

Forces capillaires et physique hors équilibre dans l'étalement collectif de bactéries

Proposition de stage/thèse 2022

Mots-clés: Tension de surface, Effets collectifs, Matière active, Morphogénèse, Bio-Physique

Laboratoire: Matière & Systèmes Complexes (MSC), UMR 7057, Univ. de Paris

Responsable de stage/thèse: Adrian Daerr (bureau 771A, bât Condorcet)

adrian.daerr@univ-paris-diderot.fr

tél.: 01 57 27 62 73

<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~daerr/>

Stage pouvant déboucher sur une thèse: oui

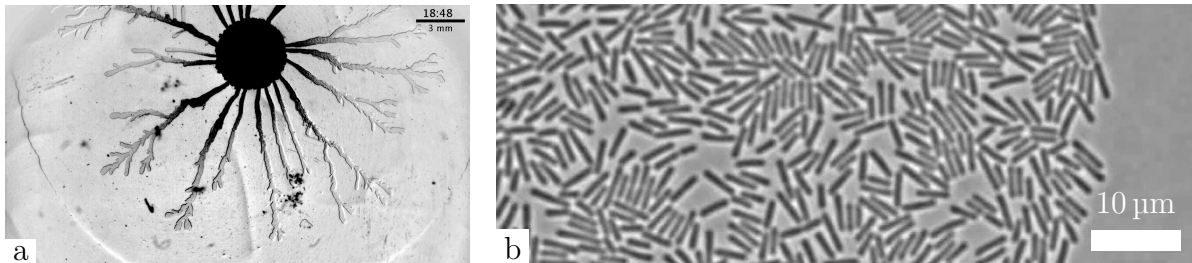
Financement de thèse déjà acquis: non

Stage uniquement: à discuter

Thèse uniquement: à discuter

Comprendre comment s'organise le vivant, de la forme des colonies bactériennes à l'organo-synthèse chez l'homme, est un enjeu majeur non seulement pour la médecine régénérative mais aussi pour la physique. En effet l'organisation spatiale n'est pas explicitement codée dans l'ADN de l'organisme, mais résulte d'une dynamique collective de millions de cellules. Sa description en termes de système dynamique et de physique statistique nécessite le développement de nouveaux outils pour les systèmes hors équilibre.

Formuler une thermodynamique de la matière active pour un ensemble de bactéries présuppose une compréhension des interactions physiques entre les microbes. L'objectif de cette proposition de stage et de thèse est de quantifier les forces en jeu dans l'étalement d'une colonie de bactéries.



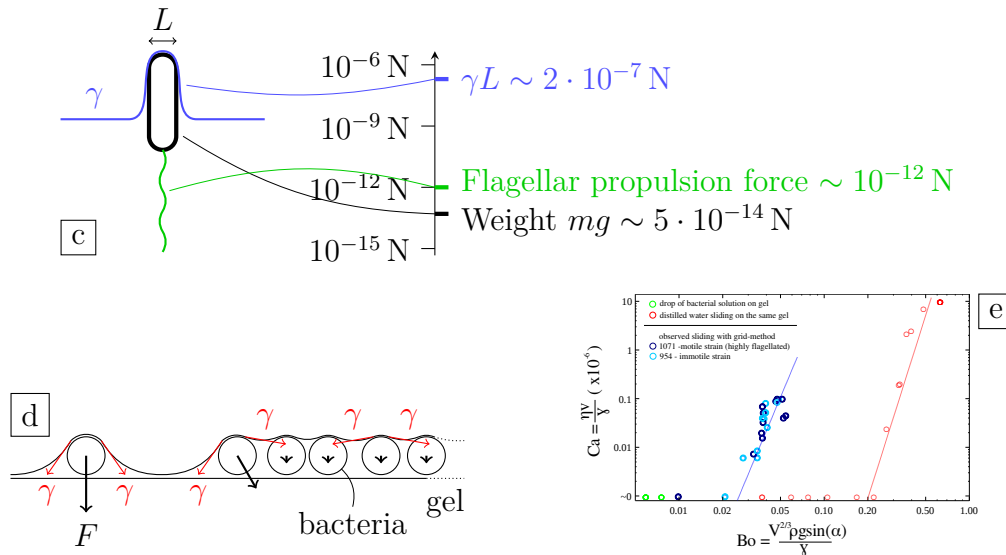
[images: K. Hamze, S. S  ror, B. Holland & A. D.]

(a)   talement dendritique de bactéries à partir de la colonie mère (centre/haut de l'image). Le mouvement est confiné à la surface d'un gel nutritif, vu ici de face. (b) L'image de droite montre l'avant d'un dendrite à fort grossissement. Une frontière très nette délimite la population dense de bactéries.

Pour ce programme, l'essaimage en masse de *Bacillus subtilis*    la surface d'un gel est un système intéressant à plusieurs égards. La faible quantité de liquide disponible contraint l'essaimage à une mono-couche, ce qui facilite l'observation et les mesures de l'échelle macroscopique (image a ci-dessus) jusqu'à l'échelle de la bactérie individuelle (b). De surcroît, les forces capillaires sont dominantes dans cette configuration (images c & d ci-dessous): les bactéries ne peuvent plus nager individuellement comme en culture liquide, mais se déplacent collectivement en repoussant la frontière nette qui les sépare de l'environnement (image b ci-dessus). En tant que physicien, on voudrait décrire ce

mouvement comme le résultat d'une pression exercé par un « colloïde chaud » (les bactéries qui nagent activement) sur son interface.

L'objectif du stage sera de moduler les forces capillaires afin d'en préciser le rôle lors de l'extension de la colonie. Nous pouvons contrôler les forces capillaires (image d) en modifiant la pression du milieu nutritif contenu dans le gel, et observer l'effet d'un changement sur la progression de l'essaim de bactéries. Nous allons en particulier nous intéresser au seuil de dépiéage du pourtour de la colonie (cf figure e ci-dessous), qui peut être décrit comme un phénomène d'hystérèse de mouillage.



(c) Les forces capillaires dominant de plusieurs ordres de grandeur les forces que les bactéries parviennent à générer à l'aide des flagelles. (d) Une bactérie isolée à la surface d'un gel, dans une mince couche de liquide, est piégée par les forces capillaires. Il en va de même pour le bord de la colonie, mais pas pour l'intérieur. (e) La vitesse de déplacement d'une goutte sur un gel (vitesse adimensionnée Ca) montre un seuil de dépiéage en fonction du forçage (ici le poids adimensionné Bo de la goutte sur un plan incliné). Les bactéries parviennent à diminuer de plusieurs ordres de grandeur ces forces de piéage¹.

Collaborations: biologie: H. Putzer & S. Laalami (IBPC), K. Hamze (Univ. du Liban); physique/expériences: M. Deforet (Sorbonne Univ.); physique/théorie: J. Tailleur (MSC)

¹Hennes, M., Tailleur, J., Charron, G. & Daerr, A. (2017), "Active depinning of bacterial droplets: The collective surfing of *Bacillus subtilis*", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(23), 5958-5963. [PDF disponible sur le site www.cicci.com ci-dessus]