

Caractérisation mécanique des cuirs utilisés pour les garnitures de marteaux

Jacques RENARD, Centre des matériaux, École des Mines de Paris, Évry

*L'étude menée au Centre des matériaux de l'École des Mines de Paris avait pour objectif la caractérisation des cuirs utilisés pour la garniture des marteaux. Deux questions principales se posaient. La première concernait l'état de contraintes subies par les cuirs lors de leur mise sous tension. Et surtout comment se positionne cet état de contraintes par rapport aux possibilités d'élongation de ces matériaux ? La deuxième question concernait l'évolution des cuirs avec le temps. Dans leur position finale, ces peaux forment un stratifié qui verront des tensions différentes selon leur position au sein de la garniture du marteau. Cette évolution avec le temps peut être due à des phénomènes visqueux qui, selon leur importance, peuvent avoir une influence sur la frappe du marteau et par conséquent sur le son émis. C'est dans ce contexte qu'après avoir simulé le geste du facteur en train de tendre sur un marteau les cuirs utilisés, après avoir estimé les tensions appliquées, des essais de traction et de fluage ont été effectués sur des cuirs fournis par le laboratoire du Musée de la Musique. Le comportement mécanique et les capacités visqueuses des cuirs testés ont ainsi été évalués. La participation de notre laboratoire à la journée d'étude *La facture du piano en France entre 1780 et 1820* a pour objectif de présenter la démarche mise en œuvre, qui ultérieurement appliquée à des cuirs de différentes époques pourrait contribuer à une analyse différentielle de ces cuirs. On mentionnera le caractère particulièrement délicat des essais mécaniques et des procédures qu'il a été nécessaire de mettre en place compte tenu de la taille réduite des échantillons testés et de la faible rigidité des cuirs.*

I. Introduction

Les sonorités des pianos dépendent énormément des garnitures des marteaux. On note une évolution de ces garnitures avec les époques. De nos jours, pour beaucoup ces garnitures sont à base de feutre. Au début du XIX^e siècle, il s'agissait de plusieurs couches de peau superposées. L'objectif de notre travail n'est pas de retrouver le savoir-faire des facteurs de l'époque, mais de comprendre les choix qui ont été faits, au niveau des peaux, les caractéristiques de ces dernières et comment avec le temps, ces mêmes qualités se sont retrouvées au travers d'autres matériaux tels que les feutres.

Les marteaux étaient garnis à l'aide d'une « machine à garnir » qui maintenait dans des pinces les têtes de marteaux encollées. L'ouvrier pouvait alors maintenir la pression sur les peaux appliquées sur le marteau pendant la phase de collage.

La première étape consistait à retrouver à partir des gestes effectués, la tension appliquée sur les peaux à encoller. La tension choisie puis appliquée va changer les caractéristiques mécaniques du cuir et par voie de conséquence le timbre et l'intensité du son émis.

II. Evaluation des contraintes lors de la mise sous-tension

Le problème consiste à avoir une bonne évaluation du comportement du matériau lors de la mise sous tension par un facteur de piano. Pour cela, il est nécessaire de connaître l'état de contrainte et savoir comment situer cet état par rapport au comportement global du matériau sollicité jusqu'à sa rupture. Un montage s'imposait afin de simuler au mieux le geste du facteur et le marteau. Le montage de la figure 1 a été réalisé à cette fin. Dès lors, il fallait s'assurer que le geste (figure 2) était conforme à celui exercé par le facteur d'un point de vue de la tension appliquée. C'est pourquoi ces essais ont été effectués chez Maurice Rousteau, facteur de piano, Pantin. Les tensions maximales évaluées lors de ces essais étaient de 8 à 10 kg. Comme on le verra par la suite, par rapport aux essais effectués jusqu'à rupture sur ces matériaux, cela correspond environ au quart de la force à rupture. Les peaux de chamois chamoisées sollicitées étaient naturellement les mêmes que celles que nous avons testées dans notre laboratoire.



