Anneaux liquides

Les questions étoilées (*) sont difficiles et peuvent être passées.

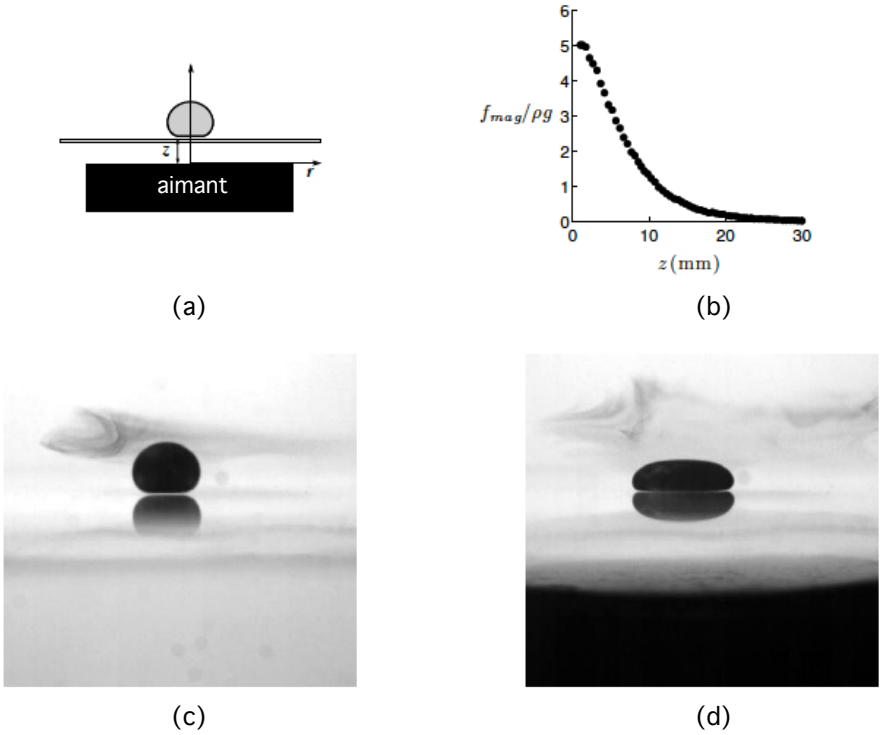

Figure 1: (a) Schéma de l'expérience. z désigne la distance entre le dessus de l'aimant et le dessous de la goutte. (b) Rapport des forces magnétique (déduite d'une mesure du champ au teslamètre) et de gravité en fonction de la distance z à l'aimant (c) Goutte d'oxygène liquide de rayon $R = 0.8$ mm posée sur une plaque de verre à température ambiante sans aimant. (d) La même goutte en présence d'un aimant permanent situé à sous la flaque.

En dessous de $-183°C$ et à pression atmosphérique, l'oxygène que nous connaissons bien sous sa forme gazeuse change de phase et devient un liquide transparent, dont la densité est proche de celle de l'eau ($\rho = 1140$ kg/m^3) et dont la tension de surface vaut $\gamma = 13$ mN/m et la viscosité $\eta = 0.2$ mPa.s. Du fait de sa très basse température d'ébullition, l'oxygène liquide est en caléfaction sur n'importe quelle surface à température ambiante. Mais ce qui fait la particularité des gouttes d'oxygène par rapport aux autres liquides est leur sensibilité au champ magnétique. On peut ainsi utiliser des aimants pour manipuler ces gouttes et influer sur leur statique et leur dynamique.
Le principe de l'expérience que nous allons étudier est présenté sur la figure 1:

l'oxygène liquide est déposé sur une plaque de verre horizontale et l'aimant est sous la plaque à une distance z [figure 1-(a)]. La force volumique, f_{mag}, mesurée au Teslamètre, est donnée sur la figure 1-(b) où elle est normée par ρg. L'effet de l'aimant sur la forme statique d'une goutte d'oxygène est montré sur la figure 1-(c)-(d).

01 - Décrire l'effet de l'aimant sur la forme de la goutte.

02 - Retrouver l'épaisseur d'une flaque gravitaire en l'absence de champs magnétique.

03 - En utilisant les données de la figure 1-(b), déterminer la position de l'aimant z dans la figure 1-(d).

