

Etude phénoménologique du frottement des matériaux fibreux souples

Jean-Maurice PRAENE¹, Marie-Ange BUENO¹ & Anne-Marie PENSE²

¹ Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (CNRS- UMR 7189)

Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace, Mulhouse

Université de Haute-Alsace

11, rue Alfred Werner – 68093 Mulhouse cedex

² Ecole de Biologie Industrielle

32, boulevard du Port – 95094 Cergy-Pontoise

marie-ange.bueno@uha.fr

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude phénoménologique du comportement tribologique des surfaces textiles en vue de mieux comprendre la sensation éprouvée lors du toucher. Les surfaces fibreuses utilisées dans cette étude représentent une gamme assez large de surfaces utilisées dans l'habillement. Les mesures tribométriques sont réalisées dans des conditions inspirées du toucher humain en terme d'aire apparente de contact, de vitesse et de charge normale. Le coefficient de frottement dans quatre directions de la surface est mesuré sous différentes charges. La présence ou non d'une pilosité superficielle et le rôle de l'orientation de cette pilosité sont mis en évidence dans le comportement au frottement de l'étoffe. De plus, une étude d'analyse sensorielle sur le caractère « accrochant » révèle que seul le frottement ne décrit pas l'accrochant et qu'il est nécessaire de prendre également en compte la dureté du matériau.

Abstract :

A phenomenological study tribological behaviour of surface fabrics is presented in the frame of touch feel understanding. Fabric surfaces studied in this work represent a wide line of products used in garment industry. The conditions chosen for the tribological measurements are inspired to human touch in terms of apparent contact area, velocity and normal load. Friction coefficient in four directions of the surface is captured under various normal loads. The presence or not of superficial hairiness is essential and the role of hairiness in terms of main orientation is proved regarding tribological behaviour. Moreover, a sensorial analysis about the descriptor « unslippery » unearths that only friction cannot entirely describes unslippery, material hardness has to be also taken into account.

Mots-clefs :

tribologie ; surface textile ; toucher.

1 Introduction

La particularité d'un matériau fibreux, tel une surface textile, réside dans son caractère, multi-échelle (fibre, fil, surface tissée ou tricotée) qui est à l'origine de ses propriétés mécaniques et optiques. En effet, une surface textile peut être composée de fils entrecroisés (tissus) ou entrelacés (tricotés) ou d'une nappe de fibres dont la cohésion est donnée par thermoliage, liage chimique ou jet d'eau ou d'air (non-tissés). Ces surfaces présentent une rugosité mésoscopique, mais également une pilosité superficielle due à la présence de fibres émergeant de la surface. Cette pilosité est très spécifique à ce type de matériaux.

Dans cette étude nous nous intéressons au comportement tribologique des surfaces textiles en vue de mieux comprendre la sensation éprouvée lors du toucher. Il s'agit donc d'un contact type doigt-textile dans des conditions de vitesse, de charge normale et de directions représentant le toucher humain.

Depuis très longtemps Dreby (1943, Morrow (1931, Peirce (1930), il est reconnu que le frottement joue un rôle dans la sensation éprouvée lors du toucher d'un textile. Néanmoins, son rôle est difficile à évaluer. En effet, des surfaces textiles dont le toucher est totalement différent peuvent avoir le même coefficient de frottement Hoffman *et al.* (1951) puis Aliouche (1991). Toutefois, il est à regretter que ces études ne précisent pas toujours toutes les conditions de mesures choisies.

Dans la littérature, il est communément admis que le coefficient de frottement diminue lorsque la charge normale augmente que ce soit dans le cas d'un contact d'une surface textile contre elle-même ou contre un frotteur métallique. Wilson (1963) a été le premier à montrer que l'expression de la force de frottement surface textile contre elle-même suit la loi de puissance établie initialement par Bowden *et al.* (1959) $F = k \cdot W^n$ avec n compris entre 2/3 et 1 dépendant de la nature du contact et dépendant de la géométrie de contact et de la surface textile. Cette relation a été confirmée dans le cas également d'un contact surface textile/métal (acier ou aluminium) par Aliouche (1991).