Fig. 1 : Dispositif expérimental

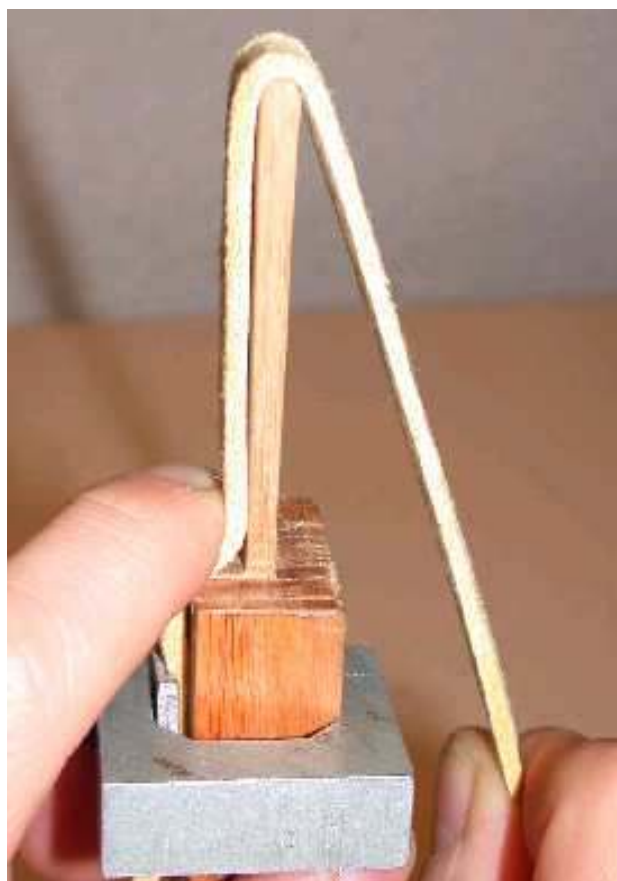


Fig.2 : Traction sur cuirs

III. Caractérisation mécanique des cuirs

III.1. Préparation des échantillons à tester

Le choix d'une géométrie d'éprouvette était un des aspects les plus délicats. Etant donnée la faible rigidité des peaux, il convient de serrer les échantillons sans trop les écraser et ainsi minimiser les ruptures prématurées dans les mors et d'appliquer une charge la plus uniforme possible. Pour ce faire, on s'efforce de dimensionner convenablement l'éprouvette et de soigner son amarrage et son alignement dans la machine d'essai. Il fallait enregistrer en continu la force appliquée à l'éprouvette et le déplacement produit par l'effort appliqué. Concernant le déplacement, c'est celui des traverses de la machine d'essais qui a été utilisé. La force a été enregistrée à l'aide de capteurs positionnés sur la traverse supérieure de la machine d'essais. La géométrie choisie pour les éprouvettes était de 10 cm x 2 cm, découpées dans les peaux de chamois fournies par le Musée de la musique et découpées de la manière la plus rectiligne possible à l'aide d'un cutter. Trop serrer le matériau revient à l'écraser et à le rompre de manière prématurée et ainsi à n'obtenir qu'une information partielle sur le comportement (figure 4). Ainsi pour ne pas trop écraser les extrémités des peaux fixées dans les mors de la machine d'essais, les extrémités des éprouvettes ont été trempées dans une résine araldite comme peut le témoigner la figure 3. On peut voir sur cette figure d'abord le matériau brut, le matériau ayant ses extrémités imbibées d'araldite, et enfin ce même échantillon après elongation. Les essais que nous avons utilisés pour caractériser le comportement des peaux sont décrits en figure 2 pour l'essai de traction, en figure 3 pour l'essai de fluage. Les résultats obtenus sont ceux du paragraphe III.4.

