Mesure de la "pression d'archet" des instruments à cordes frottées

Application à la synthèse sonore

Matthias Demoucron¹, Anders Askenfelt², René Caussé¹

 1 IRCAM-CNRS-STMS, Paris, France, courriel : {demoucron, causse}@ircam.fr

 2 TMH, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, courriel : and ersa@speech.kth.se

Résumé

On cherche à mesurer la force d'appui de la mèche de l'archet sur la corde (ou "pression d'archet") dans une situation de jeu réel.

Le dispositif développé se place sur l'archet et mesure les contraintes appliquées par la mèche à ses extrémités, ce qui permet d'en déduire indirectement la force (et la position) du point de contact.

Les premiers résultats de mesures de l'évolution de la force pour différents modes de jeu sont présentés, l'objectif étant de constituer des bases de "geste" typiques de manière à reproduire les différents modes de jeu standards de ces instruments.

Introduction

La corde d'un instrument comme le violon est mise en vibration par la force transversale ("friction") exercée par l'archet lorsque l'instrumentiste le met en contact avec l'instrument et le déplace. Cette force de frottement dépend de la vitesse de l'archet et de la force normale, c'est-à-dire la force d'appui de l'archet sur la corde, dirigée vers le bas, ou "pression d'archet". Alors que l'étude théorique de la corde frottée, de ses différents régimes d'oscillation et de leur rappport avec les paramètres de contrôle a donné lieu à une importante littérature, les travaux relatifs à la mesure de ces paramètres sont relativement rares.

Initiés par Raman, ces mesures sont d'abord effectuées sur des automates reproduisant l'action du violoniste (Kar [3], puis Lawergren [4]) et ne concernent donc pas des mesures en situation de jeu réel. Cette dernière problématique a été abordé plus récemment par Young ([5]) et Askenfelt ([1], [2])), travaux dont le dispositif présenté ici s'inspire largement.

Après avoir décrit le principe du dispositif de mesure et de la détermination de la force, nous illustrerons son application par quelques exemples.

Construction du dispositif

L'utilisation du dispositif dans un contexte de jeu réel impose un certain nombre de contraintes pour sa construction :

- l'instrument doit effectivement produire un son. Cette exigence rend impossible une mesure directe au point de contact puisque tout dispositif disposé à ce niveau perturbera la vibration de l'instrument.
- le dispositif ne doit pas perturber de manière trop importante le jeu de l'instrumentiste : il doit être léger et ne peut être placé n'importe où.

 enfin, il doit être mobile afin d'offrir la possibilité de le monter sur un instrument ou l'autre.

L'idée est d'utiliser les contraintes que la mèche exerce sur l'archet à ses extrémités pour mesurer la force au point de contact. Pour cela, deux plaques d'acier sont fixées au talon et à la pointe de l'archet (figure 1). Pour chacune, l'extrémité intérieure est en appui avec la mèche, l'autre étant maintenue immobile par un système de fixation.

La mèche exerce alors une contrainte sur l'extrémité libre de la plaque, contrainte sous l'action de laquelle la plaque se déforme. Cette déformation est mesurée par deux jauges de contrainte placées sur les deux faces de la plaque. Les deux jauges sont mises en série sur la même branche d'un pont de Wheatstone, la mesure de la différence de tension entre les deux branches (figure 1) permettant alors d'avoir une mesure de la composante perpendiculaire de la force exercée sur la plaque.



Fig. 1: Un capteur est placé à chaque extrémité de l'archet. La déformation des plaques est mesurée en utilisant des jauges de contrainte montées sur la même branche d'un pont de Wheatstone.

Etalonnage et interpolation Principe

Pour un archet donné, la force exercée sur la mèche donne une mesure en chacun des capteurs, mesure dont la valeur est liée à différents paramètres :

- la position du point de contact. De manière intuitive, on s'attend à ce que, pour chacun des capteurs, la mesure soit d'autant plus grande que le point de contact est proche du capteur en question.
- la tension de la mèche, ajustable par l'instrumentiste.
- l'inclinaison de l'archet.

Si d'une part on néglige l'effet de l'inclinaison de l'archet (ou si l'on contraint le musicien à jouer avec une mèche aussi plate que possible), et si d'autre part, on suppose que la tension, une fois réglée, reste constante sur une période assez longue, les mesures obtenues ne dépendent plus que de la force appliquée et de sa position d'application.

