



HAL
open science

Déformations élastocapillaires d'une rangée de fibres

Camille Duprat, Suzie Protière

► **To cite this version:**

Camille Duprat, Suzie Protière. Déformations élastocapillaires d'une rangée de fibres. CFM 2013 - 21ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2013, Bordeaux, France. hal-03441212

HAL Id: hal-03441212

<https://hal.science/hal-03441212>

Submitted on 22 Nov 2021

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.

Déformations élastocapillaires d'une rangée de fibres

C. Duprat^a, S. Protière^b and H. A. Stone^c

a. PMMH-UMR 7636, ESPCI-Paris Tech, Paris

b. Institut Jean Le Rond d'Alembert, Paris

c. Princeton University, Princeton NJ, USA

Résumé :

Nous étudions l'interaction d'un brouillard de gouttes avec une rangée de fibres flexibles, en commençant par le cas simple d'une goutte posée sur deux fibres parallèles. Le liquide peut adopter plusieurs morphologies, de goutte compacte hémisphérique à longue colonne liquide, en fonction de l'espacement entre les fibres, du volume de la goutte et de l'élasticité des fibres. Ces différentes morphologies conduisent à des dynamiques de séchage distinctes que l'on caractérise expérimentalement et théoriquement.

Abstract :

We study the interaction of a mist of droplets with a flexible fiber array, starting with the model system of a pair of parallel fibers. The liquid can adopt different morphologies, from compact hemispherical drops to long liquid columns, as a function of the inter fiber spacing, the drop volume and the fibers elasticity. These distinct morphologies leads to different drying dynamics, which we characterized both experimentally and theoretically.

Mots clefs : Capillarité ; Elasticité ; Evaporation

1 Introduction

Les milieux textiles se retrouvent dans un grand nombre de secteurs d'activité, où ils sont privilégiés pour leurs qualités de filtration, d'isolation, de rétention d'eau ou de couleur. Ces milieux fibreux sont souvent constitué de fibres souples, pouvant facilement se déformer, notamment sous l'effet des forces capillaires. Cet effet, dit *élastocapillaire*, est surtout important lorsque l'on sèche un textile mouillé car de nombreuses interfaces air/liquide apparaissent dans le matériau. Les forces capillaires tendent à déformer localement les fibres : deux fibres adjacentes peuvent ainsi se coller lors de l'évaporation du liquide, ce qui cause un rétrécissement global du textile [1]. Dans le cas d'une rangée de fibres flexibles, tel un pinceau, les forces capillaires peuvent déformer les fibres et former des "paquets", ou mèches [2]. Au delà des applications industrielles, cet effet peut avoir des conséquences écologiques importantes. Les plumes des oiseaux aquatiques présentent un agencement régulier de barbes et barbules de kératine, qui est responsable de leurs qualités d'hydrophobicité et d'isolation élevées (Fig.1a.). Lorsque ces oiseaux sont en contact avec un agent polluant, par exemple de l'huile, ce liquide s'étale et déforme les barbules, qui forment alors des paquets, modifiant ainsi leur arrangement spécifique (Fig.1a.) ce qui affecte leur hydrophobicité et leur isolation, conduisant de ce fait à une accélération du métabolisme et à la mort prématurée des oiseaux [3].

Afin de comprendre ces phénomènes, nous étudions l'interaction (mouillage et séchage) d'un brouillard de gouttes avec une rangée de fibres parallèles.

