



OLYMPIADES DE PHYSIQUE 2021



**TOUJOURS PLUS VITE : COMMENT ACCELERER
UNE BILLE AU LYCEE DES FLANDRES AVEC UN
CHAMP ELECTRIQUE ?**

Estelle Dacgnies
Adrien Derache
Anaïs Wenzel

Sommaire :

I/Un peu d'Histoire des champs électriques

II/ Nos essais

II/ Le matériel disponible

III/ Le montage

IV/ Nos résultats en gravité terrestre

V/ Conclusion :

I/ Un peu d'histoire sur les champs électriques

« Le terme *électricité* vient du mot grec *elektros* qui signifie «ambre», c'est-à-dire une résine d'arbre fossilisée. Les Anciens avaient déjà remarqué qu'un bâtonnet d'ambre frotté avec du tissu attire des débris de feuilles mortes ou des grains de poussière»

En – 600 Thalès de Milet, un philosophe et savant grec, observe après avoir frotté de l'ambre jaune que celle-ci attire de l'oxyde de fer. Il pense qu'un souffle de vie anime ce caillou jaune.

Pendant 2000 ans, hormis quelques philosophes grecs (Plutarque) qui imaginaient que l'échauffement de l'ambre permettait d'emporter les corps légers par la convection de l'air, l'étrange pouvoir d'attraction de l'ambre n'intéresse plus grand monde. A la fin du 16ème siècle William Gilbert découvre que d'autres matériaux tels que le verre, le diamant ou l'alun attirent eux aussi des objets comme les plumes, la paille ou la poussière lorsqu'on les frotte... Gilbert nomme cette force d'attraction à distance "électricité".



En 1629, Niccolo Cabeo met en évidence l'attraction et la répulsion des corps électrisés.

En 1729, Stephen Gray découvre la conduction électrique. Les métaux transfèrent les charges pas les isolants



On voit ici que les charges ne sont pas conservées par les métaux : elles sont transmises par ces derniers alors que les matériaux isolants s'électrisent et donc ne conduisent pas les charges électriques

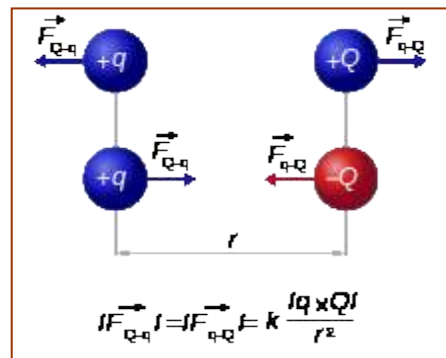
En 1733, Charles François de Cisternay Du Fay, un chimiste français, se lance dans une série d'expériences. Il montre d'abord que les métaux peuvent être aussi électrisés par frottement, à condition de les placer sur un support qui les isole de la terre. Mais, surtout, il découvre deux sortes d'électricité. Lorsqu'il laisse tomber une feuille d'or très légère sur un tube de verre qu'il a préalablement frotté, celle-ci rebondit sur le tube pour se stabiliser en l'air à 15 cm de distance. S'il approche un bâton de résine, la feuille est attirée et se colle aussitôt à son extrémité. Ces deux électricités, qu'il qualifie de "vitrée" et "résineuse" s'attirent l'une l'autre, mais se repoussent lorsqu'elles sont identiques.



Dans les années 1780, suite à de nombreuses mesures réalisées grâce à la balance de Coulomb, Charles Augustin Coulomb énonce la loi qui porte son nom : « L'intensité de la force électrostatique entre deux charges électriques est proportionnelle au produit des deux charges et est inversement proportionnelle au carré de la distance entre les deux charges. La force est portée par la droite passant par les deux charges. »

Balance de Coulomb

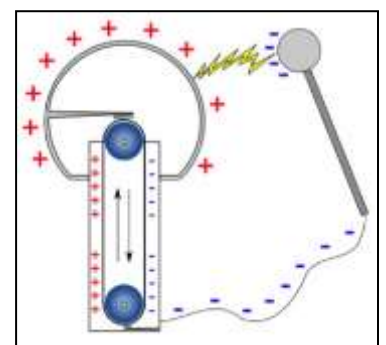
Loi de Coulomb



En 1882, l'anglais James Wimshurst invente une machine électrostatique qui fut historiquement utilisée pour illustrer de nombreux phénomènes d'électricité statique. Deux disques isolants sur lesquels sont fixés des secteurs conducteurs tournent en sens inverse. Lorsque deux secteurs, un chargé et un neutre, se croisent, celui qui est neutre prend une charge opposée par influence. Ces charges seront collectées et stockées dans des condensateurs.



Dans les années 1920 Van de Graaf construit un générateur électrostatique. C'est une machine électrostatique qui accumule les charges sur un conducteur grâce à un convoyeur mobile.



Conclusion :

Il a donc fallu plus de 2000 ans de réflexion pour les hommes parviennent à comprendre les phénomènes électriques.

L'introduction de la notion de charge électrique et l'intérêt que l'homme a donné ensuite au stockage de ces charges et aux forces électriques mises en jeu, est à l'origine de la création d'une multitude de dispositifs de la vie quotidienne.

II/ Nos essais pour accélérer une bille par un champ électrique

a. Premiers essais

Après avoir tester les petites expériences liées à l'électrostatique, nous avons compris que les corps légers pouvaient être attirés par des corps chargés. La machine de Wimshurst du lycée allait donc pouvoir nous servir de corps chargés et des billes légères pourraient être accélérer par attraction.

Nous avons donc choisi de travailler avec des billes en polystyrène.



