

INTERNSHIP PROPOSAL

(One page maximum)

Laboratory name: Laboratoire de Physique ENS de Lyon
CNRS identification code: UMR 5672
Internship director's surname: Caroline Crauste-Thibierge
e-mail: caroline.crauste@ens-lyon.fr Phone number: 04 72 72 83 78
Internship location: 46 allée d'Italie 69007 Lyon
Co-direction avec Damien Vandembroucq PMMH UMR 7636 ESPCI Paris, Université PSL, Sorbonne Université, Université Paris Cité Tel. labo : 01.40.79.52.28
damien.vandembroucq@espci.fr

Thesis possibility after internship: YES/NO
Funding: YES/NO If YES, which type of funding:

Effets mémoire dans les solides désordonnés : Étude expérimentale sur des matériaux polymères.

Dans les systèmes désordonnés, l'état du matériau dépend de façon cruciale et fortement non évidente de l'histoire du système. Sur des matériaux aussi divers que des amorphes vitreux comme les verres ou les polymères, des gels simples ou complexes, mais aussi des textiles, on retrouve cette capacité du matériau à garder en mémoire, au moins un certain temps, l'histoire des contraintes mécaniques, thermiques, chimiques... qu'il a subi. Des modèles théoriques et numériques, développés au PMMH permettent aussi de mieux comprendre ce phénomène au niveau microscopique [1, 2], ce qui est plus ou moins facile expérimentalement selon les matériaux.

Nous nous intéressons plus particulièrement à la façon d'écrire, de lire et d'effacer cette mémoire des matériaux désordonnés. Est-ce que la mémoire va s'écrire de façon globale dans le matériau, est-ce qu'elle est au contraire spatialement texturée ? Comment cette mémoire affecte-elle la dynamique du matériau et sur quelles échelles de temps ? Comment la relire et quelles informations peut-on en extraire ? Comment peut-on l'effacer, c'est à dire relaxer les contraintes que l'on a inscrites dans le matériau ? Est-ce que la façon de la lire et de l'effacer va être la même pour un gel, un polymère ou un textile ?

Depuis une douzaine d'année, l'équipe du Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon (LPENSL) travaille sur la mécanique de feuilles de polymères amorphes, en traction, couplée à une caractérisation in situ de la distribution des temps de relaxation grâce une mesure de réponse diélectrique (voir figure 1) [3]. Nous avons ainsi pu étudier une première série d'effets mémoire en interrompant puis en reprenant la traction pour différents protocoles [4, 5].

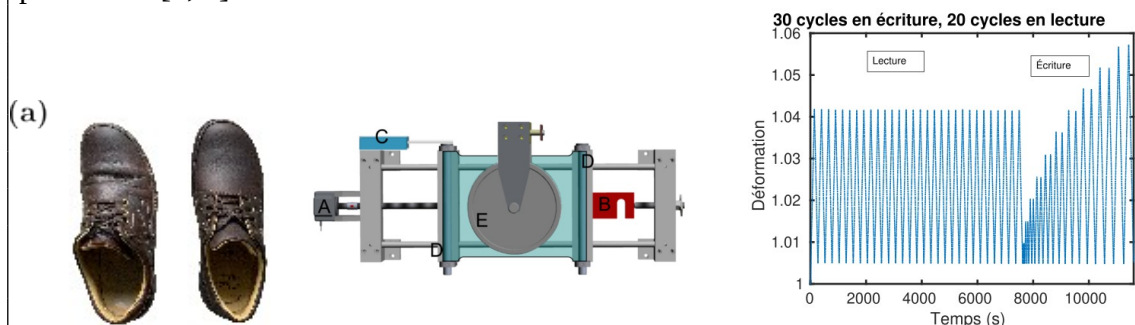


Figure 1 – A gauche : Deux chaussures droites identiques au départ et dont l'une est neuve et l'autre a été portée. Figure d'après [2]. Au centre : machine de traction A : Moteur, B : Capteur de force, C : Capteur de position, D : Rouleaux supports du film de polycarbonate (en bleu), celui de droite est fixe et celui de gauche se déplace grâce au moteur, E : Électrodes pour la mesure simultanée du diélectrique. Figure d'après [5]. A droite : Déformation relative en fonction du temps pour 30 cycles

d'écriture d'effet mémoire et 20 cycles de lectures dont le but est de retrouver la déformation maximale utilisée lors de l'écriture. On réalise alors des séries de deux cycles à déformation maximale croissante.