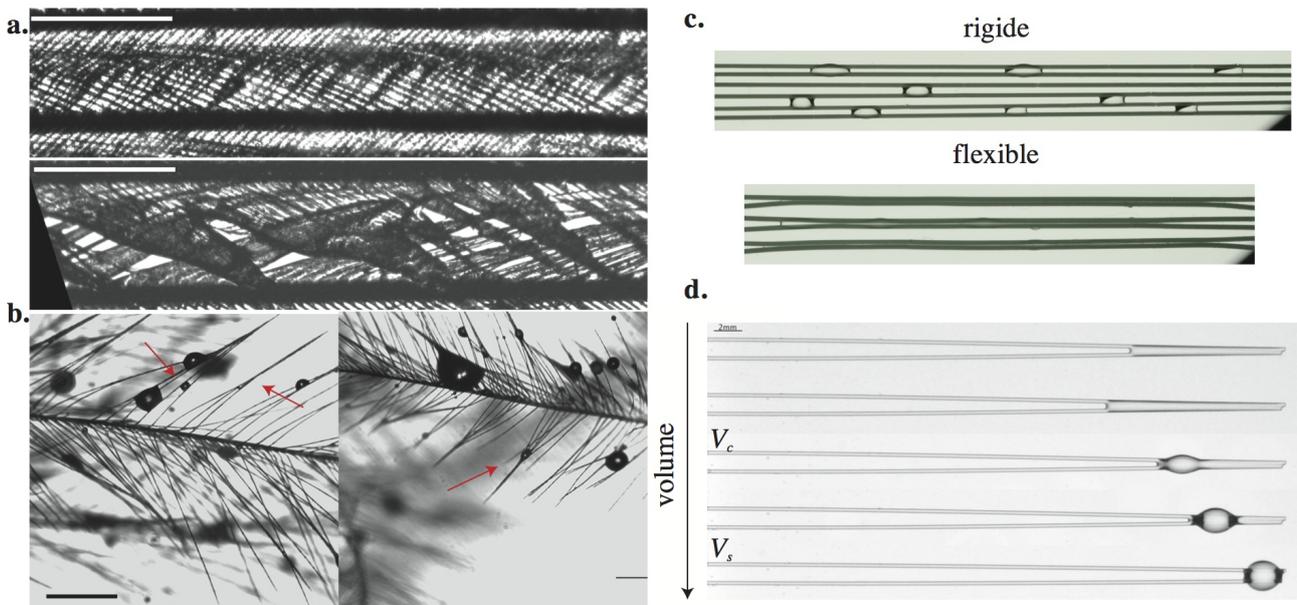


FIGURE 1 – Déformations lors du mouillage d’une rangée de fibres flexibles : **a.** Plume sèche (haut) ou en présence d’huile (bas) montrant l’organisation des barbules qui la composent. Barre d’échelle : 1 mm. **b.** Plume mouillée par un aérosol de gouttes polydispense. On observe différentes morphologies : la goutte peut rester compacte, semi-sphérique, s’étaler sous la forme d’une longue colonne liquide, ou adopter une configuration intermédiaire. **c.** Rangée de fibres parallèles mouillées par un aérosol de gouttes mouillantes : on observe des gouttes semi-sphérique isolées dans le cas rigide, tandis que le liquide se rassemble sous la forme de longues colonnes liquides entre fibres fortement déformées dans le cas flexible. **d.** Interaction d’une goutte sur une paire de fibres flexibles parallèles. Lorsque le volume augmente, on observe trois morphologies différentes : étalement total de la goutte, étalement partiel, et non-étalement (goutte compacte).

2 Résultats

Nous étudions un système modèle, composé de plusieurs fibres parallèles. Lorsque l’on dépose des gouttes sur un tel système, celles-ci peuvent soit rester compactes et semi-sphériques, soit s’étaler sous la forme de longues colonnes liquides, en fonction de l’espacement entre les fibres, du volume de la goutte et de l’élasticité des fibres (Fig.1c.). Sur une paire de fibres parallèles, il existe alors deux tailles de goutte critiques (i.e. volumes critiques) conduisant d’une part à l’étalement de la goutte (V_s), d’autre part à la capture maximale de liquide (V_c), données par deux équilibres élasto-capillaires (Fig. 1d.). L’élasticité conduit à un effet contre-intuitif du volume : les faibles volumes ($V < V_c$) s’étalent et mouillent les fibres ; si l’on augmente le volume ($V_c < V < V_s$), on diminue la portion mouillée des fibres ; finalement des volumes plus larges ($V > V_s$) ne s’étalent pas du tout, et restent sous forme de goutte compacte. Les expressions de ces deux tailles critiques en fonction des caractéristiques des fibres et du liquide sont obtenues en équilibrant capillarité et élasticité. Ainsi, il est possible d’obtenir des règles universelles gouvernant l’interaction d’un milieu fibreux avec un aérosol de gouttes, applicables à un grand nombre de systèmes, notamment les plumes d’oiseaux soumises à des projections d’huile. Dans ce cas, on observe effectivement les trois morphologies (Fig. 1b.) que l’on peut prédire avec notre modèle [4, 5].

Nous obtenons alors un diagramme des morphologies adoptées par le liquide en fonction des paramètres du système. De plus, nous étudions la dynamique d’évaporation du liquide en fonction de sa forme, et montrons comment un matériau textile peut se déformer au cours de l’évaporation.

Références

- [1] Jun Kamo, Takayuki Hiram, and Kensuke Kamada 1992 Solvent-induced morphological change of microporous hollow fiber membranes *Journal of Membrane Science* **70** 217-224.
- [2] Benoit Roman and José Bico 2010 Elasto-capillarity : deforming an elastic structure with a liquid droplet *J. Phys. : Condens. Matter* **22** 493101.
- [3] O'Hara, P. D. and Morandin, L. A. 2010 Effects of sheens associated with offshore oil and gas development on the feather microstructure of pelagic seabirds *Mar. Pollut. Bull.* **60** 672-678.
- [4] C. Duprat, S. Protière, A. Y. Beebe, and H. A. Stone 2012 Wetting of flexible fibre arrays *Nature* **482** 510-513.
- [5] S. Protière, C. Duprat, and H. A. Stone 2013 Wetting on two parallel fibers : drop to column transitions *Soft Matter* **9** 271.