

Modélisation du piano par modèles physiques

Mots-clé : acoustique, modélisation, méthodes numérique, programmation, musique.

Contact : juliette.chabassier@inria.fr guillaume.castera@inria.fr

Motivation

Le perfectionnement des instruments de musique est, généralement, le fruit des expérimentations du facteur d'instruments. Au fur et à mesure de ses créations, il modifie successivement la forme, les matériaux, les réglages afin d'atteindre des objectifs de qualité. De par les contraintes matérielles, il ne peut malheureusement qu'explorer un nombre limité de possibilités. En effet, la recherche d'améliorations requiert la fabrication d'outillages spécifiques et des prototypes correspondants. Ce processus coûteux et laborieux surtout avec un instrument aussi complexe que le piano pourrait grandement évoluer grâce à l'outil informatique et les connaissances en acoustique accumulées depuis plusieurs décennies.

A partir des principes fondamentaux de la dynamique, il est possible de modéliser le piano en tant que système vibratoire et acoustique¹. Chaque partie de l'instrument est modélisée, depuis le manche du marteau jusqu'au rayonnement du son dans l'air. D'autres travaux ont été effectués depuis visant à améliorer ces modèles.

Y a-t-il une influence, autre que la nuance, du toucher du pianiste sur le timbre de l'instrument et comment se caractérise-t-elle ? Depuis octobre 2020, Guillaume CASTERA réalise une thèse sur ce sujet. L'objectif est de poursuivre certaines améliorations des modèles physiques afin d'obtenir une précision suffisante pour déterminer l'influence du pianiste sur le son de son instrument.

Pour répondre à ces questions, nous souhaitons coupler le modèle vibratoire et acoustique développé à l'INRIA avec un modèle de mécanique de piano développé à l'Université catholique de Louvain en Belgique par Paul FISETTE et Sébastien TIMMERMANS. En particulier, la façon dont le marteau excite la corde dans sa direction longitudinale est responsable d'une importante partie du spectre de l'instrument mais n'est pas encore prise en compte dans les modèles actuels. Par ce couplage, des sons pourraient être simulés directement avec l'impulsion du pianiste en entrée et ainsi déterminer son influence.

Pour mener à bien ces travaux, il est donc nécessaire de développer un nouveau modèle d'interaction marteau/corde et de modifier la suite de la chaîne de transmission des vibrations pour que ces modifications se répercutent dans le son rayonné. Il est donc important de permettre au chevalet² de transmettre toutes les forces qui s'appliquent sur lui dans toutes les directions. Actuellement, seule la force dans la direction normale est prise en compte, ce qui ne permet pas ou très peu de transmettre les vibrations longitudinales de la corde.

La corde caractérisée par un modèle géométriquement exact devra être couplée à une plaque de Reissner-Mindlin via leurs interactions respectives à travers le chevalet. La force normale est déjà modélisée, il faut ajouter la force longitudinale et le couple pur au contact. Tous les schémas numériques en temps implémentés préservent une identité d'énergie, ce qui permet de garantir la stabilité du schéma de couplage global de toutes les parties de l'instrument : chaque sous-système dissipe de l'énergie et en échange avec ses voisins.

Le couplage marteau/corde (mécanique/acoustique) et l'amélioration des schémas numériques pour la résolution de l'équation de la corde font l'objet du travail de thèse de Guillaume CASTERA. Cette proposition de stage concerne donc le couplage au niveau du chevalet.

1. J Chabassier, Modélisation et simulation d'un piano par modèles physiques. Ecole Polytechnique X, 2012.

2. Pièce en bois qui permet de transmettre les vibrations de la corde à la table d'harmonie qui rayonne ensuite le son dans l'air

Sujet de stage

Dans un premier temps, il s'agira de s'imprégner des travaux déjà réalisés sur le sujet, en menant une revue bibliographique et de comprendre la structure du code C++ qui permet les simulations. Il faudra ensuite modifier les équations physiques pour prendre en compte les nouvelles composantes de force au niveau du chevalet. S'en suivra l'écriture d'un schéma numérique satisfaisant aux exigences de convergence et de stabilité, puis son implémentation dans le code C++ déjà existant. Enfin, le nouveau modèle permettra des simulations réalistes de piano.

Profil recherché

- Etudiant.e en master 2 (université ou école d'ingénieur.e.s)
- Bonnes connaissances en analyse numérique, calcul scientifique, modélisation, acoustique, C++.

Les candidatures seront examinées jusqu'au 31 janvier 2022.