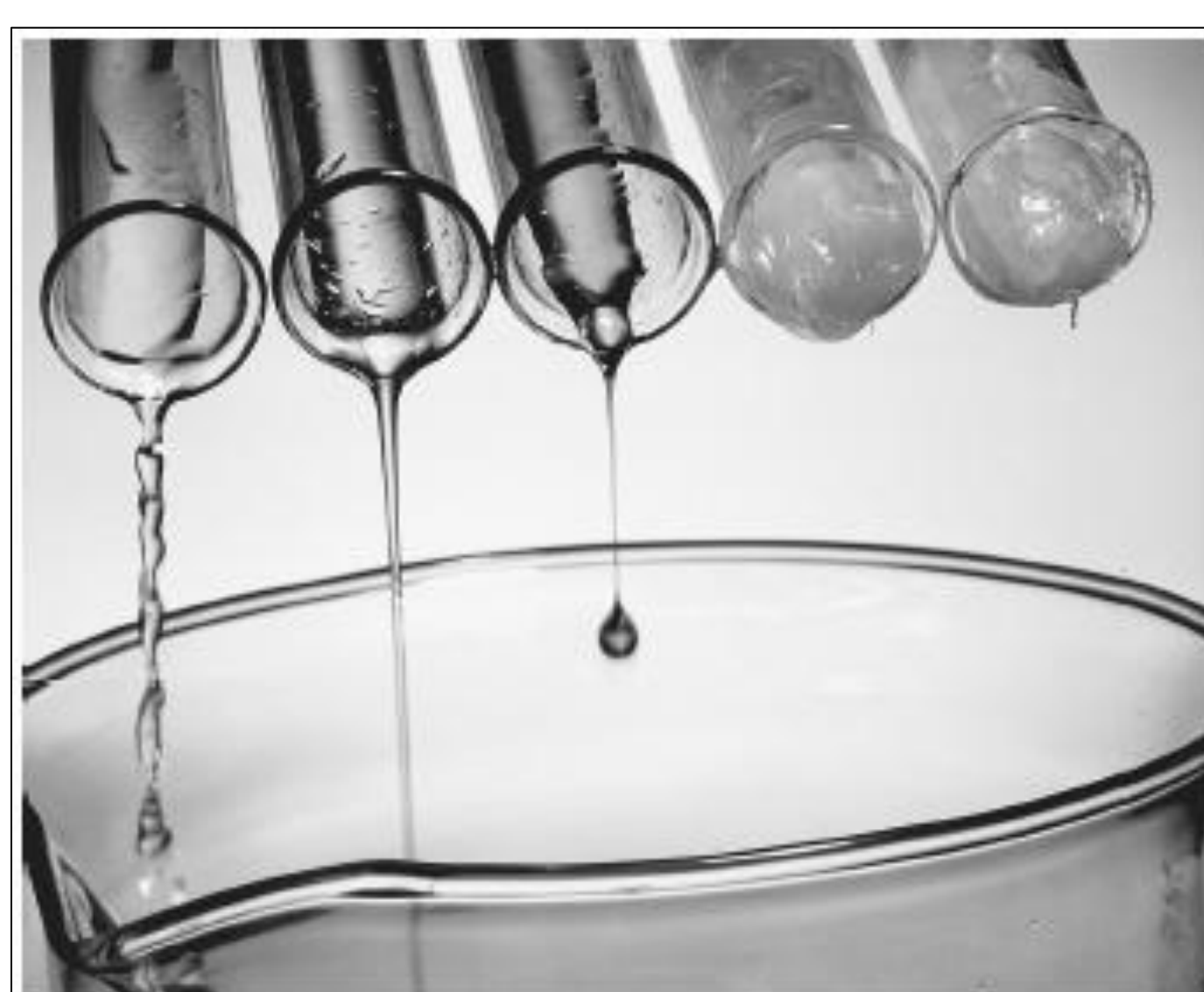


Nage de micro-organismes : fluides visqueux et réversibilité temporelle

Fluides visqueux

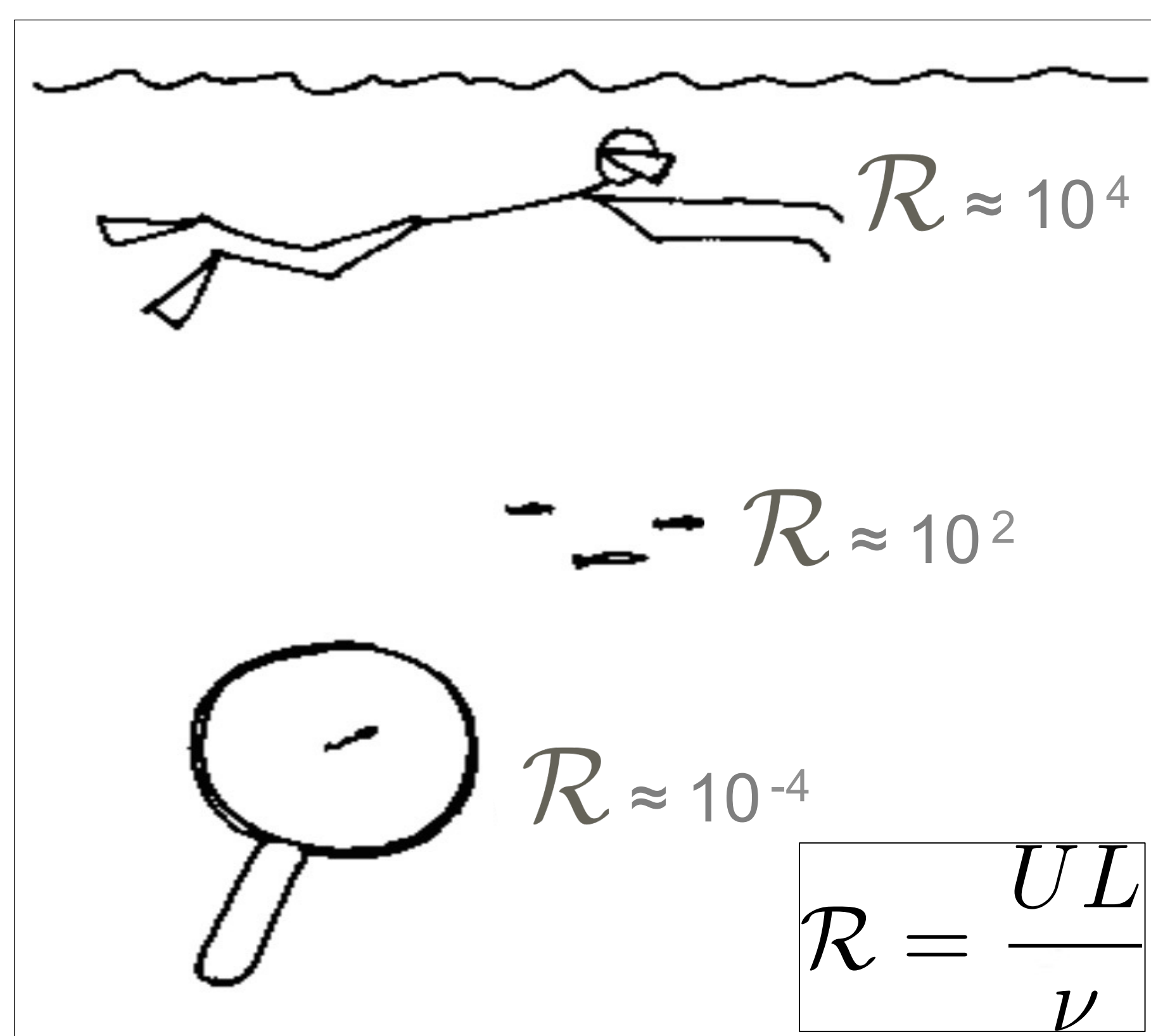
Tous les fluides réels possèdent une difficulté à s'écouler lorsqu'ils sont mis en mouvement. Les forces à l'origine de ce phénomène sont appelées **forces de viscosité**. D'origine moléculaire, elles génèrent au niveau macroscopique du frottement entre deux couches de fluide en contact, ce qui ralentit leur mouvement.

