

Projet Maison : Fabrication et étude physique d'une bouteille de Leyde

Vous répondrez (en binôme, ou en trinôme) aux questions posées par un rapport de 5 pages maximum. Ce rapport sera complété par une vidéo de 3 minutes maximum au format mp4 présentant la réalisation et l'usage de votre bouteille de Leyde.

1 Introduction

La bouteille de Leyde fut historiquement le premier dispositif capable de stocker une grande quantité d'électricité. Elle fut inventée en 1745–1746 par Pieter van Musschenbroek à Leyde, et presque simultanément par Ewald Georg von Kleist. Cette découverte a été déterminante pour les premières recherches sur l'électricité.

Dans ce projet maison, nous vous proposons de construire votre bouteille de Leyde et d'en étudier le fonctionnement.

2 Fabrication d'une bouteille de Leyde

2.1 Matériel

Pour construire votre bouteille de Leyde, nous vous suggérons le matériel suivant (voir Fig. 1):

- Bouteille (verre ou plastique) + bouchon isolant (liège ou plastique)
- Feuille d'aluminium + scotch (idéalement du scotch d'électricien)
- Deux fils électriques (notés M et P) ou fils de fer.
- Une vis traversant le bouchon
- Une boule lisse (ping-pong ou papier mâché) recouverte d'aluminium

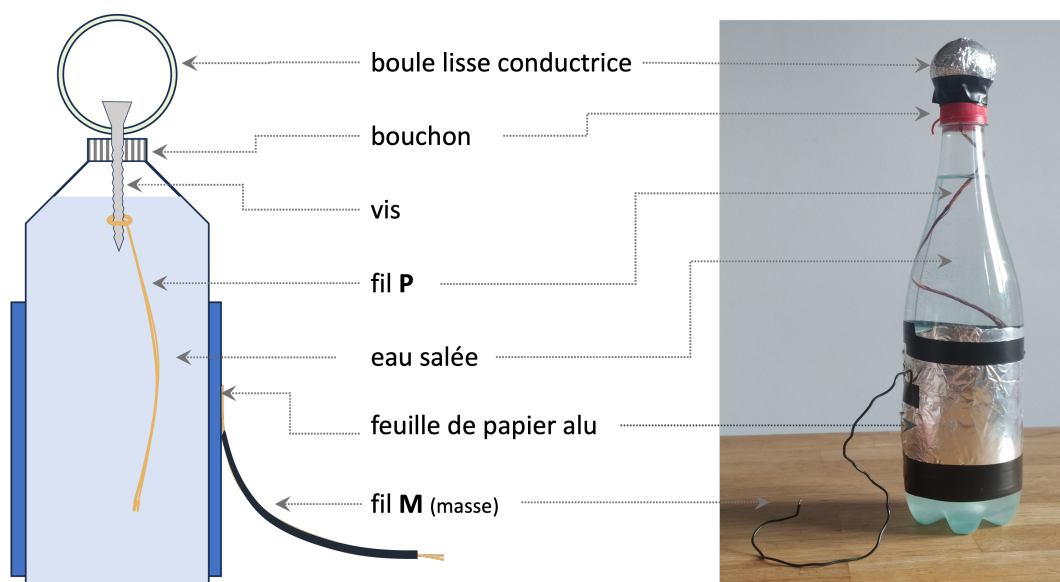


Figure 1: Schéma (à gauche) et exemple de réalisation (à droite) d'une bouteille de Leyde

- Eau + sel de cuisine
- Une tige électrisable (idéalement du PVC, type tuyau de canalisation) + un tissu (par exemple une écharpe en laine)

2.2 Montage

1. Entourer l'extérieur de la bouteille d'une feuille d'aluminium et la fixer avec du scotch.
2. Fixer l'extrémité dénudée du fil M sur l'aluminium extérieur.
3. Remplir la bouteille d'eau puis saler généreusement.
4. Transpercer le bouchon avec une vis. Côté extérieur du bouchon : fixer la boule recouverte d'aluminium. Côté intérieur : fixer l'extrémité dénudée du fil P.
5. Insérer le bouchon de manière que le fil P plonge dans l'eau salée.

2.3 Procédure expérimentale pour charger la bouteille électriquement

Pendant toute la manipulation, tenir l'extrémité dénudée du fil M à la main. Frotter la barre de PVC avec le tissu pour la charger électriquement, tout en déposant par contact cette charge au sommet de la boule, à chaque cycle. Répéter au moins une vingtaine de cycles.