Courbes d'étalonnage

Par la suite, on nomme F_{c1} la mesure du capteur au talon et F_{c2} celle du capteur à la pointe. F désignera la force effective au point de contact et x la position de celui-ci. L'archet est fixé au talon en trois points reproduisant l'action des trois doigts déterminants de l'instrumentiste : pouce, index et auriculaire (figure 2). L'étalonnage



Fig. 2: Dispositif d'étalonnage permettant de déterminer les signaux F_{c1} et F_{c2} obtenus en fonction de la masse m suspendue et de la position x.

s'effectue en suspendant des masses croissantes pour différentes positions x sur l'archet (figure 3).

On peut aussi tracer la mesure en chacun des capteurs



Fig. 3: Etalonnage du dispositif. Les courbes représentent le signal mesuré en sortie du capteur au talon (gauche) et à la pointe (droite) en fonction de la masse appliquée pour différentes positions sur l'archet.

pour une même masse en différentes positions de l'archet (figure 4).

Si le comportement du capteur à la pointe (figure 4, droite) semble en accord avec l'intuition (plus on s'en éloigne, c'est-à-dire, plus on est proche du talon, moins la mesure est grande), celui du capteur au talon (figure de gauche) est plus étonnant : la variation de la mesure est beaucoup moins importante. La faible décroissance pour les petites masses s'explique de manière simple par la flexion de l'archet qui entraîne une plus forte contrainte au niveau du talon. En revanche, la croissance de la mesure pour les forces importantes vers la pointe ne s'explique pas aussi facilement mais pourrait être liée à d'importantes variations de la tension de la mèche.



Fig. 4: Etalonnage du dispositif. Les courbes représentent la tension mesurée au capteur du talon (gauche) et de la pointe (droite) pour des même forces appliquées le long de l'archet

Le comportement des mesures n'est donc globalement linéaire ni sur la force, ni sur la position : il n'y a pas de relation simple entre les mesures obtenues et la "pression d'archet".

Détermination de la "pression d'archet"

Le fait de disposer de deux mesures permet de déterminer la force sans connaître la position : l'étalonnage définit un plan $F = f(F_{c1}, F_{c2})$ dans lequel à chaque couple (F_{c1}, F_{c2}) mesuré correspond une seule valeur de F (figure 5).

Nous déterminons la force en supposant une variation



Fig. 5: Représentation d'un étalonnage dans le plan (F_{c1}, F_{c1}) . Il a été effectué en cinq positions, les masses variant de 26 en 26 g. Les courbes pleines représentent une même position et les courbes pointillées, une même masse.

linéaire de la mesure de chacun des capteurs entre deux positions d'étalonnage pour une même force (courbes pointillées) et entre deux masses d'étalonnage pour une même position (courbes pleines).

A titre d'exemple, l'influence couplée de l'imprécision du dispositif et de l'étalonnage représenté sur la figure 5 donne une erreur de $\pm 3\%$ en statique.

Détermination de la position

De la même manière, on peut penser à déterminer la position, puisqu'à chaque couple (F, x) on associe un couple (F_{c1}, F_{c2}) mesuré. Cette idée permet pour l'instant de vérifier que les résultats obtenus à partir de l'étalonnage, en situation de jeu réel, ne sont pas incohérents.

On demande donc à l'instrumentiste d'effectuer

différents coups d'archet avec le dispositif en lui imposant un certain nombre de contraintes en terme de position. On vérifie ensuite que le résultat obtenu est en accord avec les contraintes imposées.

Dans le premier exemple, il est demandé à l'instrumentiste d'effectuer des petits rebonds avec l'archet au niveau de la position 2 ("Spiccato", figure 6). En traçant



Fig. 6: Rebonds effectués autour de la position 2 de l'étalonnage. Mesures obtenues dans le diagramme d'étalonnage (gauche), interpolation de la force (droite).

les mesures obtenues dans le diagramme d'étalonnage (F_{c1}, F_{c2}) , on vérifie que les résultats obtenus sont bien localisées autour du deuxième point d'étalonnage.

Dans une deuxième expérience (figure 7), l'instrumentiste devait effectuer une série de détachés entre les positions 2 et 4 de l'étalonnage en essayant d'appliquer une force aussi constante que possible.

On vérifie d'abord que le résultat se situe bien entre les



Fig. 7: Détachés effectués entre les positions 2 et 4 de l'étalonnage. Exemple d'un détaché dans le diagrammme d'étalonnage (gauche), interpolation de la force et de la position (droite).

deux positions de référence que l'on s'est données. De plus, en utilisant une interpolation similaire à celle de la force, on détermine l'évolution de la position au cours du temps (figure 7, droite).

Application à la synthèse sonore

Dans le cadre de ce travail, le développement du dispositif vise à mesurer l'évolution temporelle des paramètres de jeu du violoniste afin de les caractériser pour différents modes de jeu et d'en faire des modèles quantitatifs à l'usage de la synthèse sonore.

