

Étude numérique d'assemblées de fibres naturellement courbées

Proposition de Thèse 2024

Encadrants Florence Bertails-Descoubes¹ (INRIA Grenoble) and Victor Romero² (INRIA Grenoble).

Laboratoire d'accueil Équipe ELAN (INRIA et LJK, Université Grenoble Alpes), <https://team.inria.fr/elan/>

Practical details: Proposition de thèse (contrat de 3 ans) commençant le 1er octobre 2024. Possibilité d'un stage préparatoire sur ce sujet (à partir de février 2024).

Context: Depuis les années 90, la simulation de structures fibreuses denses comme les cheveux ou la fourrure représente un défi scientifique important, que ce soit pour l'animation de synthèse, la cosmétologie, ou bien la mécanique des structures. La difficulté à modéliser et calculer le comportement d'assemblées de fibre est liée à une complexité à l'échelle de chaque fibre, qui peut être à la fois structurelle (nombre important de fibres individuelles, géométries individuelles plus ou moins bouclées), et physique (déformation non-linéaire de chaque fibre, interactions de nature frictionnelle voire adhésive entre les fibres), et qui impacte notablement le comportement mécanique et la richesse visuelle de l'ensemble à l'échelle macroscopique (organisation spontanée en mèches, comme des anglaises par exemple, plus ou moins emmêlées).

Grâce aux développements numériques récents en informatique graphique [1, 3, 4, 2], des simulations réalistes de milliers voire centaines de milliers de fibres ont commencé à voir le jour ces dernières années. Cependant, de tels solveurs ont été principalement dédiés à la simulation de fibres lisses ou faiblement ondulées, qui, du fait de leur caractère relativement continu, ne présentent pas la même difficulté computationnelle ni la même richesse géométrique et physique induite par des systèmes de fibres naturellement courbées.

À cause de leur courbure naturelle significative, et des emmêlements et nœuds qui en découlent, la modélisation numérique d'assemblée de fibres bouclées reste un problème entier, qui requiert des méthodes numériques spécifiques, particulièrement efficaces et robustes, pour pouvoir être abordé.

Objectif L'objectif de cette thèse est double. D'une part, il s'agira de développer un modèle numérique efficace et robuste par éléments discrets d'une mèche composée de plusieurs milliers de fibres naturellement bouclées en interaction. Ce travail bénéficiera des modèles numériques de tige de Kirchhoff et des solveurs de contact frottant développés depuis une dizaine d'années dans l'équipe ELAN, ainsi que d'avancées récentes réalisées dans l'équipe en terme de détection du contact. D'autre part, grâce à un tel simulateur inédit, on étudiera les propriétés collectives de l'assemblage de fibres en fonction de divers paramètres individuels de fibres comme la courbure spontanée, la raideur, ou encore le coefficient de frottement ou d'adhésion entre fibres. Cette étude numérique et physique pourra être accompagnée d'expériences réalisées en parallèle par des expérimentateurs de l'équipe ELAN sur des mèches réelles au sein de la plate-forme expérimentale d'ELAN.

Compétences attendues Le(a) candidat(e) devra disposer de très bonnes connaissances en analyse numérique (modélisation, discrétisation des ODEs et EDP, éléments finis, optimisation) et en algorithmique, ainsi que d'excellentes compétences en programmation en C/C++. La curiosité scientifique et le goût pour la physique, la mécanique, et l'informatique graphique seront également appréciées.

Comment candidater Envoyer aux encadrants du sujet: lettre de motivation, CV, cours suivis et notes en M1 et M2, et indiquer au moins deux contacts de référence (professeur, encadrant de stage précédent, autre).



Figure 1: Une mèche de cheveux bouclés s'organisant spontanément en "anglaise".

¹florence.descoubes@inria.fr

²victor.romero@inria.fr

Conditions matérielles Le(a) doctorant(e) recevra un salaire mensuel brut compris entre 1975 et 2100 euros avec la possibilité d'effectuer des heures d'enseignement supplémentaires à l'Université de Grenoble-Alpes. La thèse sera réalisée au sein de l'équipe ELAN, où le(a) doctorant(e) disposera d'un bureau et du matériel nécessaire pour conduire ses recherches et aura également accès à la plateforme expérimentale de l'équipe. L'équipe ELAN fait partie de l'Inria de l'Université Grenoble Alpes et du laboratoire Jean Kuntzmann, où se développe une vie scientifique vivante et qui se caractérise par des conditions de travail de haut niveau.

References

- [1] Florence Bertails, Basile Audoly, Marie-Paule Cani, Bernard Querleux, Frédéric Leroy, and Jean-Luc Lévêque. Super-helices for predicting the dynamics of natural hair. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 25(3):1180–1187, 2006.
- [2] Gilles Daviet. Simple and scalable frictional contacts for thin nodal objects. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 39(4):61–1, 2020.
- [3] Gilles Daviet, Florence Bertails-Descoubes, and Laurence Boissieux. A hybrid iterative solver for robustly capturing coulomb friction in hair dynamics. In *Proceedings of the 2011 SIGGRAPH Asia Conference*, pages 1–12, 2011.
- [4] Danny M Kaufman, Rasmus Tamstorf, Breannan Smith, Jean-Marie Aubry, and Eitan Grinspun. Adaptive non-linearity for collisions in complex rod assemblies. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(4):1–12, 2014.