

Spreading of bacterial colonies on gels

Internship & PhD proposal

Laboratory: Matière & Systèmes Complexes (MSC), UMR 7057, Univ. Paris Cité

Intern./PhD supervisor: Adrian Daerr (office 771A, Condorcet building)

adrian.daerr@u-paris.fr

<https://msc.u-paris.fr/annuaire/adrian-daerr/> tél.: +33 (0)1 57 27 62 73

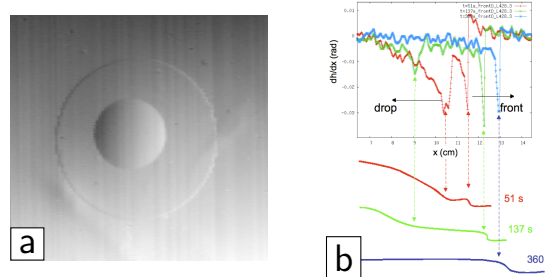
PhD thesis possibility after internship: yes

Funding already secured: no

[Résumé en Français à la page suivante]

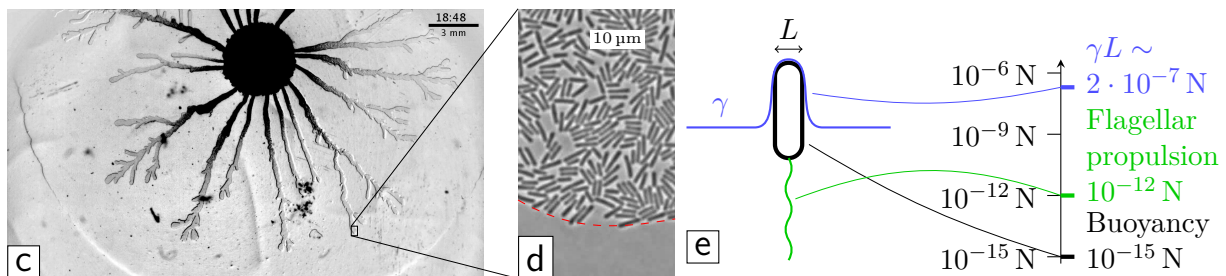
The spatial organisation of living beings is not coded explicitly in their DNA, but results from the collective dynamics of millions of cells. Predicting emerging behaviour and macroscopic shapes from the dynamics of individual cells is a long-standing challenge. Over the past roughly two decades, the focus in physics has shifted from phenomenological models to developing statistical out-of-thermal-equilibrium coarse-graining procedures that would allow for rigorous derivation of the collective dynamics from microscopic interactions. Bacteria moving across humid surfaces are a fascinating model system for such active matter. At the microbe scale, capillary forces are the dominating constraint, easily exceeding the flagellar propulsion force of individual cells (e). How the bacteria nevertheless *collectively* overcome that constraint is an open question that we propose to investigate.

During the internship we will study the spreading of drops on hydrogels, and study the flows induced by chemical gradients. We will start with pure solvent drops, and solvent drops with surfactants (a). A just acquired confocal chromatic probe, coupled to structured light profilometry, will be used to characterise the non-dispersive swelling front that precedes the bacterial spreading (b). If time permits we will compare the observations to experiments involving bacteria.



(a) Left-right slope of a drop of surfactant and its environment, showing a clearly marked circular swelling front. (b) The radial slope profile shows a wave that propagates without changing width nor amplitude.

The wider aim of the proposed PhD thesis is to quantify the forces at play during mass swarming of *Bacillus subtilis*. Capillary forces are dominant in this setting (e): bacteria do not swim individually but collectively move the sharp boundary that delimits the colony (d). To probe the forces at play, we will control the friction of the bacteria on the gel, and to study how a change in this parameter affects the spreading dynamics. The thesis will take place in collaboration with Prof J. Tailleur (MIT & MSC), who will supervise the theoretical side of the project.