Néanmoins, certains essais préliminaires réalisés au LPMT ont révélé que la relation entre la force de frottement et la charge normale est plus complexe qu'une simple loi de puissance. Une étude phénoménologique plus approfondie a donc été entreprise dans le cas d'un contact contre un frotteur et des surfaces textiles dans des conditions se rapprochant du toucher humain. De plus, une étude sensorielle sur le caractère accrochant des surfaces textiles complète ce travail et permet de relier le toucher humain et le comportement au frottement ainsi que la dureté du matériau.

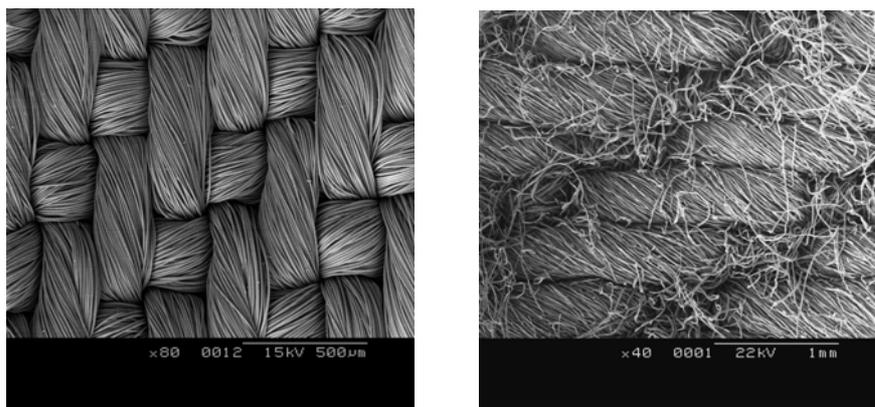


FIG. 1 – Photos MEB du sergé en microfibres de polyester (à gauche) et du sergé coton (à droite).

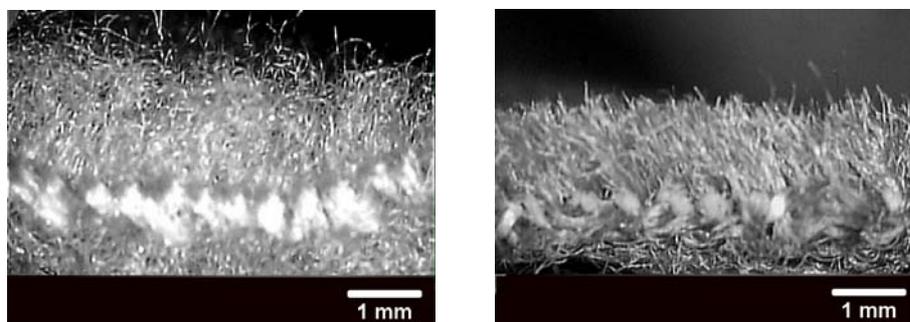


FIG. 2 – Photos de la tranche du velours (à droite) et de la polaire (à gauche).

2 Expérimentation

3.1 Surfaces textiles étudiées

Cette étude a été menée sur 15 surfaces textiles différentes : des tricots, des tissus avec une pilosité très abondante jusqu'à aucune pilosité de surface. Pour clarifier le propos seuls les résultats concernant 4 matériaux vont être présentés. Ces matériaux représentent chacun un type de comportement qui est similaire à celui observé par d'autres matériaux semblables. Les surfaces textiles choisies sont (Fig. 1 et 2) : un sergé de microfibres de polyester sans pilosité superficielle, un sergé en coton de type jean, présentant une pilosité naturelle peu abondante et irrégulière, un velours lisse, qui présente donc une pilosité longue, régulière spatialement, en longueur et ayant une orientation bien définie et une polaire avec une pilosité longue et irrégulière.

