

Conception d'un doigt artificiel à fibre optique polymérique pour application du toucher de surface textile

Kevin PEYRE^a, Michel TOURLONIAS^a, Marie-Ange BUENO^a, Fabrizio SPANO^b, René ROSSI^b

a. Université de Haute Alsace, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace

b. EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology
contact : kevin.peyre@uha.fr

Résumé :

L'objectif de ce travail est de mettre au point un capteur capable de retranscrire le toucher en utilisant une fibre optique comme élément senseur, la finalité consiste donc à développer un doigt artificiel. L'intérêt d'un tel dispositif est de raccourcir le temps de développement de nouvelles surfaces en évitant ou en diminuant l'utilisation d'un panel humain couteuse en temps et financièrement. Plusieurs doigts artificiels sont aujourd'hui présentés par différentes équipes et quelques uns sont commercialisés. L'intérêt essentiel de l'utilisation de fibres optiques réside dans le fait qu'elles ne sont pas sensibles à un environnement humide et/ou magnétique. Dans cet article sont présentés les étapes du développement de ce doigt artificiel et les premiers résultats obtenus.

Abstract :

This work aims at designing a sensor able to translate touch by means of a polymeric optical fiber as sensing unit. In the end, an artificial finger is to be produced. The main advantage of such a system is to shorten new surfaces engineering times by avoiding or reducing the use of a human panel which is expensive both in time and funding. Several artificial fingers are presented nowadays by different teams and some are marketed. The interest of optical fibers resides essentially in their insensitivity to humidity and/or magnetic fields. In this article are presented the development stages of the artificial finger and the first results obtained.

Mots clefs : doigt artificiel ; capteur mécanique ; fibre optique ; frottement ; textile

1 Introduction

Le problème de description de surfaces, notamment textiles, par une instrumentation automatisée reste difficile à appréhender. En effet, les caractérisations historiques réalisées par des panels d'experts

ne permettent pas aujourd'hui de s'adapter à l'informatisation de l'industrie. Les informations recueillies par un doigt humain sont encore mal comprises et il est difficile d'obtenir une description suffisante des phénomènes observés. Les barrières sont

- les descripteurs sensoriels employés par chaque panel, qui bien que présentant des similitudes sont aussi sujets des différences significatives ne facilitant pas la communication entre panels et encore moins s'ils ne pratiquent pas la même langue (dans ce cas la culture joue un rôle fondamental) [1]
- les différences de sensibilité et de comportement de chaque doigt [2]

Ces questions ont généré le besoin de créer un mode d'étude de surfaces textiles basé sur des paramètres physiques objectifs, comme le Kawabata Evaluation System for Fabrics [3] et sur diverses études notamment au sein du Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles. Aujourd'hui, certaines études visent à simuler des surfaces réelles par des stimulateurs tactiles [4]. Pour cela, il est nécessaire de connaître les paramètres qui permettent à un doigt humain de ressentir une surface et ainsi pouvoir générer une simulation de cette surface par un stimulateur tactile. Pour connaître et mesurer ces paramètres, nous cherchons à développer un doigt artificiel capable de les évaluer à travers une instrumentation reproductible.

2 Description du dispositif expérimental

2.1 Conception du doigt artificiel

L'objectif étant la reproduction du toucher humain, le choix s'est porté sur le développement d'un doigt artificiel. Pour ce faire l'élément sensible doit être choisi, ainsi que son environnement d'intégration.

Choix du capteur. Il a été montré qu'il est possible de caractériser l'effet de sollicitations mécaniques (compression transversale par exemple) par le biais de fibres optiques polymériques [5], [6] en observant l'évolution de l'intensité lumineuse transmise. Ces fibres dont la capacité à être sensible à l'écrasement a été montrée [7] ont l'avantage d'être flexible et moins fragiles que des fibres usuelles en verre.

