

Exercice 1 : Charge élémentaire

Le dispositif expérimental

Robert Millikan, scientifique américain (1868-1953), a conçu une manipulation afin de mesurer la charge électrique portée par une goutte d'huile. Le dispositif expérimental est simple : un spray pulvérise de l'huile dans une enceinte. Les fines gouttes d'huile se retrouvent électrisées par le frottement avec l'embouchure du spray. Les gouttes tombent par un orifice, et se retrouvent entre deux plaques métalliques qui peuvent être soumises à une tension de plusieurs kilovolts. Si aucune tension n'est appliquée, les gouttes tombent en chute libre. Si une tension est appliquée, les gouttes électrisées subissent une force électrique. Pour une valeur suffisante de la tension, les gouttes peuvent remonter. Une lunette de visée munie d'un micromètre permet d'observer les gouttes, et de déterminer, à l'aide d'un chronomètre, la vitesse de la goutte observée. De la vitesse, Millikan est remonté à la charge électrique portée par la goutte électrisée.

Chute

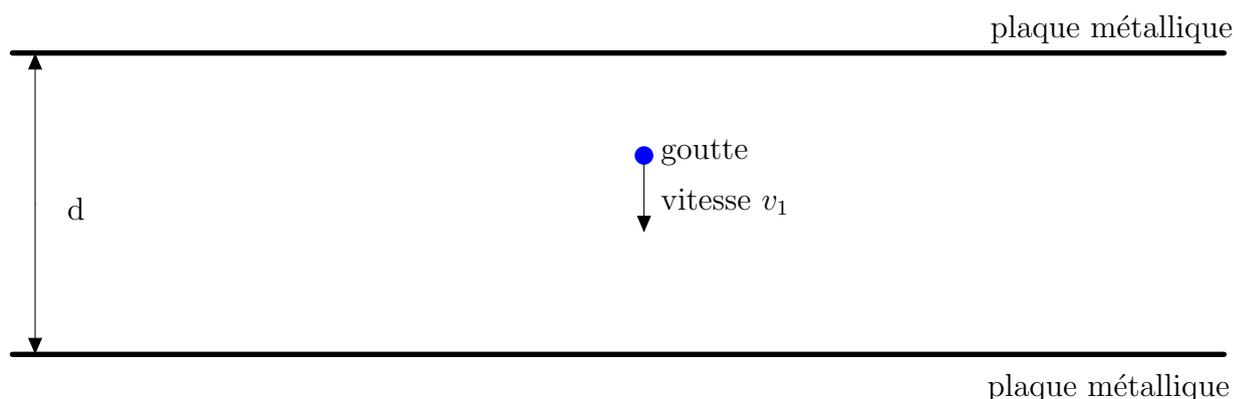


FIGURE 1 – Schéma de la chute libre d'une goutte.

1. Représentez sur le schéma de la figure 1 les forces suivantes qui s'appliquent sur la goutte :
 - le poids \vec{P} de la goutte ;
 - la poussée d'Archimède \vec{F}_A ;
 - la force \vec{f}_1 de frottement de l'air.
2. Pendant toute la durée d'observation d'une goutte, la vitesse de celle-ci est constante.
 - (a) Comment pouvez-vous qualifier le mouvement de la goutte ?
 - (b) Déduisez-en une relation, nommée relation (1) dans la suite du travail, entre P , F_A , et f_1 .