3.1 Description du tribomètre

Il s'agit d'un tribomètre type frotteur-disque avec un frotteur en acier donnant un contact plan de surface 1,5 cm². Cette surface correspond à partir de l'aire de contact moyenne des index droit et gauche de 30 sujets sous une charge de 0,8 N ; les dermatoglyphes n'ont pas été pris en compte dans le traitement il ne s'agit donc pas de l'aire réelle mais apparente de contact. La vitesse au centre du frotteur a été fixée pour cette étude à 8 cm/s et la charge normale varie de 0,3 à 3 N. La vitesse et la charge ont été choisies en fonction des résultats provenant d'une étude biomécanique réalisée au LPMT par Breugnot *et al.* (2004). La vitesse correspond à la vitesse moyenne mesurée lors du toucher d'une surface textile et la gamme de force normale va même au-delà de la gamme du toucher des surfaces textiles.

Du fait du caractère hétérogène d'une surface textile, la force de frottement mesurée n'est pas considérée sur l'ensemble d'un tour, mais est acquise sur 4 différentes zones (Fig. 3). Chaque étoffe est positionnée de telle sorte que la zone 0° corresponde au sens chaîne ou trame. De plus, si l'étoffe est pileuse le frottement dans cette zone à 0° s'effectuera dans le sens de l'orientation préférentielle des poils ; par conséquent 180° correspond au sens rebrousse-poil. La mesure est réalisée sur 20 tours pour chaque charge normale et de la charge la plus faible vers la charge la plus élevée.

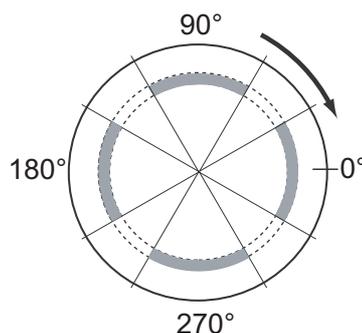


FIG. 3 – Zones de l'échantillon pendant lesquelles la force de frottement est acquise.

3 Résultats

3.1 Frottement

Les résultats sont illustrés par la figure 4 chaque point de mesure correspond à 5 essais. Ils nous montrent, contrairement à la littérature, que le coefficient de frottement augmente pour

ensuite diminuer, se stabiliser ou continuer à augmenter. Lorsque l'information est disponible, on peut constater que les mesures de frottement faites dans la littérature avec une surface textile contre un frotteur homogène sont réalisées avec des vitesses beaucoup plus faibles que dans cette étude, c'est-à-dire de l'ordre de quelques millimètre par seconde. Nous avons donc réalisé des mesures à une vitesse de 2,7 cm/s et nous constatons effectivement que le coefficient de frottement commence tout d'abord par diminuer pour ensuite diminuer ou légèrement augmenter. Les phénomènes mis en jeu sont donc totalement différents lorsque la vitesse varie.

