



**HAL**  
open science

## **Modélisation de l'effet du vieillissement du tissu cutané sur la dynamique du frottement avec le doigt humain**

Emna Amaied, Jean-Michel Bergheau, Hassan Zahouani

### ► **To cite this version:**

Emna Amaied, Jean-Michel Bergheau, Hassan Zahouani. Modélisation de l'effet du vieillissement du tissu cutané sur la dynamique du frottement avec le doigt humain. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. <hal-01516439>

**HAL Id: hal-01516439**

**<https://hal.science/hal-01516439v1>**

Submitted on 1 May 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC0 1.0 - Universal - International License

# Modélisation de l'effet du vieillissement du tissu cutané sur la dynamique du frottement avec le doigt humain

E.Amaied<sup>1\*</sup>, J-M.Bergheau<sup>1</sup>, H.Zahouani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, ENISE LTDS UMR 5513 CNRS, Saint-Étienne, France

\* [emma.amaied@enise.fr](mailto:emma.amaied@enise.fr)

**Résumé** — Dans ce travail on s'intéresse à l'effet du vieillissement cutané sur la tribologie tactile avec le doigt humain. Deux dispositifs expérimentaux ont été développés pour étudier le comportement mécanique et tribologique avec le doigt humain, considéré dans ce travail comme un capteur de frottement et de vibrations. L'approche numérique développée est basée sur un modèle d'éléments finis 2D qui simule le frottement du doigt sur une surface pour deux tranches d'âges (jeune et âgé) dont le but est de comprendre l'effet du vieillissement sur les vibrations générées lors d'un test de frottement.

**Mots clés** — Vieillissement, Viscoélastique, Fluage, Modèle éléments finis, Frottement, Vibrations.

## 1 Introduction

Le toucher fournit des informations essentielles sur notre environnement [1]. Lorsque le doigt humain glisse sur une surface, des vibrations se propagent à travers la peau en activant les mécanorécepteurs. Avec l'âge, la peau humaine subit des transformations biologiques et mécaniques [2, 3]. Ce changement de comportement mécanique a des incidences sur la perception tactile et la résolution spatiale de la texture chez les seniors [4]. L'objectif de cette étude est de développer une simulation numérique du contact dynamique du doigt humain lors d'un essai de frottement. On s'intéresse à l'effet de l'échelle des textures sur l'excitation du doigt humain et l'effet du vieillissement naturel de la peau humaine sur la réponse dynamique en termes de vibrations. Pour ce faire, on étudie les caractéristiques rhéologiques du doigt humain afin d'obtenir un modèle qui soit le plus réaliste possible. Les résultats expérimentaux et numériques montrent que le vieillissement modifie grandement les vibrations générées par frottement dans le tissu cutané.

## 2 Études Expérimentales

Dans cette partie expérimentale, on a développé un tribomètre spécifique qui quantifie les vibrations transmises au doigt lors d'un test de la perception tactile à l'aide d'un accéléromètre collé sur le doigt humain. On s'intéresse à la corrélation entre l'échelle de la rugosité et le niveau de vibrations. La figure 1, montre la morphologie de papier abrasif utilisé pour ce test de perception et le signal vibratoire transmis. Ces résultats montrent une augmentation de l'amplitude des vibrations selon l'échelle de la rugosité. Afin de mieux comprendre le contact dynamique du doigt humain avec les textures, on a développé un modèle numérique qui simule le test de frottement.

## 3 Simulations Numériques

Pour étudier le contact avec frottement du doigt humain avec des textures à différentes échelles, nous avons développé un modèle 2D sous Abaqus explicite qui représente l'extrémité du doigt dont il tient compte des différentes couches en contact avec trois surfaces texturées. On s'intéresse à la corrélation entre l'échelle de la rugosité et le niveau de vibration dont les amplitudes moyennes sont (100  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$  et 30  $\mu\text{m}$ ). On a quantifié les vibrations transmises au modèle du doigt humain en contact avec différentes surfaces rugueuses. Le doigt se compose d'un ongle et d'un os et de trois couches qui représentent

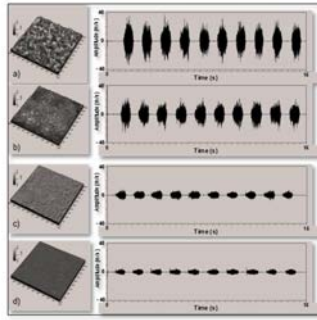


FIGURE 1 – La morphologie du papier abrasif et les signaux de vibration du doigt humain [7]

l'épiderme, le derme et l'hypoderme comme montre la figure 2. Pour étudier les effets de l'âge sur la perception tactile, nous avons utilisé deux modèles rhéologiques (jeunes et âgé) pour une même géométrie des couches cutanées, en prenant en compte l'effet de l'âge à travers les propriétés mécaniques des de l'épiderme et du derme. Les simulations numériques ont été réalisées en parallèle avec les études expérimentales de la perception tactile. Deux séries de tests numériques ont été réalisées dans cette étude. Pour chaque cas, le bout du doigt est en contact avec une plaque. La plaque est fixe. Le doigt se déplace verticalement vers la plaque pour obtenir une valeur prédéterminée de charge. La deuxième étape consiste à faire glisser le doigt sur la rugosité. Ce modèle ne prend pas en compte le comportement anisotrope et les effets thermiques. Il permet de déterminer les contraintes et les déformations dans les couches sous cutanées et il détermine les propagations des vibrations dans chaque couche de la pulpe du doigt.