Les fluides dans cette photographie ont des viscosités croissantes de gauche à droite. [www.chemistryexplained.com]



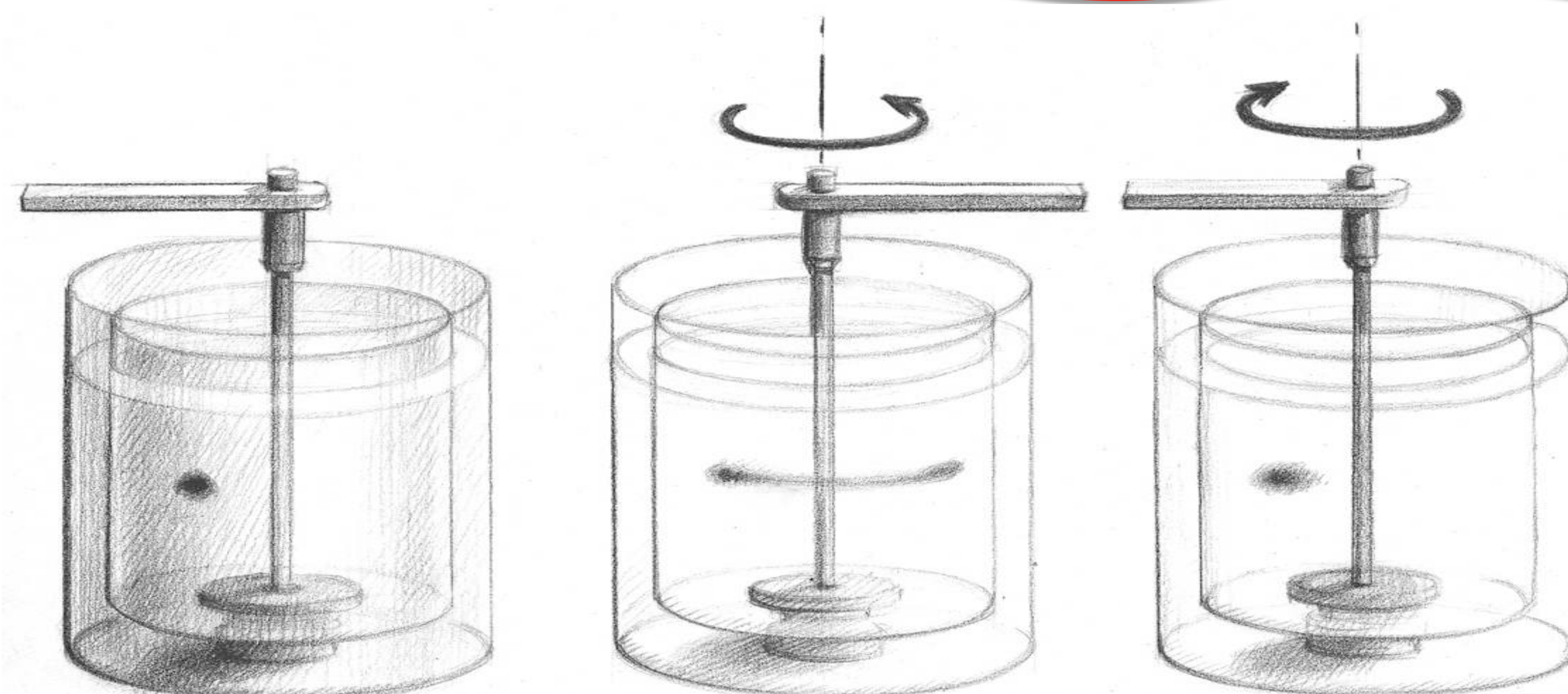
Des fluides ayant des viscosités différentes (p.ex. l'eau et le miel) ont des comportements dynamiques très différents pour une même sollicitation appliquée. Le comportement observé dépend du rapport entre les forces de viscosité et les forces d'inertie. Ce paramètre s'appelle **nombre de Reynolds**; il est possible de montrer que son expression fait intervenir le rapport entre la taille de la région de l'espace intéressée par le mouvement du fluide (dimension d'un conteneur ou d'un objet immergé) et la viscosité du fluide même.

