

# Dynamique et rhéologie des vésicules et globules rouges

Chaouqi Misbah

Laboratoire Interdisciplinaire de Physique, UMR5588, 140 avenue de la physique, Université Joseph Fourier  
Grenoble, and CNRS, 38402 Saint Martin d'Hères, France  
[chaouqi.misbah@ujf-grenoble.fr](mailto:chaouqi.misbah@ujf-grenoble.fr)

**Résumé.** Le sang est un fluide complexe, composé en majorité par les globules rouges (GR), lesquelles dictent sa rhéologie. A la différence des fluides simples, les lois constitutives décrivant l'écoulement du sang à partir d'une approche "bottom-up" (c.à.d. en prenant explicitement en compte le caractère corpusculaire du sang dans le but d'extraire des lois macroscopiques) reste à bâtir. Depuis Poiseuille (19<sup>ème</sup> siècle) et jusqu'à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle l'étude de la circulation sanguine a été abordée de manière phénoménologique, à l'aide d'approximations et d'hypothèses qui sont souvent difficiles à justifier ou à valider. L'essentiel de la dissipation sanguine se fait dans la microvascularisation (où l'oxygène est largué par les GR dans les différents tissus de l'organisme) où il est clair qu'on peut difficilement faire abstraction du caractère corpusculaire du sang, étant donné que la dimension des GR est comparable aux diamètres des vaisseaux (mais ceci n'exclut pas pour autant l'importance corpusculaire dans des vaisseaux plus gros, comme les artères et les veines). Après une introduction générale au sujet, on discutera l'état de l'art dans ce domaine sur le plan de la modélisation tout en faisant, dans la mesure du possible, une comparaison avec des résultats expérimentaux. On considérera (i) le cas d'une vésicule unique (modèle simple de GR) dans un écoulement de cisaillement (illimité ou en présence d'une paroi), problème a priori simple mais qui révèle une grande richesse de comportements, débouchant sur un impact fort sur la rhéologie; (ii) on traitera le cas d'un modèle de GR en prenant en compte l'effet du cytosquelette; (iii) on discutera le problème d'un globule modèle dans un écoulement de Poiseuille, et on mettra, en particulier, en lumière les raisons pour lesquelles les globules rouges prennent une forme asymétrique, dite "en pantoufle", lorsqu'ils traversent les petits vaisseaux sanguins; (iv) on abordera ensuite le problème de la formation de paquets de GR, dont l'origine est due aux interactions hydrodynamiques et (v) on terminera par le problème de suspensions assez concentrées de vésicules. On dressera une liste de problèmes ouverts dans ce domaine qui connaît aujourd'hui un véritable essor à l'échelle internationale.

**Abstract.** Blood is a complex fluid, and is predominantly composed by red blood cells (RBCs) that dictate its rheology. Unlike simple fluids, constitutive laws describing blood flow from a bottom-up approach (i.e. by taking explicitly into account the corpuscular nature of blood in order to extract macroscopic laws) remains to be done. Since the seminal work of Poiseuille (in the 19th century) until the end of the 20th century blood flow has been described by means of phenomenological continuum models that require many assumptions which are difficult both to justify and to validate. Most of the blood flow resistance occurs in the microvasculature (where oxygen is delivered by RBCs to bodily tissues) where it is clear that the corpuscular nature of blood cannot be disregarded, given the fact that the size of RBCs is of the order of that of blood vessels (but this does not exclude the relevance of the corpuscular nature in larger blood vessels, such as arteries and veins). After a general introduction, we present the current state of the art in modeling blood flow, with comparison, when possible, to experiments. We shall consider the following question (i) a single vesicle (a simple model for RBC) under unbounded and bounded shear flow, which is a priori a simple problem, but which reveals unexpected complexity, entailing a strong impact on rheology; (ii) we discuss a model of RBC by taking into account the role of cytoskeleton; (iii) we address the problem of GR in a Poiseuille flow, and we shed light on a longstanding puzzle in microcirculation: why do red blood cells adopt a non symmetric shape (called slipper) in the microvasculature; (iv) we discuss then the problem of cluster formation of RBC, which results from purely hydrodynamical interactions, and (v) we conclude the presentation with discussion of concentrated suspensions. We present a list of open problems in this field which knows nowadays a tremendous interest at the international level.