



**HAL**  
open science

## **Dispositif ex vivo de suivi en temps réel des propriétés mécaniques de peau maintenue en survie par microrhéologie ultrasonore**

Vincent Gauthier, Alice Lemarquand, Régis Besse, Emmanuel Caplain, Yohan  
Le Diraison, Stephane Serfaty, Jean-Yves Le Huerou

### ► **To cite this version:**

Vincent Gauthier, Alice Lemarquand, Régis Besse, Emmanuel Caplain, Yohan Le Diraison, et al..  
Dispositif ex vivo de suivi en temps réel des propriétés mécaniques de peau maintenue en survie  
par microrhéologie ultrasonore. C2i 2019 : 8ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, I2M  
Bordeaux, Jan 2019, Bordeaux, France. hal-02512572

**HAL Id: hal-02512572**

**<https://hal.science/hal-02512572>**

Submitted on 19 Mar 2020

**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.

# **Dispositif *ex vivo* de suivi en temps réel des propriétés mécaniques de peau maintenue en survie par microrhéologie ultrasonore**

*Vincent Gauthier, Alice Lemarquand, Régis Besse, Emmanuel Caplain, Yohan Le Diraison, Stéphane Serfaty, Jean-Yves Le Huérou*

Laboratoire SATIE – Université de Cergy-Pontoise  
5 Mail Gay Lussac, 95000 Neuville-Sur-Oise

## **1. Introduction**

La caractérisation des interactions entre l'environnement et la peau est une problématique transdisciplinaire, puisqu'elle touche par exemple, aussi bien aux prothèses intelligentes pour la reconstruction des perceptions haptiques, que le domaine de la santé et du bien-être au travers de la conception en amont de substances topiques. En effet pour ces derniers, notamment pour les cosmétiques, il est assez ardu d'évaluer l'efficacité et la sensorialité des produits en amont de la conception : il est nécessaire de développer une formulation prototype avant de pouvoir effectuer des tests *in vivo* sur panels humains. Par ailleurs, de par la réglementation REACH, ces tests ne peuvent être entrepris qu'une fois l'innocuité du produit prouvée. Ceci entrave le développement de formules innovantes faisant intervenir des nouveaux ingrédients et limite l'optimisation des propriétés sensorielles. La mise en œuvre de moyens de mesure alternatifs aux tests *in vivo* (sur panel humain et sur animaux), mais aussi *in vitro* (qui manquent de précision vis-à-vis des applications pratiques) pourrait être une réponse à ces problématiques d'optimisation.

Le développement d'un biocapteur *ex vivo* faisant intervenir une technique de microrhéologie ultrasonore est une solution. Elle consiste à instrumenter un explant de peau maintenu en survie par un quartz à ondes de cisaillement (Thickness Shear Mode Quartz), afin de remonter aux propriétés viscoélastiques de la peau. Par extension elle l'étude des interactions entre la peau et son environnement.

## **2. La peau, un matériau viscoélastique complexe**

Bien que la peau soit un tissu organique dont la structure diffuse explique la complexité de ses propriétés, il est possible dans une première approximation, de la considérer comme un matériau viscoélastique multicouches. En effet, d'après [1], [2], trois couches sont discernables de par leurs propriétés, leurs compositions, et leur position. De la plus profonde à la couche superficielle, sans compter l'hypoderme se trouvent : le derme qui est la charpente de la peau, faite de fibres élastiques plongées dans un gel appelé « substance fondamentale » ; l'épiderme qui est constitué de cellules kératinisées fortement liées les unes aux autres et qui se renouvellent constamment ; et la couche cornée (ou *stratum corneum*) qui est la zone terminale des kératinocytes. Ceux-ci s'y anucléent, s'y aplatissent, et s'y empilent en étant liés les uns aux autres par un ciment lipidique extracellulaire.