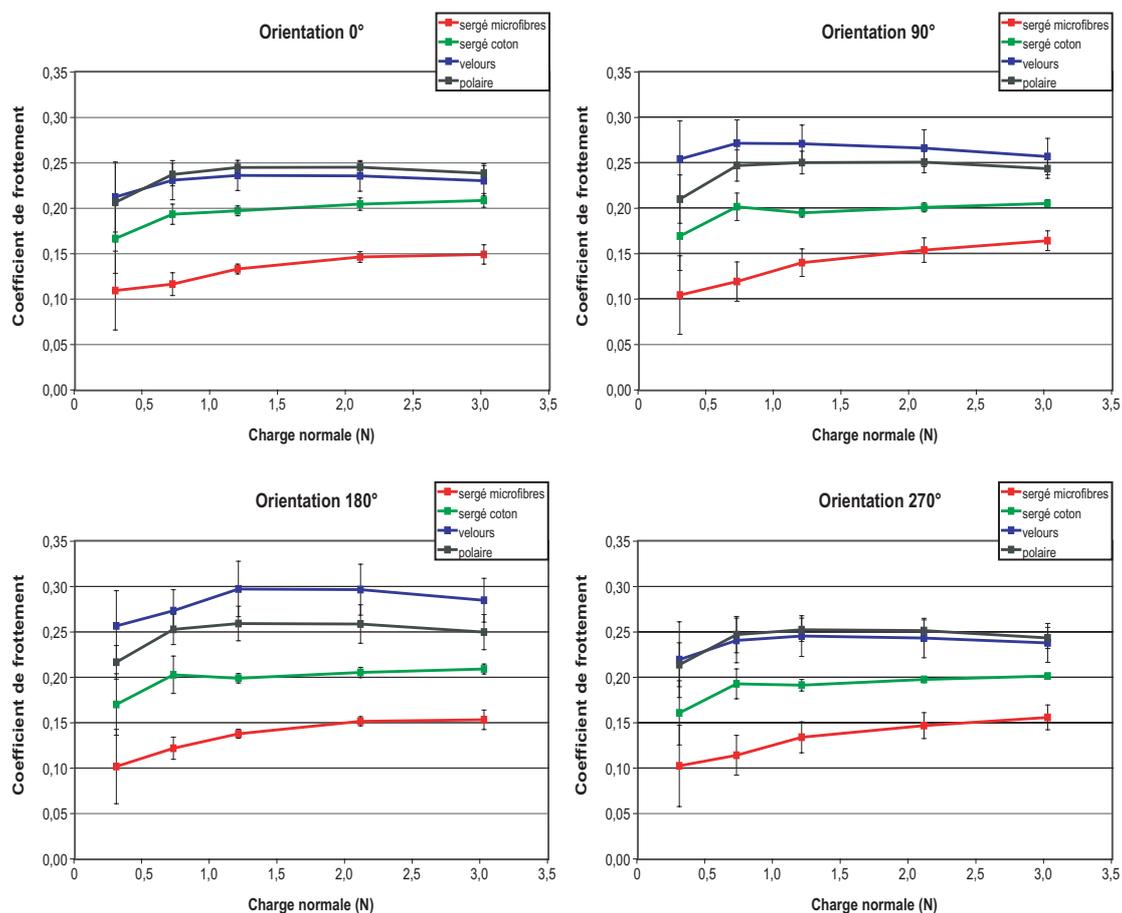


FIG. 4 – Coefficient de frottement en fonction de la charge normale pour les quatre surfaces considérées et les 4 zones.

Nous constatons également que quelle que soit la direction du frottement et la charge normale la surface dépourvue de pilosité (sergé en microfibrés) présente un frottement plus faible que les autres surfaces. La surface comportant une pilosité relativement peu abondante (sergé coton) donne un coefficient de frottement plus élevé tout en restant inférieur à celui des deux surfaces très pileuse. La polaire avec sa pilosité irrégulière a un comportement au frottement très isotrope ; en revanche le velours de par sa pilosité orientée est très sensible à la direction du mouvement. Dans le sens poil ses deux surfaces ont le même comportement au frottement. L'isotropie ou anisotropie de la surface en terme de frottement sont mises en évidence par les illustrations de la figure 5. Outre le velours, le sergé en microfibrés est également sensible à la direction du frottement. Ce phénomène ne dépend pas de sa pilosité il provient de sa structure, un sergé chaîne, qui est plus lisse dans les directions 0° ou 180° correspondant au sens chaîne que dans les deux autres directions.