Intégration du capteur. Dans la présente étude et afin d'intégrer de telles fibres optiques dans un doigt artificiel et conserver cette sensibilité de transmission sous sollicitations mécaniques, les fibres sont noyées dans du polydiméthylsiloxane (PDMS) [7]. Ainsi le PDMS transmet la déformation à la fibre lorsque le système est comprimé. Le couplage avec du PDMS assure une biocompatibilité du dispositif final qui, de plus, se trouve être résistant à l'humidité et à tout champ magnétique.

Il a été montré par Camillieri et Bueno [8] que 4 paramètres sont primordiaux pour la reproduction du comportement en frottement sur textile d'un doigt par un doigt artificiel : la forme arrondie du doigt, sa dureté, sa texture, ses propriétés adhésives. En particulier il a été montré que la texture est le paramètre qui permet de reproduire le comportement en frottement d'un doigt humain par un doigt artificiel lors du toucher d'une surface textile pileuse. Le comportement caractéristique du doigt lors d'un frottement est principalement dû aux dermatoglyphes. Une dimension moyenne de cette texture pour ce doigt artificiel est choisie, à savoir des cercles concentriques de 100 μ m de profondeur et 500 μ m de période [9]. Ensuite le coefficient de frottement de la surface de contact du doigt artificiel avec le textile considéré sera adapté pour être du même ordre que celui d'un doigt humain contre ce même textile [8]. Ces optimisations sont réalisées en modifiant les propriétés mécaniques du polymère [10]. Le capteur étudié est composé d'une structure aluminium, d'un corps mou en PDMS (Sylgard[®] 184) dans lequel est noyée une fibre optique

polymérique développée à l'EMPA dont la longueur utile est de 20mm (longueur de fibre optique susceptible d'être déformée lors des sollicitations imposées au doigt). Le contact entre la surface frottée et le capteur se fait par un téton de PDMS (Sylgard[®] 184) de dureté plus importante à la suite d'un traitement thermique particulier. En ajustant la dureté de ce téton, le coefficient de frottement avec le textile change. D'un point de vue optique le dispositif permettant de caractériser la réponse du capteur en fonction des stimuli mécaniques est composé d'une source lumineuse Avalight Hal mini (lampe halogène 10W), de deux fibres optiques de verre large bande 250-2500nm et d'un spectromètre Avantes AvaspecULS2048CL-Evo. Pour permettre le fonctionnement du capteur, il faut observer les variations de transmission de lumière de la fibre. La fibre est non gainée, ce qui implique que le saut d'indice de réfraction entre la fibre et le milieu extérieur, ici le PDMS, ne correspond pas à une valeur de saut usuelle pour une transmission du flux lumineux dans le cadre de télécommunications. De la lumière s'échappe tout au long de la fibre. De plus, la fibre éjecte plus de lumière à chaque courbure, ce qui intervient lors de déformations imposées par un stimulus mécanique, ce qui rend l'interaction détectable par l'intensité transmise. Lorsque la fibre est stimulée mécaniquement, il existe des petites déformations dues à la compression du matériau et un déplacement global observable par des paramètres comme la courbure de la fibre. De cette façon, l'angle d'incidence local du rayon lumineux sur l'interface fibre-PDMS change et peut sortir de l'ouverture numérique de la fibre.