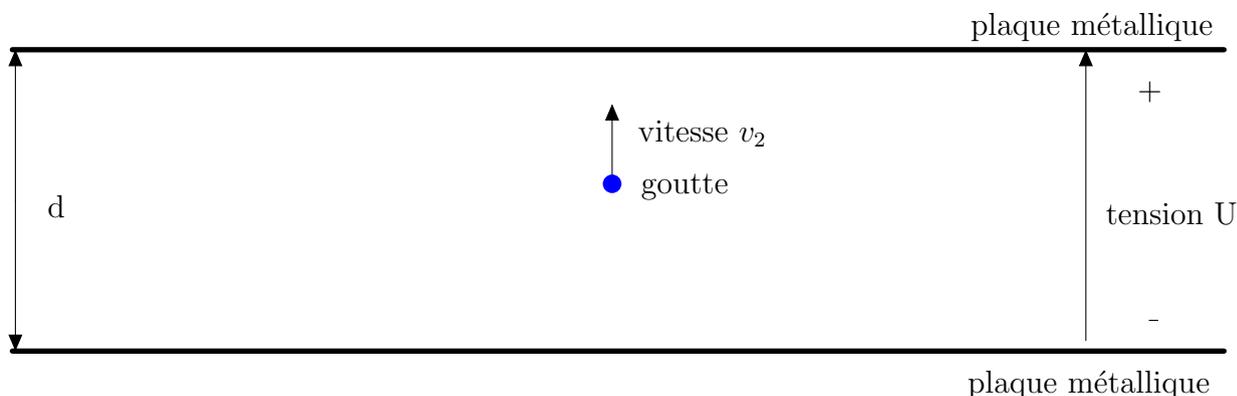


FIGURE 2 – Schéma de la montée d'une goutte.

Montée

3. Représentez sur le schéma de la figure 2 les forces suivantes qui s'appliquent sur la goutte :
 - le poids \vec{P} de la goutte ;
 - la poussée d'Archimède \vec{F}_A ;
 - la force \vec{f}_2 de frottement de l'air ;
 - la force électrique \vec{F}_E (en supposant que la goutte est chargée négativement).
4. Nous sommes toujours dans le cas d'un mouvement rectiligne uniforme. Écrivez la relation, nommée relation (2), entre P , F_A , f_2 , et F_E .

Détermination de la charge électrique d'une goutte

Poids de la goutte

5. Donnez l'expression de la valeur P du poids de la goutte d'huile en fonction de la masse volumique de l'huile ρ_h , du rayon r de la goutte (supposée sphérique), et de l'intensité de la pesanteur g .

Poussée d'Archimède

6. Donnez l'expression de la valeur F_A de la poussée d'Archimède qui s'applique sur la goutte d'huile en fonction de la masse volumique de l'air ρ_a , du rayon r de la goutte et de l'intensité de la pesanteur g .

Force électrique

7. Donnez l'expression de la valeur E du champ électrique entre les plaques métalliques en fonction de la tension U et la distance d entre les plaques.
8. Donnez l'expression de la valeur F_E de la force électrique qui s'exerce sur la goutte.

Force de frottement

La valeur de la force de frottement est donnée par la loi de Stokes.

$$f = 6\pi\eta r v$$

où

- η est la viscosité du milieu, ici l'air ($Pa \cdot s$);
- r est la rayon de l'objet sphérique qui se déplace (m);
- v est la vitesse de l'objet (m/s)

Charge électrique d'une goutte

9. A partir de la relation (1), déterminez l'expression du rayon r de la goutte en fonction de sa vitesse de chute v_1 .
10. A l'aide de la relation (3) = (2) - (1), déterminez la valeur de la charge q d'une goutte qui tombe à la vitesse v_1 et qui monte à la vitesse v_2 , en fonction de U , d , η , ρ_h , ρ_a , v_1 , v_2 , et g .
11. A l'aide de la deuxième ligne du tableau 1, calculez la quantité de charge q portée par la goutte considérée.
On donne :
 - $\rho_h = 896 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
 - $\rho_a = 1,23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
 - $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
 - $\eta = 1,84 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
12. Le graphique de la figure 3 montre la charge électrique portée par différentes gouttes étudiées par Millikan.
Que pouvez-vous observer concernant les différentes valeurs de charges électriques portées par les gouttes ?