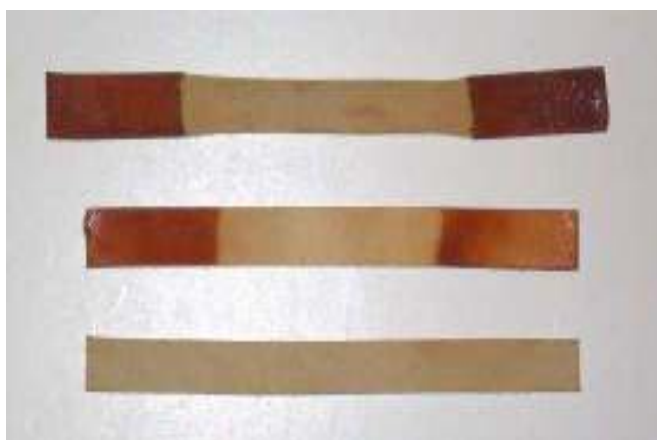


Fig.3 : Systèmes de fraction sur machine d'essais



Fig.4 : Systèmes de fixation sur machine d'essais

III.2. Description de l'essai de traction

Cet essai, qui peut paraître simple par son mode de chargement, demande comme on l'a vu beaucoup de soins dans la préparation et la définition de l'éprouvette. La traction est, certainement le mode de chargement le plus couramment pratiqué dans le milieu industriel. A cet effet, un minimum de cinq éprouvettes, est en général requis afin d'estimer statistiquement une valeur moyenne, une dispersion et un intervalle de confiance. L'essai de traction permet de déterminer la loi du comportement du matériau dans la direction i souhaitée. Les caractéristiques mécaniques déduites d'un tel essai sont : le module d'Young E_i , le coefficient de Poisson ν_{ij} ainsi que les contraintes et les déformations relatives aux points singuliers (limite de linéarité, coude, résistance et déformation à la rupture).

Sur les peaux testées, nous avons enregistré le module d'Young dans le sens de traction et la contrainte à rupture. Le module d'Young est obtenue comme étant la pente entre la contrainte appliquée σ et la déformation obtenue ϵ . La contrainte σ_R en fin de courbe correspond à la rupture de l'échantillon.

III.3. Description de l'essai de fluage

L'essai de fluage consiste à appliquer au matériau testé une contrainte constante à partir d'un instant donné, et d'enregistrer sa déformation au cours du temps. Si au-delà d'un certain temps, on ramène cette contrainte à zéro, on observe une déformation retardée avec le temps. Ces phénomènes de retard sont dus à la viscosité du matériau.

III.4. Résultats obtenus sur peaux de chamois testées.

Les résultats sont ceux des figures 5, 6, 7 : des courbes de traction à différents niveaux de contraintes jusqu'à rupture de l'échantillon, des courbes de charge-décharge et des essais de fluage. Les courbes de charge-décharge témoignent de la viscosité du matériau en ce sens que la montée et la descente ne sont pas confondues. Ce qui serait le cas d'un matériau purement élastique. On note à nouveau cette viscosité sur l'essai de fluage. On note que la déformation évolue avec le temps (figure 7) et cette évolution rapide au départ, ralentie sans vraiment se stabiliser sur une journée. A la décharge, la viscosité joue en sens inverse sans toutefois revenir à zéro après une attente de plusieurs heures. Cela traduit des irréversibilités internes au matériau. Il est à noter que cet essai a été fait par une charge maximale appliquée voisine de 10 Kg de celle appliquée par le facteur de piano. Par conséquent lors de la tension sur le marteau, le facteur utilise le potentiel visqueux et les capacités d'irréversibilité du matériau.

