

Gouttes nageuses dans un champ de gravité

Gabriel Melka
Encadrante : Mathilde Reyssat

ENS de Lyon
Université Claude Bernard Lyon 1
Laboratoire Gulliver, ESPCI Paris

Août 2025



Plan

- 1 Introduction
- 2 Méthodologie
- 3 Résultats
- 4 Conclusion

Contexte

- Étude de microgouttelettes auto-propulsées par effet Marangoni.
- Propulsion due aux gradients de tension superficielle.
- Objectif : comprendre l'influence de la gravité sur leur vitesse.

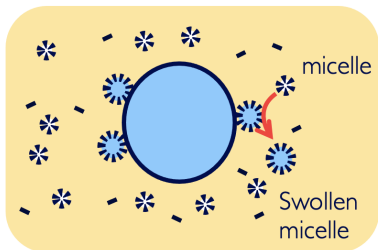


Fig. 1 : Mécanisme simplifié

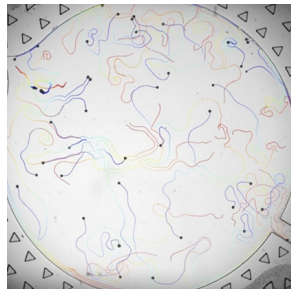
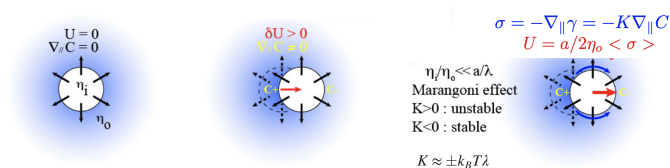


Fig. 2 : Effet Marangoni sur une goutte

Mécanisme de nage

- Au-delà de la CMC, formation de micelles inverses.
- Absorption d'eau \rightarrow micelles gonflées.
- Création de gradients interfaciaux \Rightarrow propulsion.



Z. Izri et al. PRL, 113 (2014).

Fig. 3 : Explication du mouvement par effet Marangoni

Préparation du matériel

- Solutions salines (15% NaCl) et tensioactif ($> \text{CMC}$).
- Capillaires carrés de $400 \mu\text{m}$, silanisation interne.
- Production des gouttes via micropointe + femtojet.

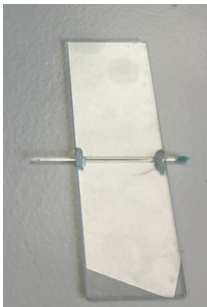


Fig. 4 : Capillaire

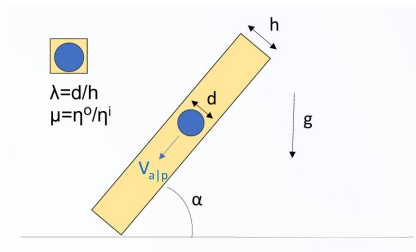


Fig. 5 Schéma capillaire incliné

Observation expérimentale

- Microscope confocal inclinable.
- Suivi des gouttes à 2 fps.
- Analyse des vitesses par ImageJ (tracking manuel ou semi-automatisé).

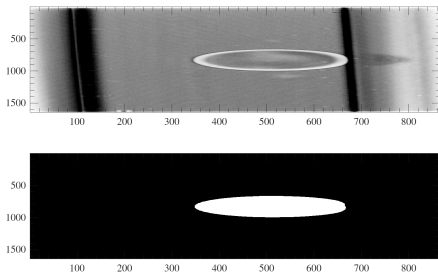


Fig. 6 : Bonne détection

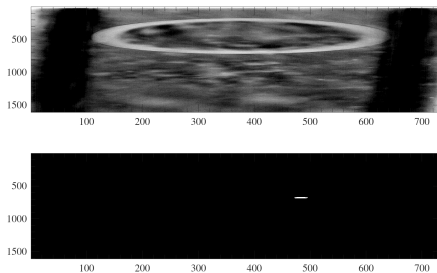


Fig. 7 : Mauvaise détection

Gouttes passives

- Vitesse $V_p = A(\lambda) \sin(\alpha)$.

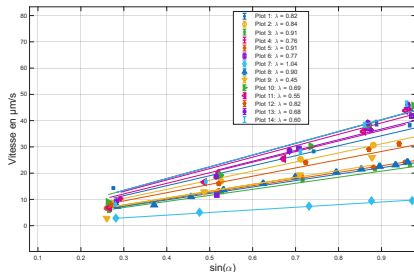


Fig. 8 : Gouttes passives sous gravité, pour plusieurs confinements

- Vitesse V_p proportionnelle à $\sin(\alpha)$.
- Bon accord avec la théorie (sauf à 90°).