Nous proposons donc d'utiliser ce dispositif pour avancer dans la compréhension de ces effets mémoire de façon extrêmement fondamentale mais en gardant à l'esprit les applications potentielles, qui sont nombreuses (fatigue et endommagement des matériaux, par exemple). En réalisant des cycles de traction - relâchement jusqu'à une déformation maximale fixée, suivis de lectures à des déformations de plus en plus grandes, on commencera par caractériser ces effets mémoire et leur lien avec la dynamique des chaînes de polymères. En plus des questions déjà évoquées, le projet pourra s'orienter vers la mise en place de défauts dans le matériau et l'étude de la façon dont ces défauts vont stocker ou pas la mémoire et interagir entre eux. On pourra aussi envisager d'aller vers des forçages aléatoire ou couplés à différents bruits. Le sujet est ouvert selon les centres d'intérêt de la candidate ou du candidat et même s'il est conçu comme essentiellement expérimental, une contribution aux modèles et questions théoriques est envisagée puisque la thèse sera co-dirigée par Caroline Crauste-Thibierge au LPENSL (Lyon) et Damien Vandembroucq au PMMH (Paris) et majoritairement basée à Lyon avec un fort suivi coté PMMH sous forme de réunions et de visites régulières.

Du point de vue scientifique et humain, ce sujet s'insère dans une collaboration dynamique à quatre laboratoires français : Damien Vandembroucq au PMMH (ESPCI PSL) pour les aspects de modélisation, Frédéric Lechenault au LPENS (ENS Paris) pour les textiles chaîne et trame, Stefano Aime au C3M (ESPCI PSL) pour les gels et au LPENSL (ENS de Lyon) Caroline Crauste-Thibierge pour les polymères et Audrey Steinberger pour les tricots. Muhittin Mungan de l'Institute for Biological Physics, University of Cologne est aussi très impliqué dans la modélisation. L'idée est que la candidate ou le candidat s'implique dans la collaboration et puisse bénéficier des discussions et des expériences de l'ensemble du groupe.

L'objectif de la thèse est d'effectuer un travail de recherche valorisé sous forme de communications orales et écrites, notamment des conférences, le manuscrit de thèse et sa soutenance et des publications scientifiques. Mais c'est surtout le moment de former une jeune chercheuse ou un jeune chercheur à des compétences plus larges, utiles tout au long de sa vie professionnelle : gestion de projet, rigueur, curiosité scientifique, veille sur un sujet et formation expérimentales. Ces trois années doivent vous apprendre à apprendre, à structurer votre réflexion et à agir selon vos objectifs. Les cours de l'École Doctorale, et les enseignements éventuels que vous donnerez, viendront compléter cette formation qui est aussi une première expérience professionnelle. Nous recherchons des étudiantes et étudiants curieux, aimant le travail expérimental et aussi passionné(e)s que nous ! Toute candidature accompagnée d'un CV et de quelques mots de motivation pour le travail de thèse en général et ces questions en particulier est la bienvenue.

Références

- [1] A. Elgailani, D. Vandembroucq, and C.E. Maloney. Anomalous softness in amorphous matter in the reversible plastic regime. *Physical Review Letters*, 134(14) :148204, April 2025.
- [2] Muhittin Mungan, Dheeraj Kumar, Sylvain Patinet, and Damien Vandembroucq. Self-organization and memory in an amorphous solid subject to random loading. September 2024.
- [3] Roberto Pérez-Aparicio, Denis Cottinet, Caroline Crauste-Thibierge, Loïc Vanel, Paul Sotta, Jean-Yves Delannoy, Didier R. Long, and Sergio Ciliberto. Dielectric spectroscopy of a stretched polymer glass : Heterogeneous dynamics and plasticity. *Macromolecules*, 49(10) :3889–3898, May 2016.

[4] J. Hem, C. Crauste-Thibierge, F. Clément, D. R. Long, and S. Ciliberto. Simultaneous memory effects in the stress and in the dielectric susceptibility of a stretched polymer glass. *Physical Review E*, 103(4) :l040502, April 2021.

[5] Jérôme Hem, Caroline Crauste-Thibierge, Thomas C. Merlette, Florence Clément, Didier R. Long, and Sergio Ciliberto. Microscopic dynamics in the strain hardening regime of glassy polymers. *Macromolecules*, 55(20) :9168–9185, October 2022.

Please, indicate which speciality(ies) seem(s) to be more adapted to the subject:

Condensed Matter Physics: YES/ NO	Soft Matter and Biological Physics: YES/ NO
Quantum Physics: YES /NO	Theoretical Physics: YES /NO