La connaissance de la force seule ne permet évidemment pas de contrôler entièrement le modèle de synthèse, puisque celui-ci dépend des autres paramètres que sont la vitesse de l'archet et la position sur la corde. En attendant de pouvoir le coupler avec d'autres dispositifs pour ces autres paramètres de contrôle, on peut au moins illustrer, du point de vue de la force, ce que sont ces modes de jeu.

Illustration des différents modes de jeu

La figure 8 présente des acquisitions pour différents coups d'archet standards du violoniste.

Le détaché correspond à un simple aller-retour de l'ar-



Fig. 8: Différents modes de jeu utilisés par l'instrumentiste. L'évolution de la force dans ces différentes situations (détaché, détaché accentué, spiccato et martelé) est mesurée à l'aide du dispositif. La vibration obtenue au niveau du chevalet est mise en rapport.

chet, la force restant presque constante. Une plus grande amplitude de la force à l'attaque donne une accentuation et une plus grande dynamique au son.

Le spiccato consiste à faire rebondir l'archet sur le corde, l'évolution de la force étant alors déterminée par les caractéristiques mécaniques de la corde et de l'archet, l'instrumentiste ne la contrôlant qu'indirectement par l'impulsion initiale qu'il donne à l'archet et par la position sur la mèche qu'il choisit pour effectuer ces rebonds. Enfin, le martelé se caractérise par une importante force initiale pour l'attaque de la note suivie d'une courte période d'entretien, les différentes notes étant distinc-

Exemple du martelé - Modélisation

tement séparées.

Le "martelé" décrit précédemment avec une pression initiale qui se relâche une fois que l'archet est mis en mouvement offre une illustration intéressante de la problématique. En isolant un des profils de la figure 8, on peut identifier les différentes étapes de l'exécution du geste (figure 9).



Fig. 9: Decomposition du martelé selon les différentes étapes de l'exécution du geste.

- A : Appui sur la corde pour préparer le geste.
- B : Mise en mouvement de l'archet et relâchement de la force.
- C : Arrêt de l'archet et étouffement de la vibration par une légère hausse de la force.
- D : Retour à la position initiale (sans contact avec la corde).

Pour la synthèse sonore, on s'intéresse essentiellement à la partie du mouvement durant laquelle l'archet excite la corde (phase B et C).

La modélisation de ces profils de force nécessite d'avoir un nombre important de mesures liées à des exécutions du geste jugées identiques par l'instrumentiste de manière à en extraire des similarités. Dans l'expérience suivante (figure 10), il a été demandé à l'instrumentiste d'exécuter plusieurs fois le même martelé.

La comparaison entre les différentes mesures obtenues



Fig. 10: Comparaison entre plusieurs "martelés" jugés similaires par le musicien.

met en évidence la forte reproductibilité de son geste et

devrait permettre d'en extraire à la fois des propriétés générales propres à ce mode de jeu et une certaine variabilité jugée acceptable par le musicien.

Conclusion

Le dispositif présenté ici comporte deux grandes différences par rapport aux travaux précédemment effectués sur le sujet. D'abord, il est possible de l'adapter sur n'importe quel instrument et il ne nécessite donc pas l'utilisation d'un archet spécifiquement adapté à l'étude. Ensuite, en traitant indépendemment les deux signaux obtenus, il permet de ne pas avoir à connaître la position du point de contact sur l'archet pour déterminer la "pression d'archet".

En le couplant avec d'autres dispositifs pour mesurer la vitesse de l'archet et la position sur la corde, il devrait permettre de quantifier les paramètres appliqués par l'instrumentiste dans son exécution des différents modes de jeu afin d'obtenir une synthèse par modèle physique "réaliste".

Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre du projet CONSONNES, financé par l'agence nationale de la recherche.

Références

- A. Askenfelt. Measurement bow motion and bow force in violin playing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80(4) :1007–1015, 1986.
- [2] A. Askenfelt. Measurement of the bowing parameters in violin playing.ii. *Journal of the Acoustical Society* of America, 86(2):503–516, 1989.
- [3] K.C. Kar, N. Datta, and S.K. Ghosh. Investigation on the bowed string with an electrically driven bow. (part 1). *Indian Journal of Physics*, 25, 1951.
- [4] B. Lawergren. On the motion of bowed violin strings. Acustica, 44 :194–206, 1980.
- [5] D. Young. the hyperbow controller : real-time dynamics measurement of violin performance. In *Proc. NIME*, Dublin, Ireland, 2002.