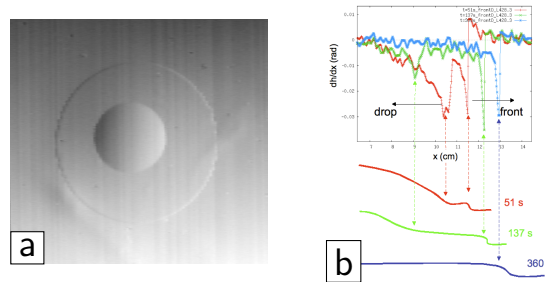


(c) Dendritic spreading of bacteria from a central inoculum by mass swarming. The gel surface is seen from above. (d) Tip of a dendrite at high magnification, dark rods are bacteria, in dashed red the sharp boundary. (e) Capillary forces dominate by several orders of magnitude the propelling forces of the bacteria.

Étalement de colonies bactériennes à la surface d'hydrogels

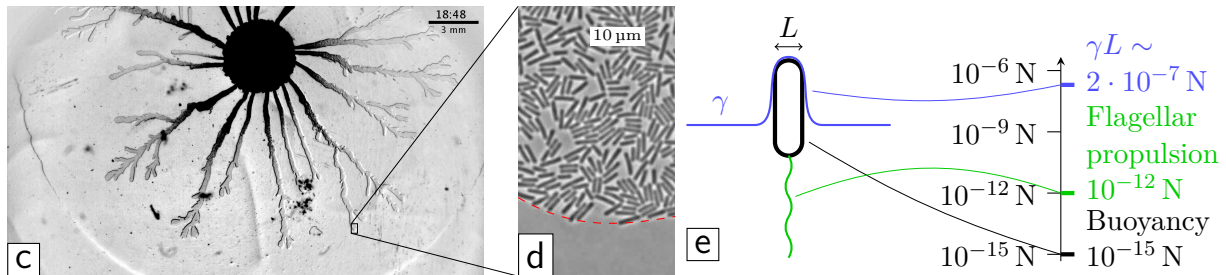
L'organisation spatiale du vivant, des colonies bactériennes aux organes des mammifères, n'est pas explicitement codée dans l'ADN de l'organisme, mais résulte d'une dynamique collective de millions de cellules. L'émergence du comportement macroscopique à partir des interactions microscopiques est un problème ouvert de la physique hors équilibre. Nous proposons d'étudier comment les bactéries sur des substrats humides —soumises à des contraintes capillaires énormes à leur échelle, largement supérieures à la force générée par les flagelles d'un individu, voir fig. e— parviennent activement et collectivement à étendre la frontière de leur colonie.

Il s'agira en stage de caractériser l'étalement de gouttes à la surface d'hydrogels, et de comprendre les écoulements induits par des gradients de concentration de molécules produites par les bactéries. Nous commencerons par étudier l'étalement de gouttes de solvant pur, puis de solvant avec adjonction de surfactant (qui produit dans certains cas un front de gonflement non dispersif (b)). Si le temps le permet nous comparerons ces observations au cas de suspensions bactériennes.



(a) Mesure de la pente dans la direction gauche-droite d'une goutte de surfactant, qui montre un front de gonflement qui s'éloigne de la goutte. (b) Le profil radial du front reste invariant au cours du temps.

L'objectif de la thèse sera de quantifier les forces en jeu dans l'essaimage en masse de *Bacillus subtilis* à la surface d'un gel (c). Les forces capillaires sont dominantes dans cette configuration (e): 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 (d).



(c) Étalement dendritique de bactéries à partir de la colonie mère au centre. Le mouvement est confiné à la surface d'un gel nutritif, vu ici de face. (d) Avant d'un dendrite à fort grossissement, les batonnets sombres sont des bactéries. Une frontière très nette (en tirets rouges) délimite la population dense de bactéries. (e) Les forces capillaires dominant de plusieurs ordres de grandeur les forces que les bactéries parviennent à générer à l'aide des flagelles.

Pour déterminer le rôle des forces capillaires dans l'extension de la colonie, nous allons contrôler le frottement des bactéries sur 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 dépiégeage du pourtour de la colonie, qui peut être décrit comme un phénomène d'hystérèse de mouillage. La thèse se fera en collaboration avec le Prof J. Tailleur (MIT & MSC), qui supervisera la partie modélisation théorique du projet.