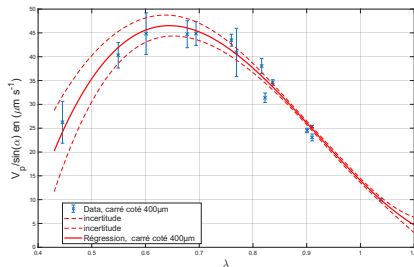


Figure 9 – Régression des différentes pentes en fonction du confinement

Gouttes actives sous gravité

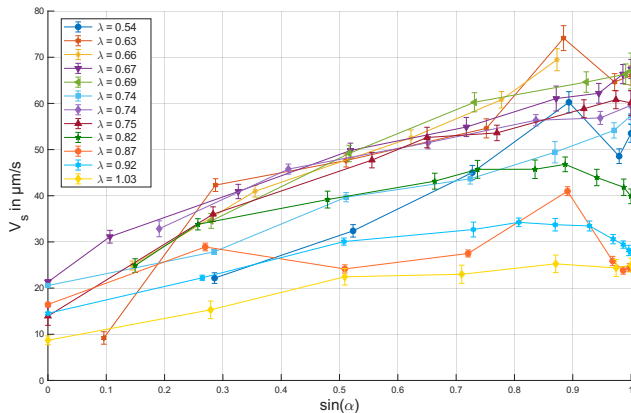


Fig. 10 : Vitesse de nage de gouttes actives sous gravité

- Définition : $V_s = V_a - V_p$.
- Gravité accentue la vitesse de nage, sauf pour les angles très élevés
- Effet maximal pour confinements intermédiaires.

Gouttes actives contre gravité

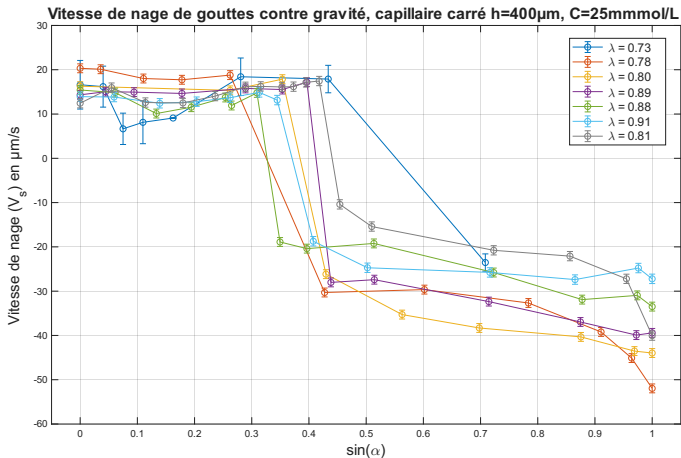


Fig. 11 : Vitesse de nage de gouttes actives contre gravité

- Nagent initialement vers le haut malgré g .
- Vitesse de nage constante avant chute

Modélisation

- Force de propulsion $F_{prop} \sim rK\Delta c$.
- Équilibre entre gravité et traînée, et force de propulsion : relation théorique :

$$\frac{V_s^0}{\sin(\alpha_c)} = A(\lambda) .$$

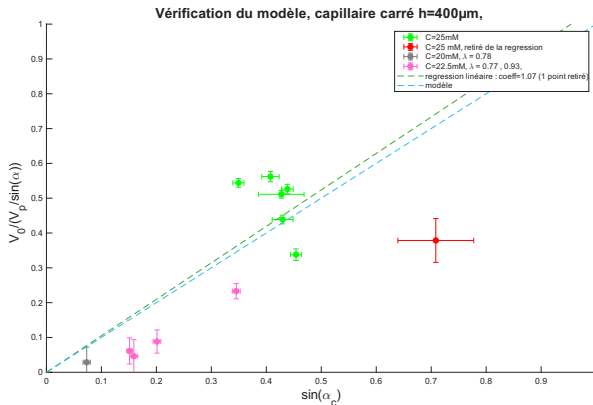


Fig. 12 : Gouttes actives contre gravité, comparaison avec la théorie pour plusieurs concentrations de surfactant

Incertitudes

- Tracking manuel vs traitement numérique.
- Incertitude relative $\approx 2\%$.

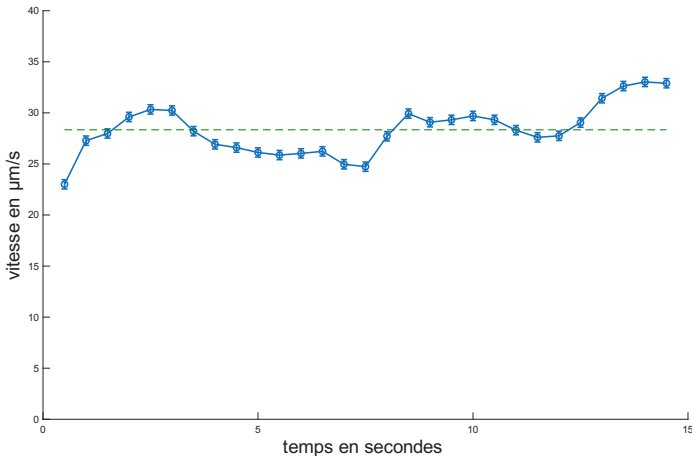


Fig. 13 : Traitement numérique pour goutte passive avec $\lambda = 0.82$, $\alpha = 44.9$

Conclusion

- Étude conjointe de gouttes passives et actives.
- Gravité peut renforcer ou contrer la nage.
- Effets marqués du confinement et de la concentration.

- Tester capillaires plus larges et circulaires.
- Étudier d'autres forçages (contre-écoulements).
- Optimiser la silanisation pour reproductibilité.

Remerciements

- Merci à Mathilde Reyssat et Léo-Paul Barbier.
- Merci au Laboratoire Gulliver (ESPCI).

Références I

[1] N. Desai, S. Michelin, 2021.

C. de Blois et al., 2019.

Z. Izri et al., 2014.

M. Morozov, S. Michelin, 2021.

Castonguay et al., 2023.

C. de Blois de La Calande, thèse 2022.