Questions générales *Pour les questions qui suivent, on attend une réponse qualitative, sans calculs. Vous pouvez en revanche illustrer votre raisonnement par un schéma.*

- Pourquoi faut-il saler abondamment l'eau ?
- Pourquoi doit-on tenir en main l'extrémité du fil M ?
- (Pour les plus courageux ! – **Ne pas faire si vous avez des problèmes cardiaques ou si vous portez un pace-maker**). Toucher le sommet de la boule du bout du doigt : que se passe-t-il ? Pourquoi, même si cela pique, ce n'est pas dangereux ?
- Approcher le fil M près de la boule : que se passe-t-il ? Pourquoi ?
- Quel intérêt y-a-t-il à mettre une boule lisse de relativement grand diamètre au sommet de la bouteille ?

3 Modélisation physique

On modélise le conducteur intérieur (eau salée) par un cylindre de longueur L et de rayon R_1 , l'isolant (paroi de la bouteille) par un cylindre creux de rayon intérieur R_1 et extérieur R_2 , et l'armature extérieure (aluminium) entre par un cylindre creux de rayon intérieur R_2 et extérieur R_3 (voir la Fig. 2, qui n'est pas du tout à l'échelle !).

On se place dans l'approximation de cylindre infinis ($L \gg R_i$). Supposons que l'on dépose une charge Q sur le cylindre intérieur.

1. Comment se répartit la charge Q dans le conducteur intérieur ? Dans le cas où le conducteur extérieur (papier alu) n'est relié à la masse, quelle charge va être portée par sa surface intérieure ? et par sa surface extérieure ? Même questions dans le cas où ce conducteur est relié à la masse. Dans la suite on se place dans le cas où l'armature extérieure est reliée à la masse.

2. Par des arguments de symétrie et d'invariance, déterminer la direction du champ électrique en tout point de l'espace et de quelle(s) variable(s) spatiale(s) il dépend.
3. Appliquer le théorème de Gauss pour déterminer le champ en tout point de l'espace.
4. En déduire la différence de potentiel entre les parois de la bouteille $\Delta V = V(R_2) - V(R_1)$, puis la capacité C .
5. Dans la limite $R_2 - R_1 \ll R_1$, que devient C ? Commenter. Calculer la valeur théorique attendue de C .
6. Calculez l'énergie électrostatique stockée dans la bouteille de Leyde en fonction de la charge Q qu'elle contient.

4 Mesures complémentaires

Pensez à amener votre bouteille de Leyde lors du TP2 d'électrocinétique. Pendant le TP, prendre quelques minutes pour mesurer sa capacité avec un multimètre.

- Comparer la valeur de la capacité mesurée au modèle théorique.

Dans un condensateur réel, l'espace entre les deux armatures n'est généralement pas du vide mais un matériau isolant (verre, plastique, etc.). Sous l'action du champ électrique, les molécules de ce matériau se polarisent : elles créent un champ induit qui s'oppose partiellement au champ imposé. Le champ total dans le diélectrique est donc plus faible que dans le vide pour une même charge. Pour en tenir compte, on remplace la permittivité du vide ϵ_0 par la permittivité du matériau

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r,$$

où ϵ_r est la permittivité relative. Vous étudierez ces notions en détail en L3.

- En se basant sur votre valeur mesurée de C , estimer la valeur de ϵ_r . Comparer votre résultat aux mesures tabulées dans la littérature (verre, plastique, ...). Estimer l'erreur associée à votre détermination de ϵ_r .
- Estimer à quelle distance il y a apparition d'un arc électrique entre les fils P et M. En déduire une estimation de la charge Q portée par une armature du condensateur, et estimer l'erreur associée. Comparer à la charge totale qui circule dans la batterie de votre téléphone portable.
- Estimer l'énergie électrostatique stockée dans la bouteille.

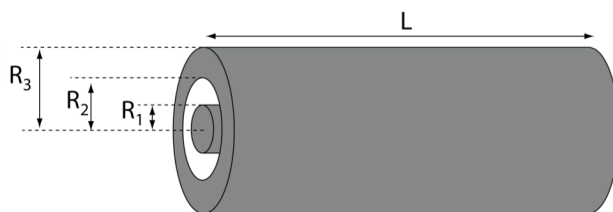


Figure 2: Modélisation d'une bouteille de Leyde