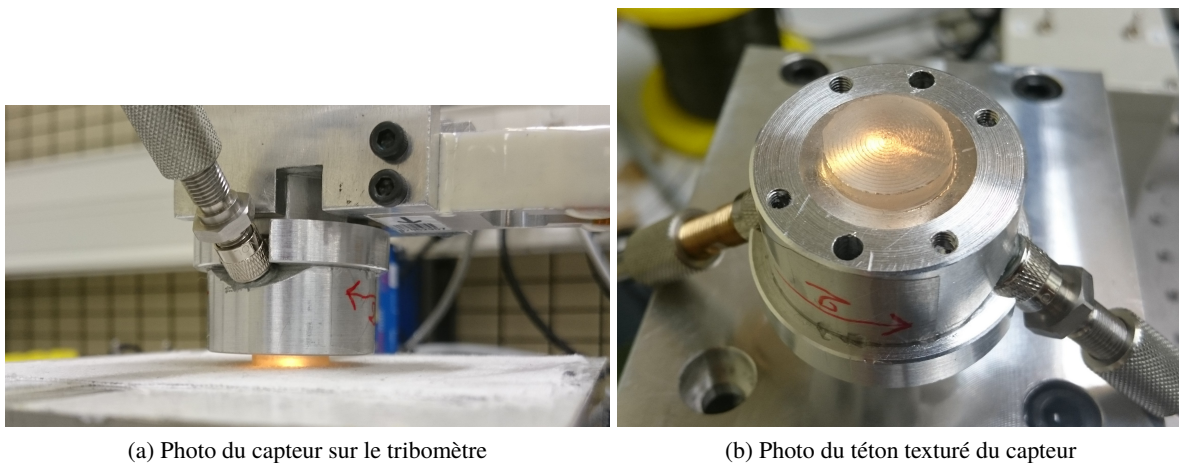


FIGURE 1 – Photo de différentes vues du capteur

La figure 2 illustre un cas particulier permettant d'observer un rayon incident sortant de la fibre du fait de la courbure :

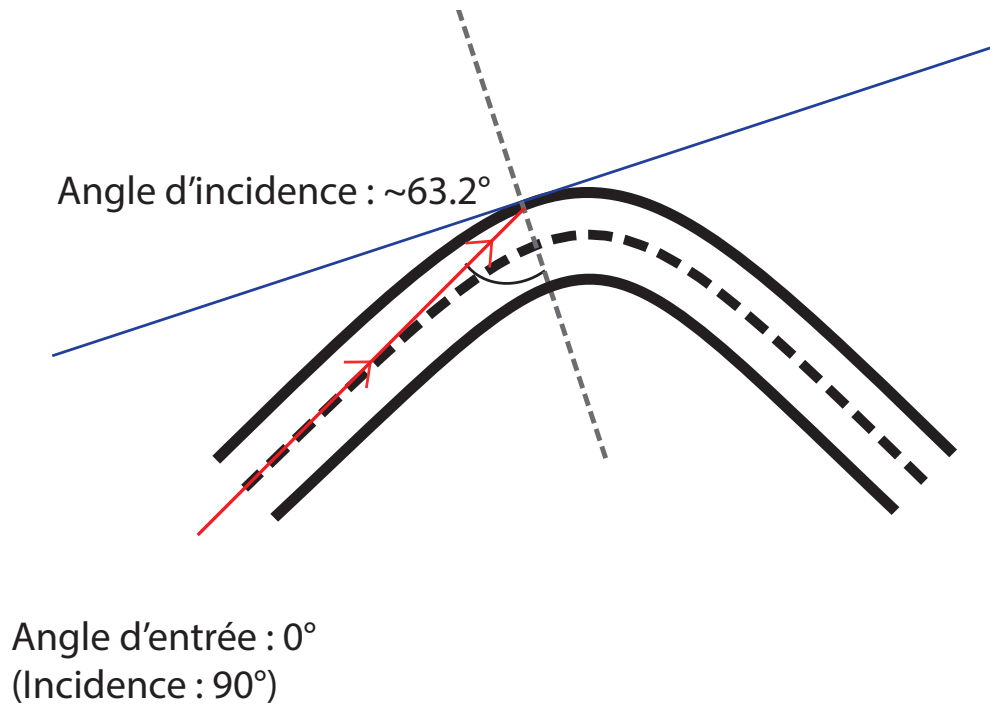


FIGURE 2 – Illustration du décalage d'angle d'incidence dans la courbure

2.2 Test en compression et en frottement

Pour évaluer ce doigt artificiel, deux études complémentaires sont menées. Un premier montage permet de réaliser un test de compression sur le doigt. Il s'agit d'une machine d'indentation développée par Melki [11]. Un plot d'aluminium de diamètre 15 mm vient appuyer sur le téton du doigt artificiel. Le plot est relié à un capteur de force et une platine de translation pilotée par ordinateur. Ce dispositif permet d'obtenir une courbe force déplacement. Le second dispositif permet d'évaluer le comportement en frottement du capteur. Il s'agit d'un tribomètre développé au LPMT [12], [13]. La charge normale est maintenue constante par l'application d'une masse morte (Figure 3).