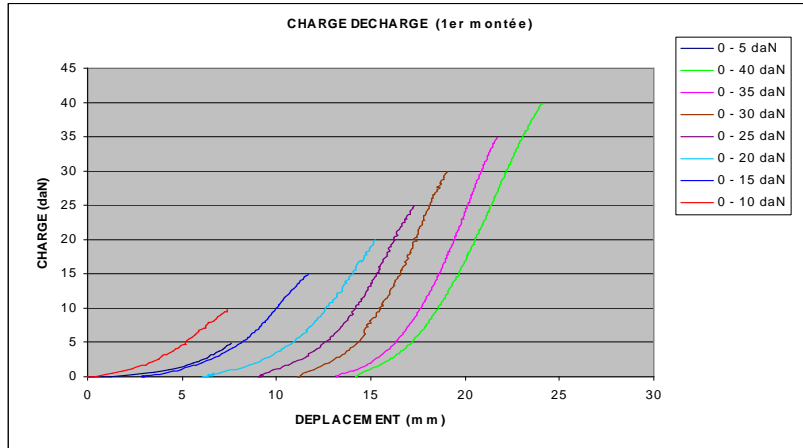


Fig. 5 : Traction jusqu'à rupture

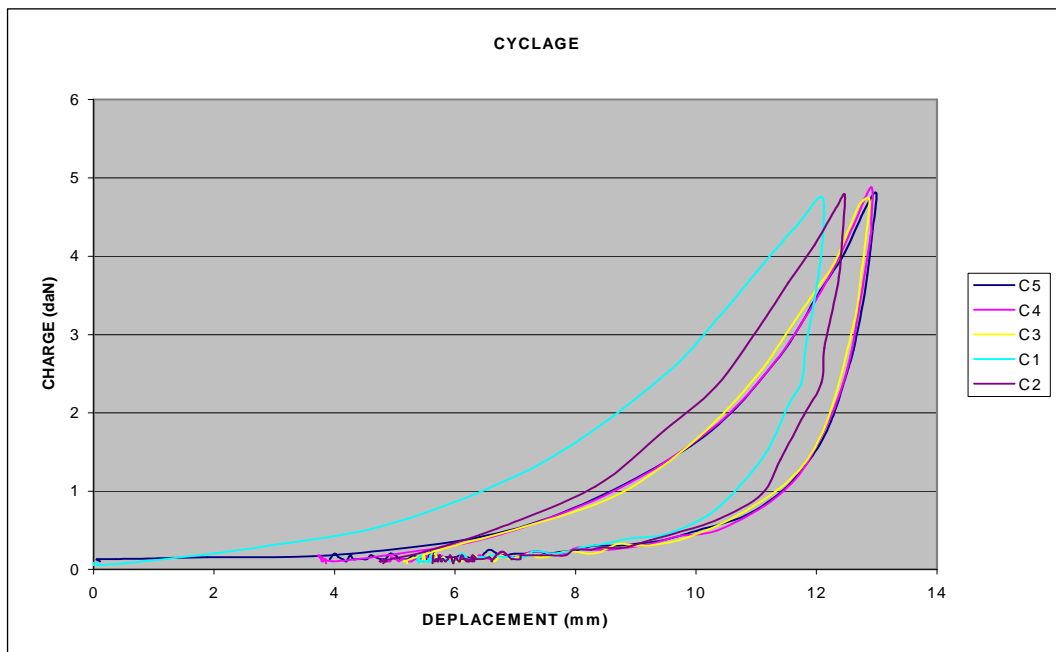


Fig. 6 : Traction charge-décharge

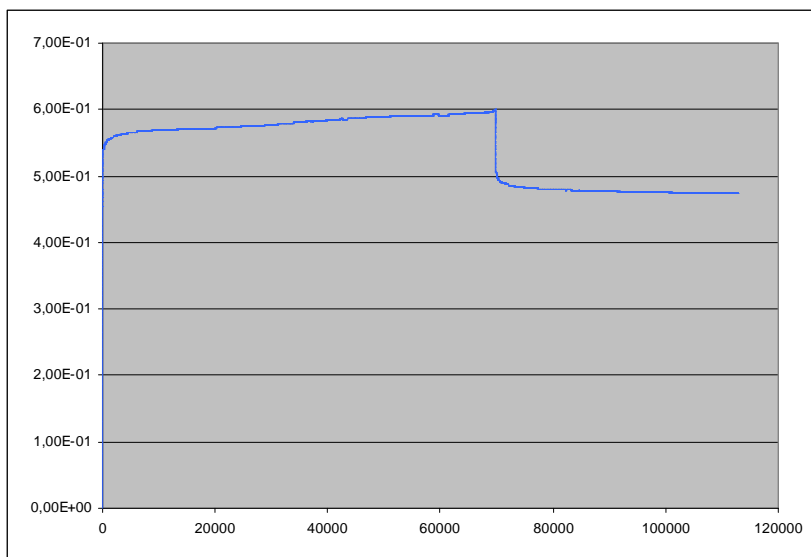


Fig.7 : Courbe de fluage sur une journée

IV. Analyse microscopique des échantillons testés

Au vue de l'analyse microscopique, on note un enchevêtrement de fibrilles constitutives des peaux avec beaucoup de vides entre elles (figures 8, 9). Ces observations ont été faites en étroite collaboration avec Stéphane Vaiedelich, responsable du laboratoire de recherche et de restauration du Musée de la musique, Paris. On a pensé que les irréversibilités précédemment observées lors des essais pouvaient être dues à une orientation de ces fibrilles dans le sens de la sollicitation. Les observations menées jusqu'alors n'ont pu confirmer cette hypothèse.

V. Conclusion

Les procédures mises en place basées à la fois sur des observations microscopiques et des essais mécaniques permettent de dégager les paramètres essentiels servant à caractériser le comportement des peaux de chamois testées. Ces critères serviront par la suite à comprendre les choix des peaux effectués par le passé et peut être de mieux cerner ce qui a conduit aux évolutions ultérieures vers d'autres matériaux tels que les feutres.