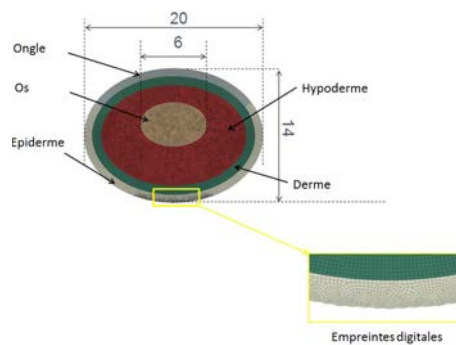


FIGURE 2 – Le modèle du doigt multicouche (Toutes les dimensions en mm)

Pour étudier les propriétés mécaniques de la peau, nous avons développé un dispositif de fluage par jet d'air. Cet appareil est dédié aux expérimentations in-vivo pour effectuer des essais de fluage sans contact. Le dispositif utilisé est schématisé par la figure 3. L'air sollicite la pulpe du doigt humain perpendiculairement et comprime la pulpe du doigt avec une certaine profondeur. L'enfoncement est mesurée à l'aide d'un système de triangulation laser (E). la figure 4 montre deux essais de fluage pour un sujet jeune et un sujet âgé. Ces mesures expérimentales in-vivo sont nécessaires pour identifier les paramètres rhéologiques en fonction de l'âge.

## 4 Résultats

La figure 5 montre les vibrations transmises au modèle du doigt humain en contact avec différentes échelles de rugosité. Les résultats ont montré une tendance similaire avec les tests expérimentaux. Les vibrations montrent que la rugosité de la surface joue le rôle de stimuli. Après la validation de notre modèle on a étudié l'effet du vieillissement sur la déformation du doigt par indentation et frottement. L'indentation du doigt de deux sujets sur les surfaces texturées conduit à une répartition des contraintes et déformations à chaque point en dessous de la surface de la peau. Tout au long de cette partie, nous avons étudié la distribution des contraintes dues à l'indentation pour les deux sujets. La répartition des

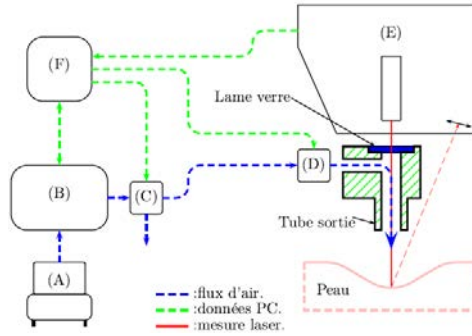


FIGURE 3 – Dispositif de fluage par jet d'air [7]

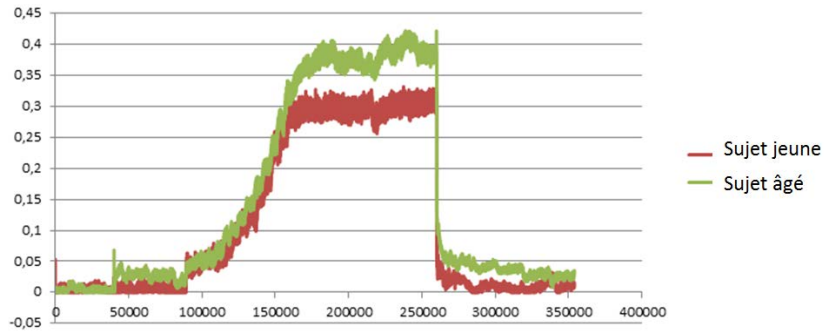


FIGURE 4 – Essai de fluage in-vivo par jet d'air pour un sujet jeune et un sujet âgé