Trois types de nageurs dans un même fluide: un homme (1 mètre), un petit poisson (1cm), une bactérie (1 micron). Le nombre de Reynolds étant très différent dans les trois cas, des stratégies de nage complètement différentes sont adoptées. [E.M. Purcell, Life at low Reynolds number, Am. J. Phys. 45, 3-11 (1977).]



Réversibilité temporelle

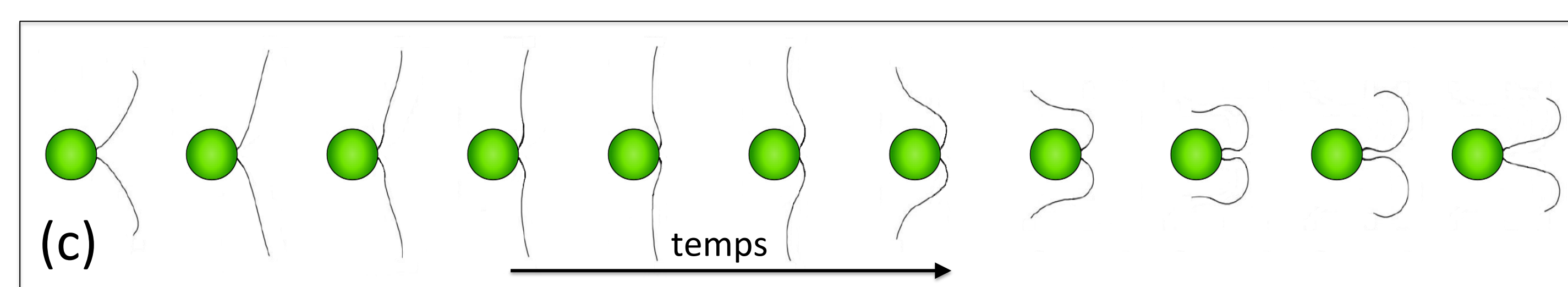
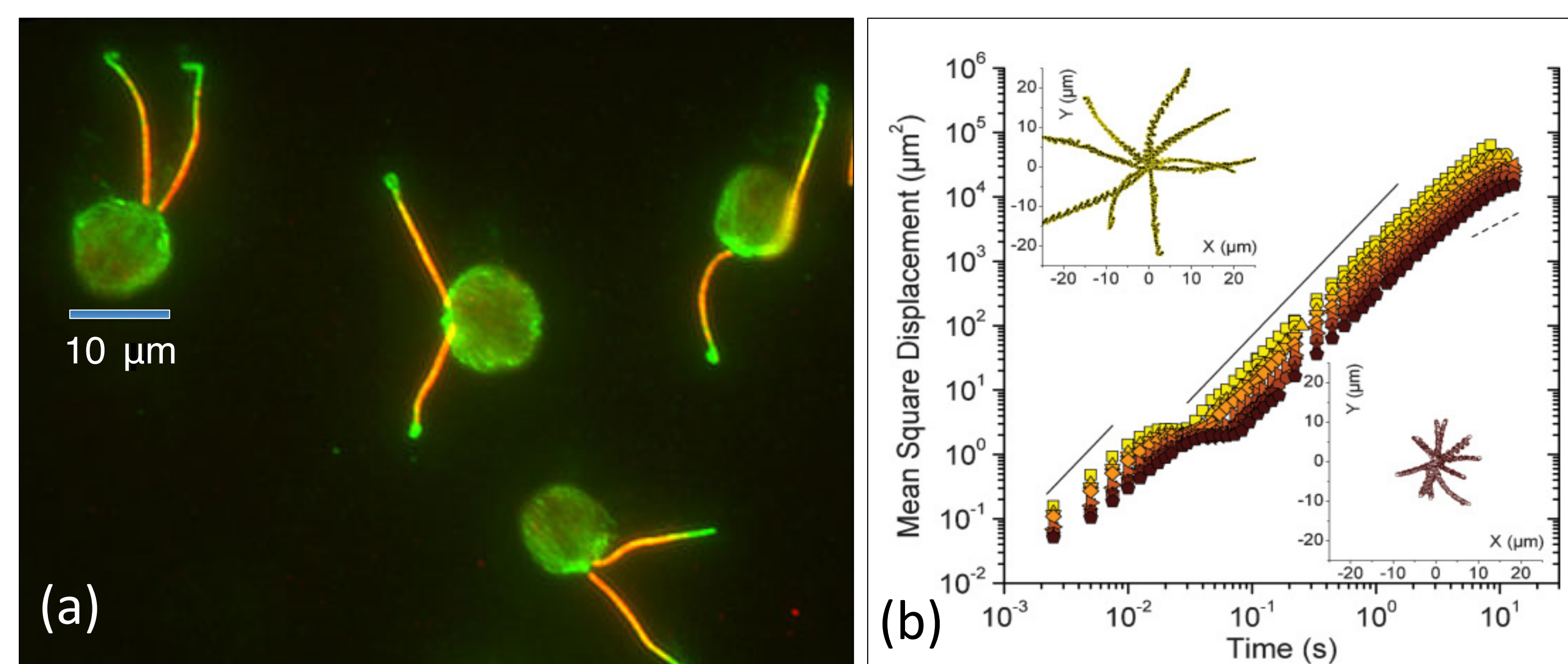
Dans le régime de faible nombre de Reynolds (fluides très visqueux) une propriété remarquable apparaît : l'écoulement du fluide est caractérisé par le phénomène de la **réversibilité temporelle**. Dans ces conditions, la viscosité du milieu a un fort effet d'atténuation de toute fluctuation dans le mouvement du fluide, ce qui conduit à des écoulements très réguliers indépendants du temps. Cela implique qu'un mouvement dans le fluide est compensé par un mouvement en sens inverse, ce qu'on appelle **un mouvement réciproque**.