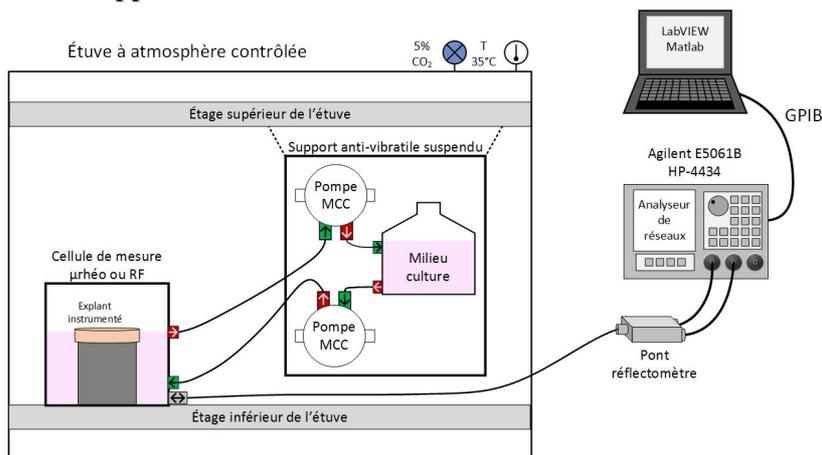
Ainsi lorsqu'il s'agit d'étudier les propriétés mécaniques de la peau, il semble cohérent de considérer cette dernière comme étant viscoélastique [3], la derme étant une couche au comportement plutôt visqueux tandis que l'épiderme se rapproche plus d'un solide élastique [4].

## **3. Caractérisation des propriétés viscoélastiques par microrhéologie ultrasonore**

L'approche par microrhéologie ultrasonore permet de suivre en temps réel les modules élastique et visqueux, respectivement notés  $G'$  et  $G''$ , d'un fluide complexe en cisaillement à partir d'une mesure d'impédance d'un quartz TSM en réflexion autour de ses résonances mécaniques dont le fondamental  $f_0$  se trouve autour de 5MHz [5]. La caractérisation se fait à une échelle de la dizaine de micromètres. Elle a été notamment mise en œuvre pour suivre l'acidification d'un yaourt [6] ou la fibrillation de la protéine tau, observables chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer [7].

La chaîne expérimentale (Cf. Figure 1) utilisée pour le suivi des propriétés mécaniques met en œuvre un PC pilotant un analyseur de réseau qui permet de mesurer l'impédance en réflexion du quartz. L'explant est maintenu en survie au sein d'une cellule de mesure dédiée (Cf. Figure 2) à l'aide

d'un système d'apport en fluide de survie fait de deux pompes péristaltiques (une pour l'admission, l'autre pour l'évacuation par trop-plein du fluide). Le tout est maintenu dans un incubateur à une température de 37°C et un apport en CO<sub>2</sub> de 5%.



**Figure 1.** Banc de mesure pour l'étude microrhéologique d'explants de peau maintenus en survie



**Figure 2.** Cellule de mesure dédiée à l'étude microrhéologique d'explants de peau maintenus en survie

#### 4. Résultats préliminaires

Des premières expériences sur explants de peau congelés ont été menées pour valider le dispositif expérimental et le système d'apport en fluide de survie. Le suivi pendant sept jours de  $G'$  et  $G''$  sur deux explants, issus d'une même plasticité et mesurés en parallèle, a permis de mettre en évidence que la déshydratation des explants se traduit par une augmentation des modules élastiques et visqueux pour les multiples de  $f_0$  de rang élevés. Par ailleurs des expériences sur explants maintenus en survie permettent de remonter aux changements structuraux survenant lors de l'application de crèmes cosmétiques. Enfin, ces mêmes expériences montrent que la dégradation du maintien en survie est détectable par la mesure de  $G'$  et de  $G''$ .

#### 5. Références

- [1] A. Méliopoulos and C. Levacher, *La peau, Structure et physiologie*, 2nd ed. 2012.
- [2] B. Dréno, "Anatomie et physiologie de la peau et de ses annexes," *Ann. Dermatol. Venereol.*, vol. 136, no. SUPPL. 10, pp. S247–S251, 2009.
- [3] C. Edwards and R. Marks, "Evaluation of biomechanical properties of human skin," *Clin. Dermatol.*, vol. 13, pp. 375–380, 1995.
- [4] B. Holt, A. Tripathi, and J. Morgan, "Viscoelastic response of human skin to low magnitude physiologically relevant shear," *J. Biomech.*, vol. 41, no. 12, pp. 2689–2695, Aug. 2008.
- [5] C. Ould-Ehssein *et al.*, "Kinetic study of silica gels by a new rheological ultrasonic investigation," *Ultrasonics*, vol. 44, pp. e881–e885, Dec. 2006.
- [6] C. Ould-Ehssein *et al.*, "Ultrasonic monitoring of yoghurt formation by using AT-cut quartz: lighting of casein micelles interactions process during the acidification.," *Ultrasonics*, vol. 44 Suppl 1, pp. e875-9, Dec. 2006.
- [7] P. Didier *et al.*, "Rheological monitoring of tau protein polymerisation with acoustic waves sensor," *Electron. Lett.*, vol. 53, no. 5, pp. 298–300, Mar. 2017.