous isoler des bruits extérieurs, d'avoir des mesures plus propres. On envoie donc un signal qui va exciter toutes les fréquences, quelque chose comme « *fiouuuuuuuu* » et à chaque fois on mesure comment la colonne d'air répond.

Les données recueillies par l'imagerie, je pense qu'on arrive à voir à quoi cela peut ressembler. Mais à quoi ressemblent les données recueillies de la mesure de l'impédance ?

AE Quand on mesure l'impédance, on obtient des graphes indiquant la valeur de l'impédance à chaque fréquence. Sur ces graphes, on va observer une série de pics qui représentent les maximums de l'impédance, c'est-à-dire qu'à ces fréquences-là, la colonne d'air va vibrer beaucoup plus facilement qu'aux autres : dans notre jargon, on appelle ça des fréquences de résonance et c'est ce qui va déterminer les notes que le musicien ou la musicienne va pouvoir jouer. L'impédance est donc en quelque sorte le "Graal de l'acoustique musicale".

D'accord. Et donc, une fois que vous avez recueilli ces données, qu'est-ce que vous faites ?

AE Comme on a maintenant la géométrie et en particulier la perce, on peut modéliser l'instrument et simuler la manière dont se propagent les ondes dans la colonne d'air. Ça nous permet notamment de calculer cette fameuse impédance et de la comparer à nos mesures.

Si l'écart entre simulations et mesures est trop grand c'est qu'on a fait une erreur quelque part. Dans notre cas, ça vient plutôt du traitement des données de la tomographie à rayons X dans lequel il peut y avoir pas mal de biais. Donc ce qu'on a fait c'est qu'on est parti de cette géométrie issue de la tomographie, on l'a ensuite simplifiée, puis on a fait un ajustement automatique de cette géométrie pour faire coller au mieux les simulations aux mesures. Ça nous permet d'obtenir au final une géométrie très proche de l'original du point de vue acoustique.

L'étape d'après, c'est la fabrication ?

AE Effectivement, ensuite, nous pouvons commencer les échanges avec un artisan afin de créer une copie de l'instrument. Une fois cette copie réalisée, nous avons refait des mesures. Et ça

nous a permis de vérifier que les propriétés acoustiques de l'original et du facsimilé sont très proches.

Tout à l'heure, tu nous as aussi parlé d'un deuxième volet du projet : la création d'instruments numériques. Mais comment est-ce qu'on arrive à créer des instruments numériques ?

AE Le but de cette partie du projet va être de modéliser ce que vont faire les lèvres du musicien lorsqu'il souffle dans un instrument à vent. Ce mouvement est relativement complexe. Pour les simulations, nous nous sommes concentrés sur un mouvement simplifié : on va dire que les lèvres du musicien, c'est juste une trappe qui s'ouvre quand la pression dans la bouche du musicien est supérieure à la pression dans le corps de l'instrument et qu'après, comme elle va avoir une certaine élasticité, elle va avoir tendance à se refermer.

On ramène donc cela à un jeu de coefficients physiques, qui vont être la masse des lèvres, la raideur des lèvres le coefficient d'amortissement des lèvres (c'est-à-dire comment elles amortissent les vibrations), etc. Mais tous ces coefficients, c'est très difficile de leur donner une valeur parce que le musicien est sans cesse en train d'ajuster ces paramètres et qu'on ne peut pas les mesurer.

A l'heure actuelle, on n'a pas encore de logiciels capables de calculer des simulations automatiquement. De ce fait, on a rentré tous les paramètres manuellement et on fait les ajustements à la main.

Est-ce que vous avez déjà des perspectives dans la suite du projet, une fois que vous aurez un peu plus avancé sur la partie instruments numériques ?

AE Oui, on a des perspectives concernant le projet :

- Tout d'abord, nous allons valoriser ce travail auprès du public. Pour cela, on va diffuser les résultats sur le site du musée par exemple (manipulation des tomographies en 3D par exemple)
- Ensuite, nous souhaiterions trouver une manière de former un bon musicien numérique (chercher des ajustements automatiques de paramètres, ...)

Merci beaucoup Augustin pour ces échanges passionnants autour de l'acoustique musicale des instruments à vent ! J'espère que nous aurons l'occasion de rééchanger ensemble dans un nouvel épisode de *Désassemblons le numérique* ! A très bientôt.