Proposition de thèse

Claviers dynamiques pour instruments numériques

Mots-clés Modèles dynamiques – Méthodes inverses – Interaction homme-machine – Interfaces haptiques – Instruments de musique à claviers

Contexte (automne 2021) Le Laboratoire de Mécanique des Solides (UMR7649, École polytechnique et CNRS, Palaiseau) mène un projet de recherche et de maturation industrielle de claviers actifs pour pianos et instruments anciens numériques (pianofortes, clavecins, clavicordes, orgues). L'enjeu est de proposer aux musiciens des claviers au toucher identique à celui d'instruments traditionnels, auxquels ils sont habitués ou sur lesquels ils voudraient jouer. Ce projet a fait l'objet de plusieurs thèses et stages, publications et brevets. Il comporte l'acquisition de connaissances spécifiques en mécanique (modélisation dynamique des différents claviers), en organologie (paramètres des différents claviers associés à un instrument donné), et en psychohaptique (perception haptique des différences mécaniques, précision de la commande motrice). Le projet demande aussi d'adapter des méthodes numériques mises au point par ailleurs (simulation en mécanique non-régulière, traitement de signal, inversion de modèle) aux spécificités de ces instruments de musique traditionnels et numériques. À l'heure actuelle, un important volet d'ingénierie est également développé au LMS en liaison avec une entreprise.

Objectifs Le travail de thèse a pour objectif d'acquérir des connaissances au moins deux des trois champs scientifiques suivants :

a. modélisation mécanique et dynamique des touches d'instruments tels que piano, clavecin, orgue, etc. : amélioration des modèles existants, simulation, validation ;
b. estimation des paramètres de ces modèles ; on s'intéresse en particulier à la variabilité de ces paramètres en fonction de la touche et de l'instrument, pour un type donné (piano, pianoforte, clavecin, etc.) ;
c. perception haptique et contrôle du mouvement des touches : on s'intéresse en particulier à déterminer dans quelles mesures on peut modifier certaines caractéristiques du toucher objectif tout en gardant une perception haptique subjective satisfaisante.

Points de départ Pour le piano, deux modèles du mécanisme de touche ont été élaborés, l'un complet, l'autre simplifié ; les programmes de simulation correspondants ont été écrits, en Matlab (pour le prototypage et la paramétrisation) et en C (pour une exécution en temps réel). La paramétrisation du modèle complet a fait l'objet de travaux expérimentaux conséquents durant les thèses précédemment menées au LMS.

Pour le clavecin, un modèle du mécanisme de touche a été élaboré et sa simulation programmée. Quelques mesures des paramètres de ce modèle ont été faites.

Par ailleurs, un instrument de mesure – l'haptimètre – a été mis au point, lequel actionne une touche de clavier suivant un profil de déplacement prescriptible tout en mesurant la force exercée et le mouvement pris effectivement par la touche. Cet instrument est un outil original permettant, entre autres, de déterminer les paramètres des modèles de mécanisme de touche.

Ces acquis principaux sont complétés par les réalisations du projet de maturation industrielle en cours.

Méthodes Les méthodes à mettre en œuvre ou à développer ressortissent à trois domaines distincts :

i. instrumentation et mesures dynamiques en mécanique, en particulier à partir du dispositif intégré mis au point au LMS pour explorer la dynamique d'une touche de clavier ;
ii. inversion de modèle pour la détermination de ses paramètres ;
iii. perception et synthèse de la dynamique d'une interface homme-machine.

Le travail qui sera mené dans chacun de ces domaines dépendra du profil du candidat, des avancées réalisées par l'équipe au moment du démarrage de la thèse, et des besoins du projet.

Candidature Différentes formations initiales – en mécanique ou mécatronique, en physique, en mathématiques appliquées – peuvent convenir pour mener à bien ce

projet de doctorat. Pour initier le processus de candidature, merci de bien vouloir envoyer

- votre CV,
- une lettre précisant vos motivations,
- la liste des cours suivis et des notes obtenues en L3 ou première année d'école et depuis lors,
- le rapport du dernier stage effectué (préciser procédure si confidentialité),
- les noms d'au moins deux personnes susceptibles de donner un avis informé sur vos capacités

à Xavier Boutillon, xavier.boutillon@polytechnique.edu, 01 69 33 57 48.

Un monitorat à l'École polytechnique est possible, mais devra faire l'objet d'une candidature spécifique.