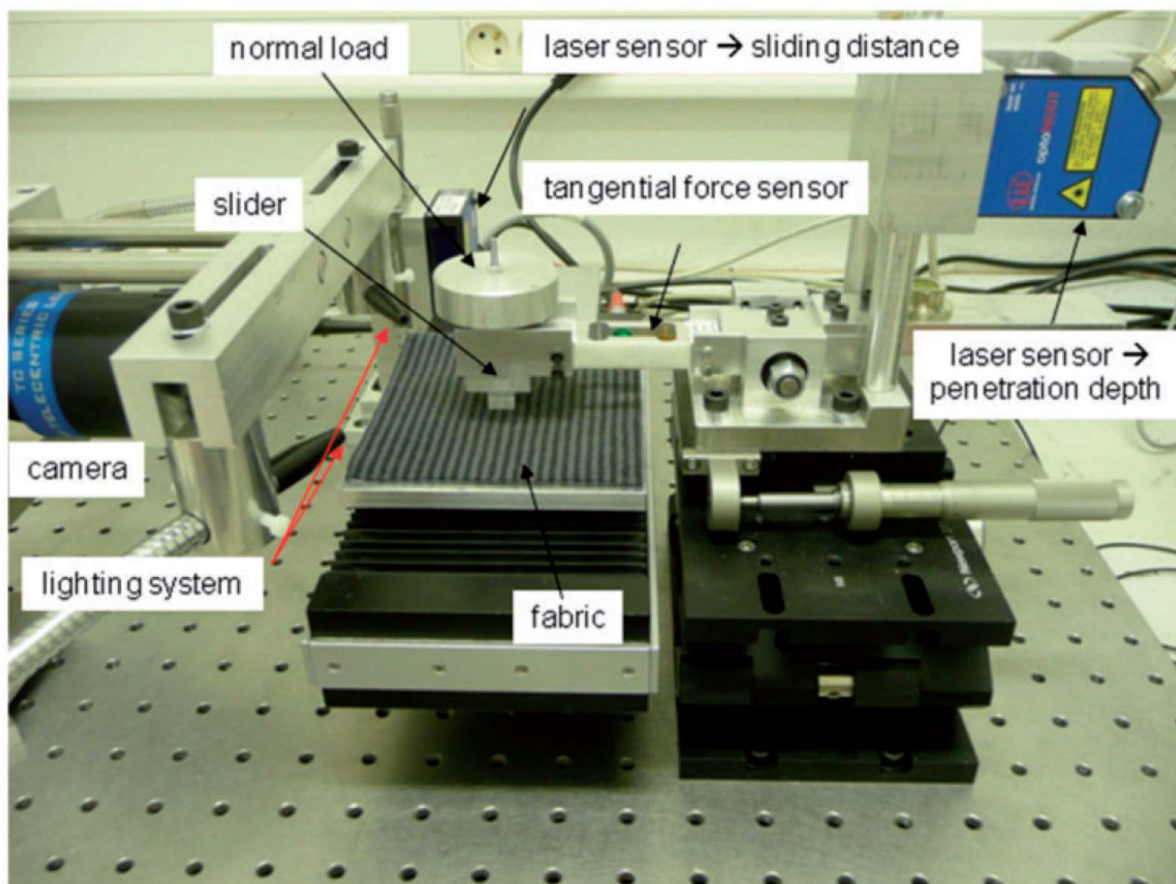


FIGURE 3 – Photographie du tribomètre

Dans les deux cas, la transmission lumineuse est mesurée au cours des essais. Le travail en compression permet de travailler sur la sensibilité du capteur, en effet, la position initiale de la fibre a une importance non négligeable sur l'amplitude de variation du signal transmis. Les premiers essais ont été réalisés sur un capteur avec une fibre horizontale. Ce capteur avait une faible résolution et ne permettait pas de percevoir des efforts avec une force normale comparable aux forces appliquées lors du toucher [14]. En prenant comme référence une position de fibre courbée, la sensibilité de mesure augmente. En conséquence, le frotteur a été réalisé avec un angle de fibre de 45° par rapport au plan horizontal, afin d'augmenter la sensibilité de la fibre en augmentant l'éjection de lumière pour des petits efforts.

3 Résultats

3.1 Comportement en compression