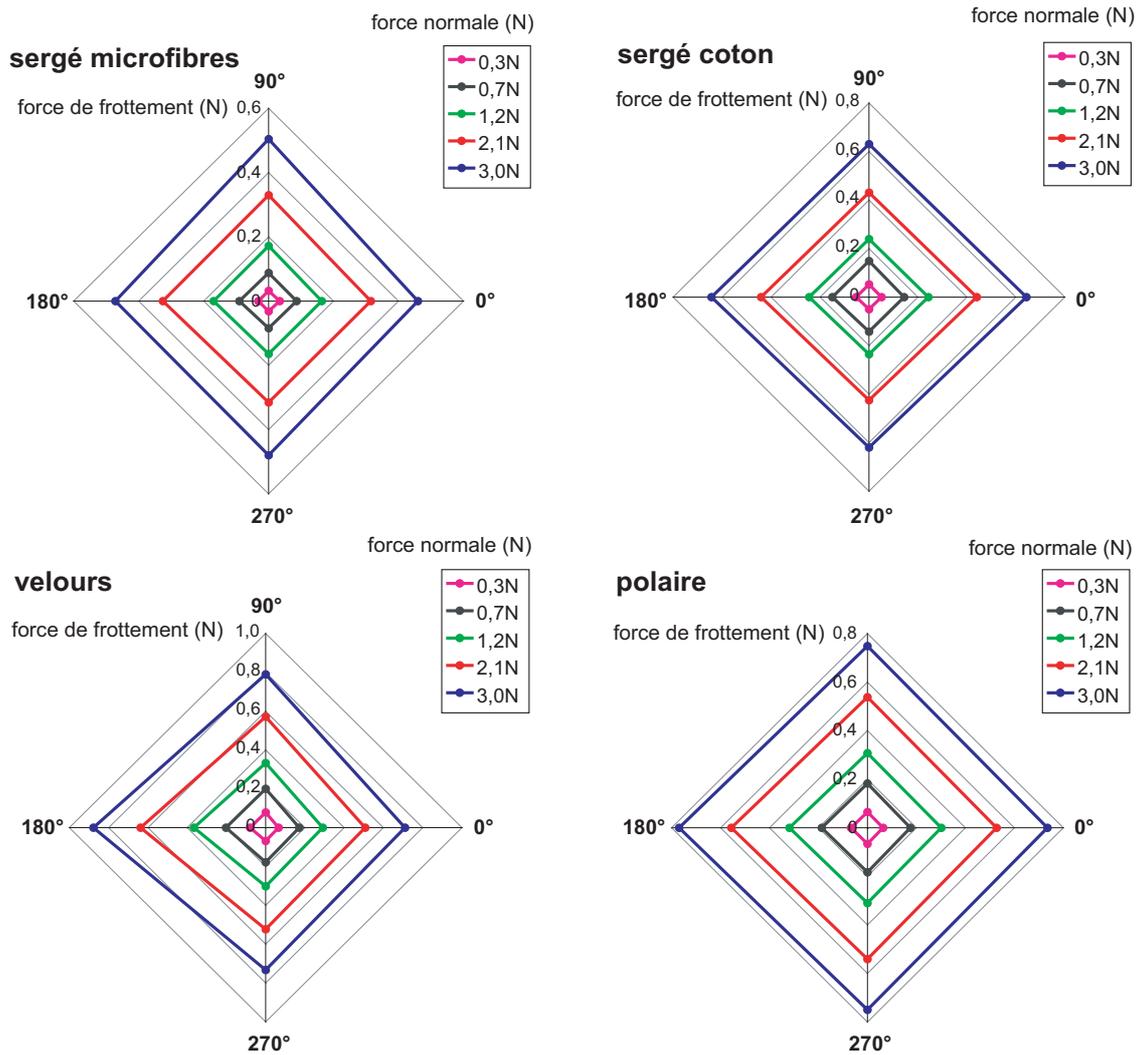


FIG. 5 – Force de frottement pour chaque surface en fonction de la charge normale et de la direction du frottement.

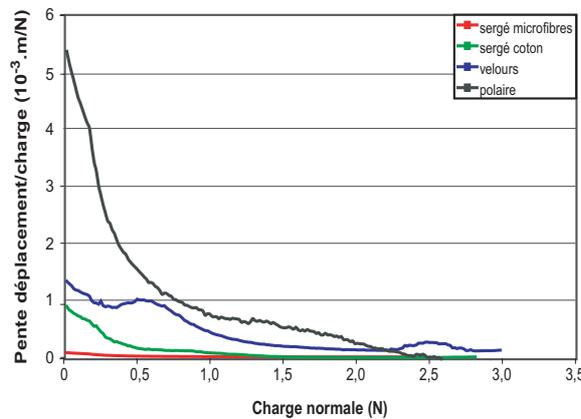


FIG. 6 – Pente instantanée représentant le déplacement/charge normale en fonction de la charge pour un indenteur circulaire plan de 1,5cm² de diamètre.