Expérience du mélange réversible dans le dispositif de Taylor-Couette [image E. Guazzelli & F. Morris; illustration: S. Pic]

Séquences de mouvements cycliques et stratégies de nage

Pour pouvoir se déplacer dans un liquide, c'est à dire pour nager, il faut effectuer des séquences cycliques de mouvements élémentaires qui doivent être répétés. La réversibilité temporelle des fluides à bas nombre de Reynolds pose des limitations sur les mouvements élémentaires permettant la locomotion d'un individu. En particulier, une séquence de mouvements réciproques, comme ceux qui sont opérés par un organisme muni d'une queue battante rigide, ne génère pas de déplacement. Pour cette raison les micro-organismes dans la nature adoptent d'autres stratégies: queues flexibles (spermatozoïdes), queues en spirale (Escherichia Coli, une bactérie présente dans l'intestin humain), flagelles flexibles (micro-algues).



(a) Algues unicellulaires *Chlamydomonas reinhardtii* [University of Cambridge]. (b) Mesure du déplacement d'un ensemble de ces algues. Les trajectoires en forme de zigzag (image jaune du haut) sont dues à la réversibilité temporelle [M. Garcia et al. Phys. Rev. E 83, 035301(R) (2011)]. (c) Séquence temporelle des mouvements des flagelles de cette algue (nage de type brasse).