La première étude concernant le comportement en compression permet de vérifier la capacité du système à mesurer un effort normal à la surface frottante. La figure 4 illustre la variation de l'énergie transmise en fonction de la charge appliquée :

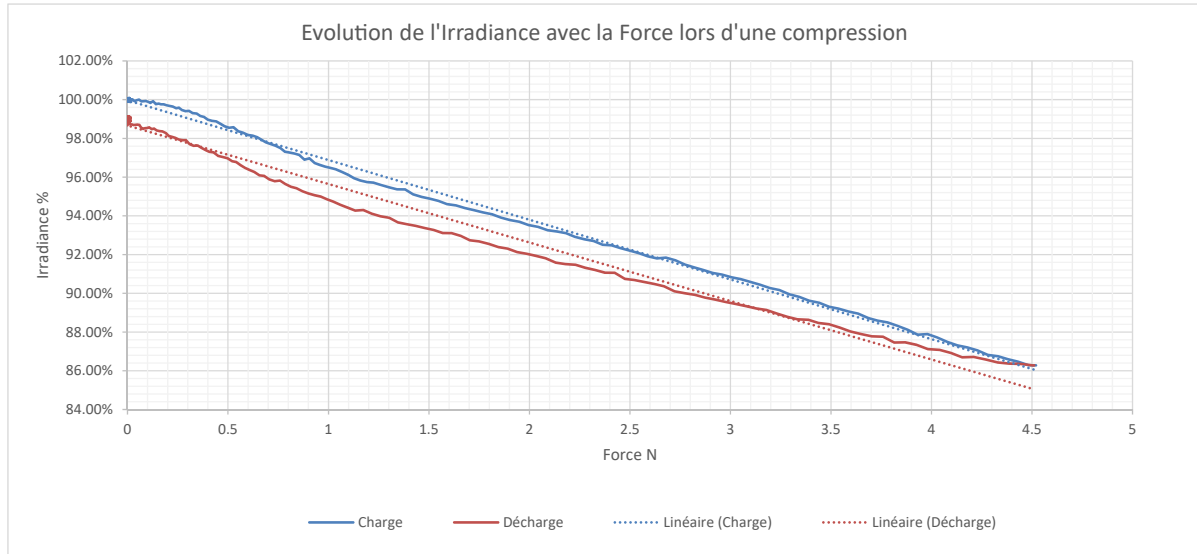


FIGURE 4 – Tracé de l'évolution de la transmission de lumière (Irradiance) selon la force de compression appliquée

Cette courbe permet de constater que :

- la relation entre la transmission de lumière et la force appliquée peut être considérée comme linéaire
- de par la nature visco-élastique du polymère, il n'y a pas un retour entièrement élastique en fin d'essai (cela se réalise après un court repos)

L'étude en compression du prototype réalisé encourage la faisabilité d'un doigt artificiel basé sur une fibre optique polymérique pour application de toucher. Ainsi le doigt a été testé comme frotteur sur le tribomètre présenté précédemment.