Distance (m)	Tension (V)	Temps de chute (s)	Temps de montée (s)
$1,010 \times 10^{-2}$	7730	23,46	39,18
$1,010 \times 10^{-2}$	7900	22,82	6,70
$1,010 \times 10^{-2}$	7900	22,82	17,13
$1,010 \times 10^{-2}$	7900	22,82	10,73
$1,010 \times 10^{-2}$	7820	23,14	8,65

TABLEAU 1 – Quelques mesures relevées par Millikan (*Données extraites du journal Physical Review vol. XXXII, 1911*)

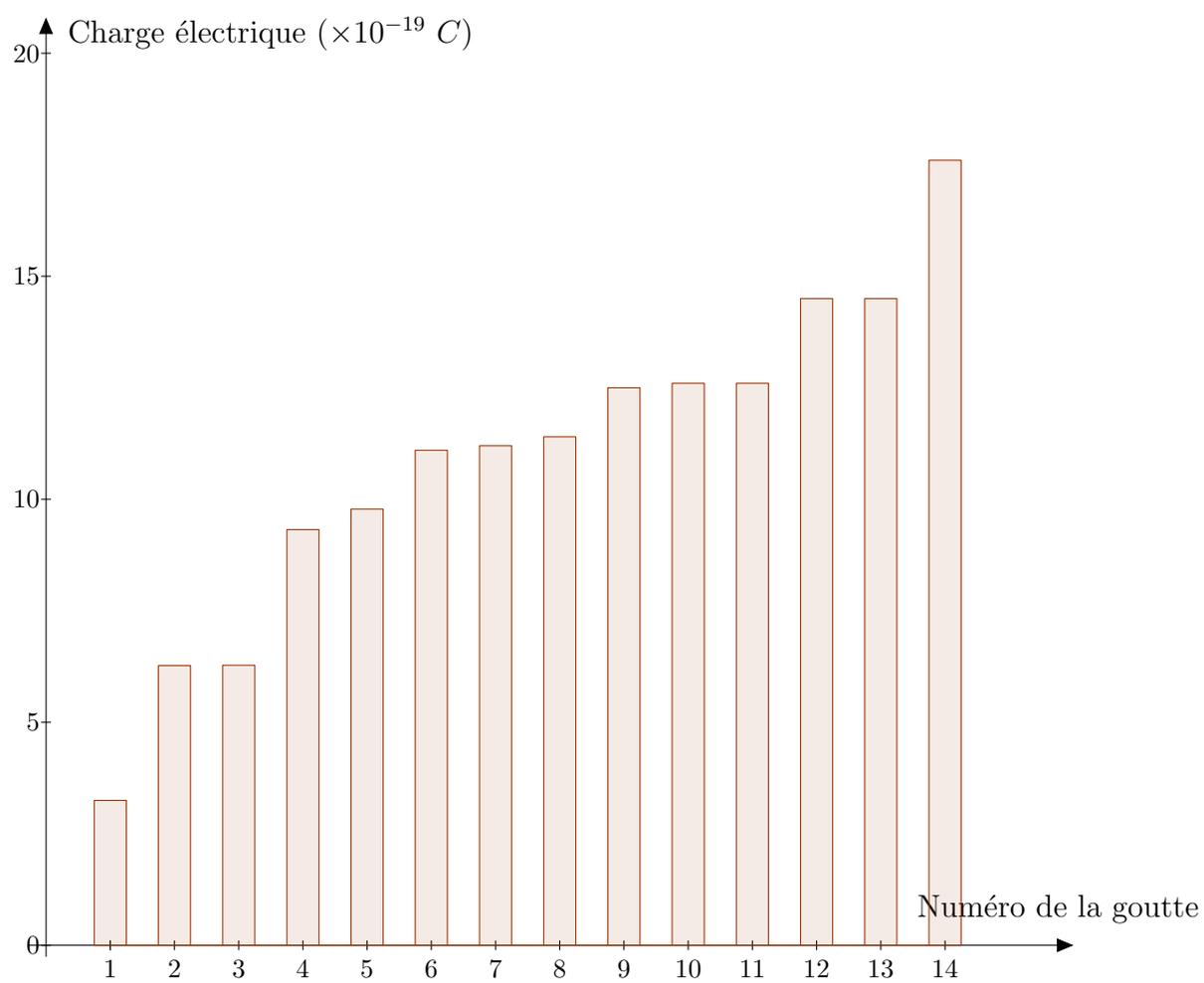


FIGURE 3 – Charge électrique portée par différentes gouttes étudiées.