Parallèlement à ce travail, une étude par analyse sensorielle a été réalisée à l'Ecole de Biologie Industrielle sur ces étoffes selon le descripteur *accrochant* en rebrousse-poil. Il apparaît que la polaire est classée assez loin du velours selon ce descripteur. En effet, le classement selon ce descripteur est le suivant du moins accrochant au plus accrochant : sergé en microfibres, polaire, sergé coton et velours. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de tribométrie exceptés pour la polaire. Le frottement ne caractérise pas le caractère *accrochant* d'une surface textile. La dureté de ces matériaux a donc été étudiée. La figure 6 représente les pentes instantanées des courbes de déplacement en fonction de la charge normale. Il ressort d'une part que pour toutes les surfaces le comportement lors d'un test d'indentation suit la loi de Van Wyk (1946) pour les tampons fibreux étendus aux tissus par Dupuis *et al.* (1995) excepté pour le velours qui présente un changement de comportement sous environ 0,5 N. D'autre part, la polaire s'avère être beaucoup moins dures que les autres surfaces, très loin du velours. Le caractère *accrochant* d'une surface textile dépend donc de son comportement au frottement mais également de sa dureté.

4 Conclusions

Ce travail présente une analyse phénoménologique du comportement au frottement de diverses surfaces textiles dans des conditions se rapprochant du toucher humain. Les résultats montrent une forte implication de la pilosité sur le comportement tribologique de la surface, pouvant conduire à une forte hétérogénéité du frottement si la pilosité présente une orientation préférentielle. En effet, lors d'un frottement dans le sens inverse de cette orientation le frotteur fléchit tout d'abord les poils puis frotte sur eux. Une modélisation tenant compte de la flexion des poils est en cours.

Par ailleurs, des résultats issus d'une étude sensorielle menée sur le caractère *accrochant* des surfaces textiles testées par tribométrie montrent que pour le toucher humain l'*accrochant* dépend du comportement au frottement de la surface, mais également de sa dureté et ceci de façon indissociable.

Références

- Aliouche, D. 1991 Contribution à l'Étude des Mécanismes de Frottement des Étoffes, Thèse de Doctorat, Université de Haute-Alsace.
- Bowden, F. P. & Tabor, D. 1959 Friction et Lubrification (ed. Dunod), Paris.
- Breugnot, C., Bueno, M.-A., Ribot-Ciscar, E., Aimonetti, J.-M., Roll, J.-P. & Renner, M. 2004 Fabric touch: responses of mechanoreceptive afferent units and mechanical characterization. MecanoTransduction 2004 : Biologie - Physiologie - Mécanique, 135-143.
- Dreby, E. C. 1943 A Friction Meter for Determining the Coefficient of Kinetic Friction of Fabrics. Journal of Research of the National Bureau of Standards, **31**, 237-246.
- Dupuis, D., Popov, G. & Viallier, P. 1995 Compression of greystate fabrics as a function of yarn structure. Textile Research Journal, **65**, 309-316.
- Hoffman, R. M. & Beste, L. F. 1951 Some Relations of Fiber Properties to Fabric Hand. Textile Research Journal, **21**, 66-77.
- Morrow, J. A. 1931 The frictional properties of cotton materials. The Journal of the Textile Institute, T425-T440.
- Peirce, F. T. 1930 The "Handle" of Cloth as a Measurable Quantity. Journal of the Textile Institute, T377-T416.
- Van Wyk, C. M. 1946 Note on the Compressibility of Wool. The Journal of the Textile Institute, T285-T292.
- Wilson, D. 1963 A study of fabric-on-fabric dynamic friction. Journal of the Textile Institute, **54**, T143-T155.