3.2 Comportement au frottement

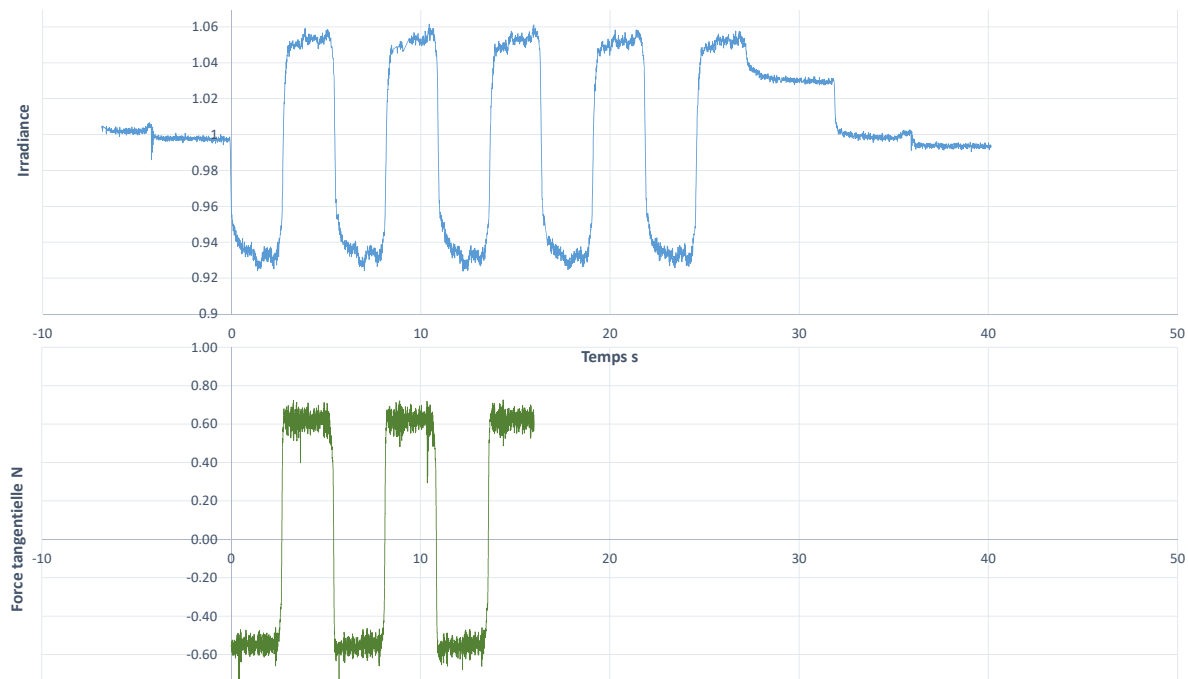


FIGURE 5 – Signal lumineux acquis pendant l’essai de frottement et force tangentielle mesurée correspondante

Les essais ont été réalisés avec une force normale constante de 0.72 N (soit 3.2 kPa) correspondant au toucher et le frottement a été réalisé de manière alternative et de direction parallèle à l’axe de la fibre contre une étoffe textile d’armure toile.

Il semble s’établir ici une corrélation entre le sens de frottement ou la force tangentielle appliquée sur la base du doigt artificiel et l’intensité lumineuse transmise. Lors du frottement, la fibre se déplace dans un sens qui dépend de la direction des forces tangentielles. Cela va augmenter sa courbure localement. Contrairement à l’intuition, le positionnement de l’état stable du doigt (sans forces tangentielles) est centré par rapport aux états en mouvement [fig. 5]. Cela implique qu’une des positions ne diminue pas la transmission de lumière, mais l’augmente de la même façon que la transmission de lumière est diminuée dans l’autre sens. Ce cas a été reproduit dans la fabrication d’un deuxième prototype mais n’a pas encore été expliqué. L’étude de la transmission de la fibre optique seule en déformation ne permet pas d’expliquer le phénomène observé au sein du capteur. Les résultats obtenus dans ces conditions d’expérimentation conduisent à une chute de la transmission quelle que soit la direction de la force appliquée.