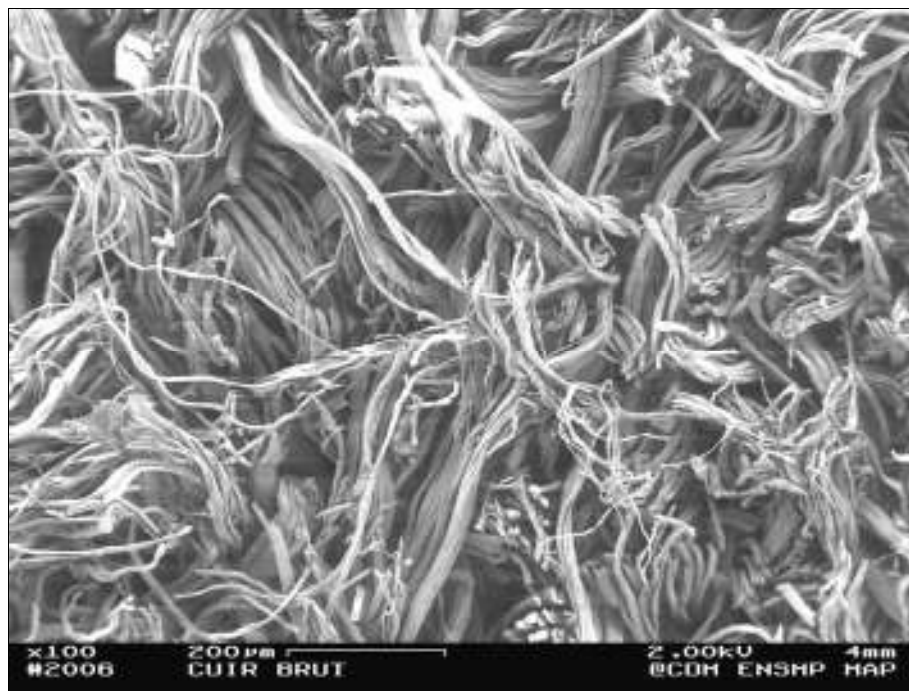


Fig.8 : Analyse microscopique des cuirs

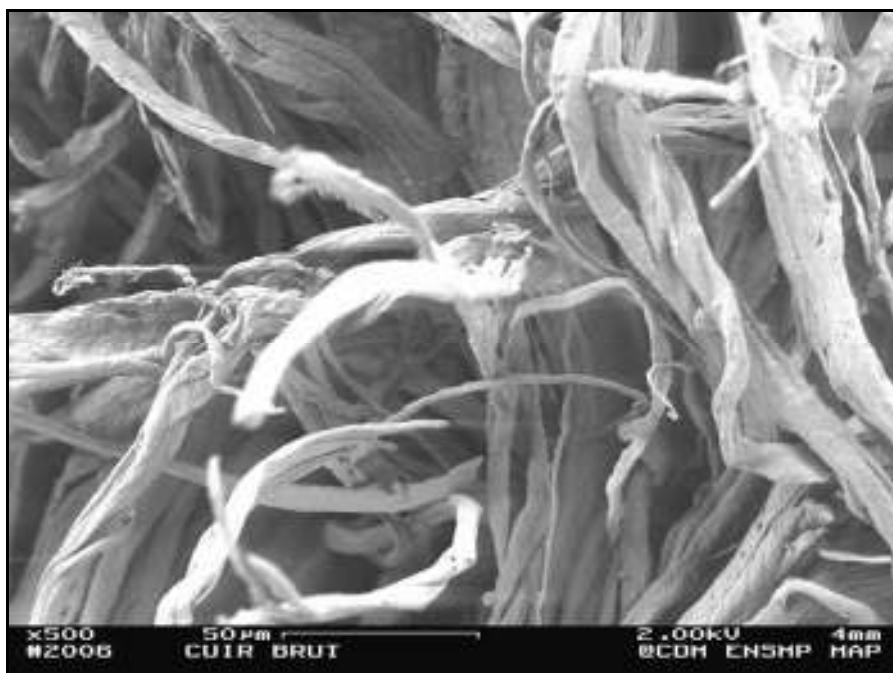


Fig.9 : Analyse microscopiques des cuirs