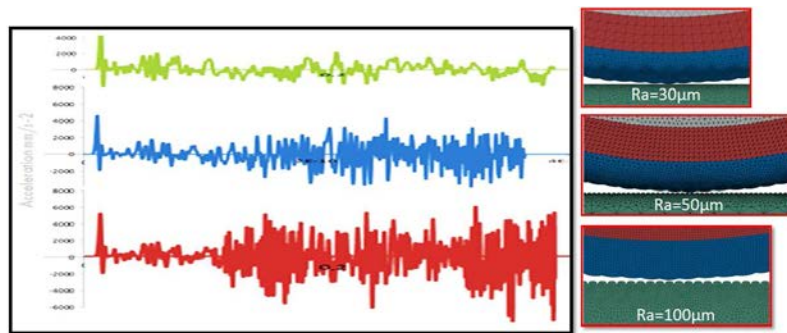


FIGURE 5 – Les surfaces texturées et les vibrations transmises au doigt

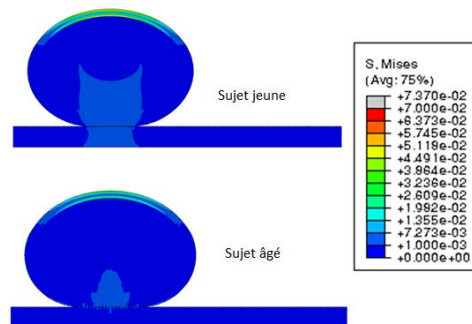


FIGURE 6 – Indentation du doigt de deux sujets

contraintes et des déformations lors du contact statique et avec frottement, permettent d'identifier l'effet de l'âge sur le comportement mécanique du doigt lors du frottement. Ces résultats permettent de mieux comprendre les résultats expérimentaux. Figure6 montre la distribution des contraintes de surface pour les deux sujets (jeunes et âgé) Dans cette première étape (indentation), des récepteurs fournissent une image de la structure spatiale des surfaces qui donnent une idée de la présence de l'objet. Pour le doigt

de sujet âgé nous perdons la sensibilité.

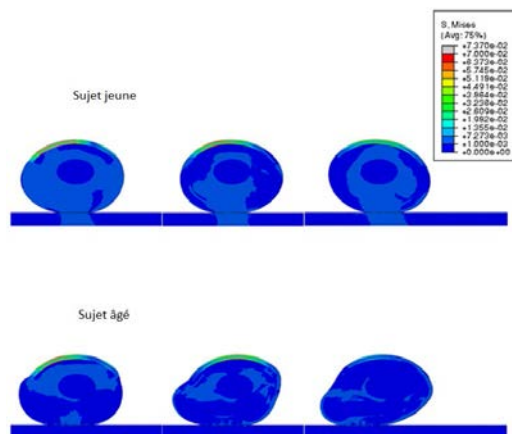


FIGURE 7 – Glissement du doigt de deux sujets

Figure 7 Distribution de la contrainte dynamique lorsque le doigt glisse sur une surface texturée pour les deux groupes de sujets jeunes et âgé. Pour une même texture, les résultats en termes de niveau vibratoire moyen en (dB) montrent des différences importantes en fonction de l'âge : 135 dB pour une jeune peau et 142 dB pour une peau âgée. Les résultats du modèle montrent le rôle important des propriétés mécaniques dans la perception tactile.

## 5 Conclusion

Dans cette étude ,nous avons développé un nouveau modèle qui simule le contact dynamique du doigt humain avec des différentes textures. Dans ce modèle on prend en compte les différentes couches du doigt et les propriétés mécaniques de chaque couche en fonction de l'âge. On analyse, pour la première fois, l'effet de vieillissement sur les vibrations générées et la distribution des contraintes et des déformations du doigt lors d'un test du frottement.

## Références

- [1] Roland S Johansson and J Randall Flanagan. Coding and use of tactile signals from the fingertips in object manipulation tasks. *Nature reviews. Neuroscience*, 10(5) :345–59, May 2009.
- [2] N. Asamura, N. Yokoyama, and H. Shinoda. A method of selective stimulation to epidermal skin receptors for realistic touch feedback. *Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316)*, pages 274–281, 1999.
- [3] Balasundar I. Raju and Mandayam A. Srinivasan. Encoding and Decoding of shape in tactile sensing. *A touch Lab Report*, 1999.
- [4] Massimiliano Valeriani, Francesca Rangi, and Salvatore Giaquinto. The effects of aging on selective attention to touch : a reduced inhibitory control in elderly subjects? *International Journal of Psychophysiology*, 49(1) :75–87, July 2003.
- [5] E Poliakoff, S Ashworth, C Lowe, and C Spence. Vision and touch in ageing : crossmodal selective attention and visuotactile spatial interactions. *Neuropsychologia*, 44(4) :507–17, January 2006.
- [6] NIKOLAJS CAUNA and LEONARD L. ROSS. THE FINE TOUCH STRUCTURE OF MEISSNER ' S OF HUMAN FINGERS CORPUSCLES. *JOURNAL OF BIOPHYSICAL*, 1523(C 1), 1960.
- [7] H. Zahouani, S. Mezghani, R. Vargiolu, T. Hoc, and M. EL Mansori. Effect of roughness on vibration of human finger during a friction test. *Wear*, 301(1-2) :343–352, April 2013.