4 Conclusion

Ce prototype s'approche d'un capteur de frottement avec la spécificité de récolter des informations au plus près de la surface de contact. Il est possible de modifier la hauteur séparant la surface de frottement de la fibre, de manière à s'affranchir des perturbations intervenant entre le frottement et le capteur de mesure comme il en existe lors de l'utilisation d'un bras de mesure. L'exploitation de ces résultats n'est pas possible sans une compréhension suffisante des phénomènes régissant le comportement observé. Néanmoins, les observations réalisées au cours des essais menés renseignent sur le potentiel de ce type de technologie.

Références

- [1] Sueo Kawabata. *The standardization and analysis of hand evaluation*. Textile Machinery Society of Japan, 1980.
- [2] M. Condon, I. Birznieks, K. Hudson, D. K. Chelvanayagam, D. Mahns, H. Olausson, and V. G. Macefield. Differential sensitivity to surface compliance by tactile afferents in the human finger pad. *Journal of Neurophysiology*, 111(6) :1308–1317, March 2014.
- [3] S. Kawabata. The development of the objective measurement of fabric handle. *Objective specification of fabric quality, mechanical properties and performance*, pages 31–60, 1982.
- [4] Marie-Ange Bueno, Betty Lemaire-Semail, Michel Amberg, and Frédéric Giraud. A simulation from a tactile device to render the touch of textile fabrics : a preliminary study on velvet. *Textile Research Journal*, 84(13) :1428–1440, August 2014.
- [5] Marek Krehel, René Rossi, Gian-Luca Bona, and Lukas Scherer. Characterization of Flexible Copolymer Optical Fibers for Force Sensing Applications. *Sensors*, 13(9) :11956–11968, September 2013.
- [6] Marek Krehel, Michel Schmid, René Rossi, Luciano Boesel, Gian-Luca Bona, and Lukas Scherer. An Optical Fibre-Based Sensor for Respiratory Monitoring. *Sensors*, 14(7) :13088–13101, July 2014.
- [7] F. Spano, A. Dabrowska, B. M. Quandt, L. Boesel, R. M. Rossi, A. Massaro, and A. Lay-Ekuakille. Flexible touch sensors based on nanocomposites embedding polymeric optical fibers for artificial skin applications. In *Nanotechnology (IEEE-NANO), 2015 IEEE 15th International Conference on*, pages 1295–1298. IEEE, 2015.
- [8] Brigitte Camillieri and Marie-Ange Bueno. Artificial finger design for investigating the tactile friction of textile surfaces. *Tribology International*, 109 :274–284, May 2017.
- [9] Pierre-Henri Cornuault, Luc Carpentier, Marie-Ange Bueno, Jean-Marc Cote, and Guy Monteil. Influence of physico-chemical, mechanical and morphological fingerpad properties on the frictional distinction of sticky/slippery surfaces. *Journal of The Royal Society Interface*, 12(110) :20150495, September 2015.
- [10] I D Johnston, D K McCluskey, C K L Tan, and M C Tracey. Mechanical characterization of bulk Sylgard 184 for microfluidics and microengineering. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 24(3) :035017, March 2014.
- [11] Safi Melki. *Etude du mouillage de structures fibreuses multi échelles : robustesse de l'hydrophobicité*. PhD thesis, Mulhouse, 2014.

- [12] Eglantine Baussan. *Experimental simulation and modeling of sock-to-skin friction during running*. phdthesis, Université de Haute Alsace - Mulhouse, December 2010.
- [13] M. A. Bueno, R. Bocquet, M. Turlonias, R. M. Rossi, and S. Derler. Study of friction mechanisms of hairy textile fabrics. *Wear*, 303(1–2) :343–353, June 2013.
- [14] Marie-Ange Bueno, Betty Lemaire-Semail, Michel Amberg, and Frédéric Giraud. Pile Surface Tactile Simulation : Role of the Slider Shape, Texture Close to Fingerprints, and the Joint Stiffness. *Tribology Letters*, 59(1), July 2015.