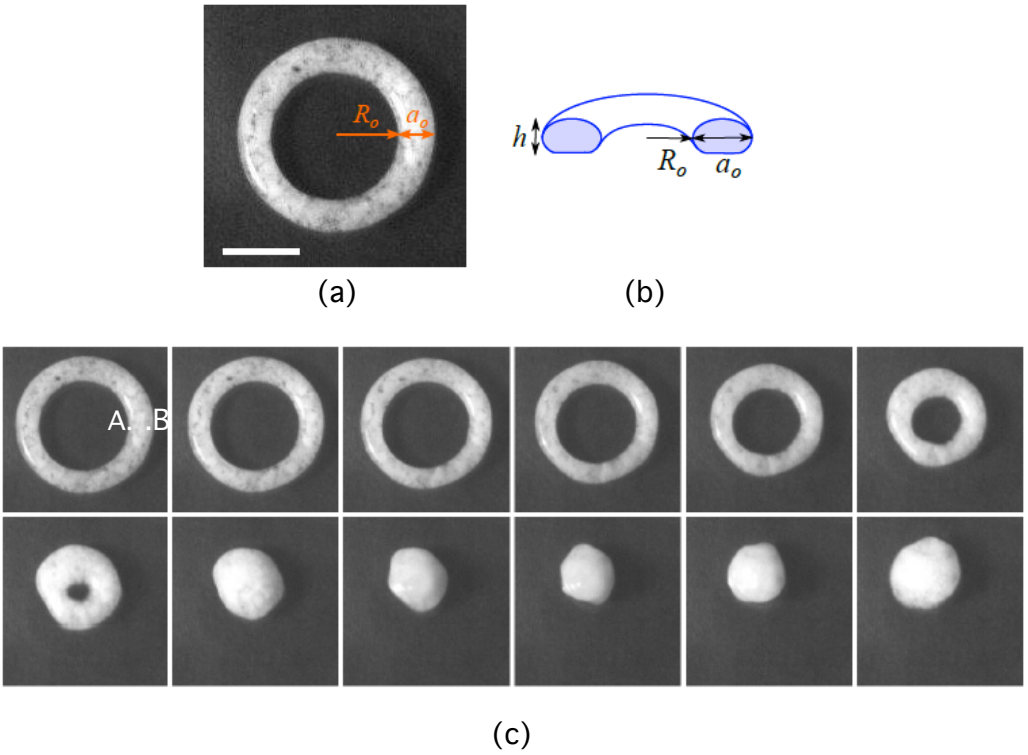

Figure 2: a) Vue de dessus d'un anneau d'oxygène liquide, $R_0 = 4$ mm, $a_0 = 2.2$ mm (b) Conventions utilisées. (c) Chronophotographie de la fermeture de l'anneau. L'intervalle de temps entre deux images est 8 ms.

En utilisant des aimants en forme d'anneaux, il est possible de sculpter des anneaux liquides tel que celui présenté sur la figure 2-(a).

04 - En l'absence de champ magnétique, pourquoi observe-t-on des gouttes plutôt que des anneaux ?

05* - Discuter la force magnétique minimale permettant de former un anneau.

06 - Lorsqu'on coupe le champ magnétique, l'anneau se ferme comme le montre la chronophotographie de la figure 2-(c). Tracer l'évolution $R(t)$. Commentez.

07 - Evaluer le nombre de Reynolds associé au mouvement du fluide lors de la fermeture de l'anneau.

08 - Justifier les hypothèses d'écoulement incompressible et irrotationnel.

09 - On fait l'hypothèse d'un écoulement radial dans un anneau **d'épaisseur constante**. Montrez que :

$$\underline{u}(r,t) = \frac{R\dot{R}}{r}\underline{e}_r \tag{1}$$

10 - En déduire l'expression du potentiel ϕ, tel que $\underline{u} = \underline{\text{grad}}\ \phi$.

11 - Appliquer Bernoulli entre A et B (figure 2-(c)) et déterminer l'équation différentielle qui régit l'évolution $R(t)$.

12 - Montrer que dans la limite $R \gg a$, cette équation se réduit à:

$$\ddot{R} = -\frac{2\gamma}{\rho.R_0.a_0} \tag{2}$$

13 - Intégrer cette équation et comparer aux mesures que vous avez tracées en question (5).

14* - Retrouver le comportement issu de l'équation (2) par un raisonnement en lois d'échelles.