Au niveau résultat, nous avons bien une accélération mais à très courte distance, ce qui fait que notre bille vient directement sur la tige reliée à une borne de la machine avant en fonction des essais d'être repoussée.

Nous n'arriverons donc pas à donner beaucoup de vitesse à notre bille et ceux sur une distance suffisante

b. Première évolution de notre système

En reprenant les notions vues dans l'historique, nous savions que les corps chargés de même signe s'attirent et de charges opposées se repoussent. Il suffit donc de charger notre bille et de nous arranger pour qu'elle passe alternativement d'une zone chargée positivement et négativement. Si elle est chargée avec une charge de signe opposée, elle sera attirée passera sur la zone pour être repoussée jusqu'à une autre zone où elle serait à nouveau attirée. En effet, dans nos recherches nous avons trouvé l'expérience du carillon électrostatique qui fonctionne de la même façon. Il nous suffit d'éviter les rebonds en sens opposés.

Expérience 1 : Nous avons relié deux canettes en aluminium à la machine de Wimshurst. Elles se sont donc chargées avec des signes opposés. Entre les deux canettes on place une bille en polystyrène métallisée. La bille n'est pas reliée aux canettes.

Observation : Lorsque l'on tourne la manivelle de la balance, la bille se balance d'une canette à l'autre.

Conclusion : Le corps léger est attiré par la force électrique attractive d'une des deux canettes puis en la touchant, il se charge avec une charge de même signe que la canette et subir une répulsion. Il se dirige ensuite vers l'autre canette portant la charge opposée du corps. Au contact, la charge de notre objet change à nouveau, une nouvelle répulsion a lieu et ainsi de suite. Ce petit dispositif est souvent appelé carillon électrostatique



Expérience 2 : Pour faire avancer la bille, il faut imaginer le même système posé sur un support.

Nous avons choisi de travailler avec des billes en polystyrène recouvertes d'une peinture conductrice.

Nous avons réalisé un condensateur plan à l'aide de deux lames de bois recouvertes d'aluminium. Les lames ainsi formées sont reliées à la machine. L'aluminium représente les armatures métalliques de notre condensateur plan. Entre ces deux armatures, on place une bille en polystyrène recouverte de peinture conductrice. Nous avons choisi d'utiliser le polystyrène car c'est un corps léger et nous avons utilisé une peinture conductrice pour que la charge soit bien répartie sur la surface de la bille.

Le résultat nous semble encourageant. Mais il faut imaginer un moyen pour que la bille avance sur le support sans être bloquée par les armatures en bois.

D'où l'idée de coller les bandes de scotch métallisés sur la table et de les relier deux par deux aux extrémités d'un générateur de tension continue (machine de Wimshurst ou générateur de tension continue élevée). Pour augmenter progressivement la vitesse, nous avons décidé d'utiliser une série de condensateurs qui vont permettre à la bille d'être en permanence entraînée par une force électrique



L'inconvénient est que la bille a tendance à partir dans toutes les directions et à quitter les zones dans lesquelles se trouvent les forces électriques. C'est pourquoi nous avons opté pour faire la même chose dans un cylindre creux (type gouttière)

III/ Le matériel disponible

a. Production d'un champ électrique

Pour créer le champ électrique, nous avons besoin de lames métalliques qui vont être posées alternativement sur le support. Nous avons travaillé dans nos prototypes avec du scotch aluminium et du scotch cuivre. Les dernières réalisations sont faites avec ce dernier.



L'absence de générateur haute tension au lycée nous a fait réfléchir sur la possibilité d'en obtenir un à moindre coût. Nous devons réaliser notre système électrique "avec ce que l'on avait sous la main". Les machines électrostatiques sont trop imposantes. En cherchant différents objets de la vie de tous les jours pour faire des hautes tensions, nous sommes tombés sur un site internet qui expliquait simuler la foudre (éclair) avec des objets du quotidien. C'est là que nous avons découvert la possibilité d'utiliser des tapettes à mouches électriques sachant qu'entre les grilles de celles-ci existe une tension de l'ordre de 1000V.



b. Le support type gouttière

Même si notre premier essai s'est réalisé dans une réelle gouttière, nous avons le souhait de travailler avec un système moins encombrant. C'est pourquoi, nous avons choisi de travailler avec du tuyau de PVC classique coupé en deux dans le sens de la longueur.

Nous nous sommes tout d'abord posé la question suivante : comment dimensionner le tuyau pour permettre à la bille d'avancer sans être en interaction avec deux charges opposées ?

Pour cela nous avons testé plusieurs tuyaux sur notre banc de test. Pour chaque tuyau essayé nous devons découper le tuyau du matériau choisi à la bonne taille et y mettre les lamelles de cuivre séparées par une distance légèrement supérieure au diamètre de la bille.



Nous avons également changé la taille de la bille pour voir si son diamètre avait une influence notamment au niveau des frottements

c. L'étanchéité de notre système

Pour pouvoir rendre étanche notre système nous avons tout simplement pris un long tuyau de diamètre intérieur plus grand que nos deux tuyaux bien évidemment transparents pour que l'on puisse voir la bille se déplacer, et une boîte en plastique également transparente pour y mettre notre système électrique.

III/ Le montage

Toujours dans notre souci de gagner de la place, nous avons décidé de démonter deux tapettes à mouches pour récupérer le système électrique et les assembler en série pour obtenir une tension d'environ 2000V. Voici une photo du système électrique.



Nous avons donc associé les deux systèmes en série au niveau des électrodes qui se répartissaient sur les grilles de la tapette. Voici les différentes photos du montage finale :

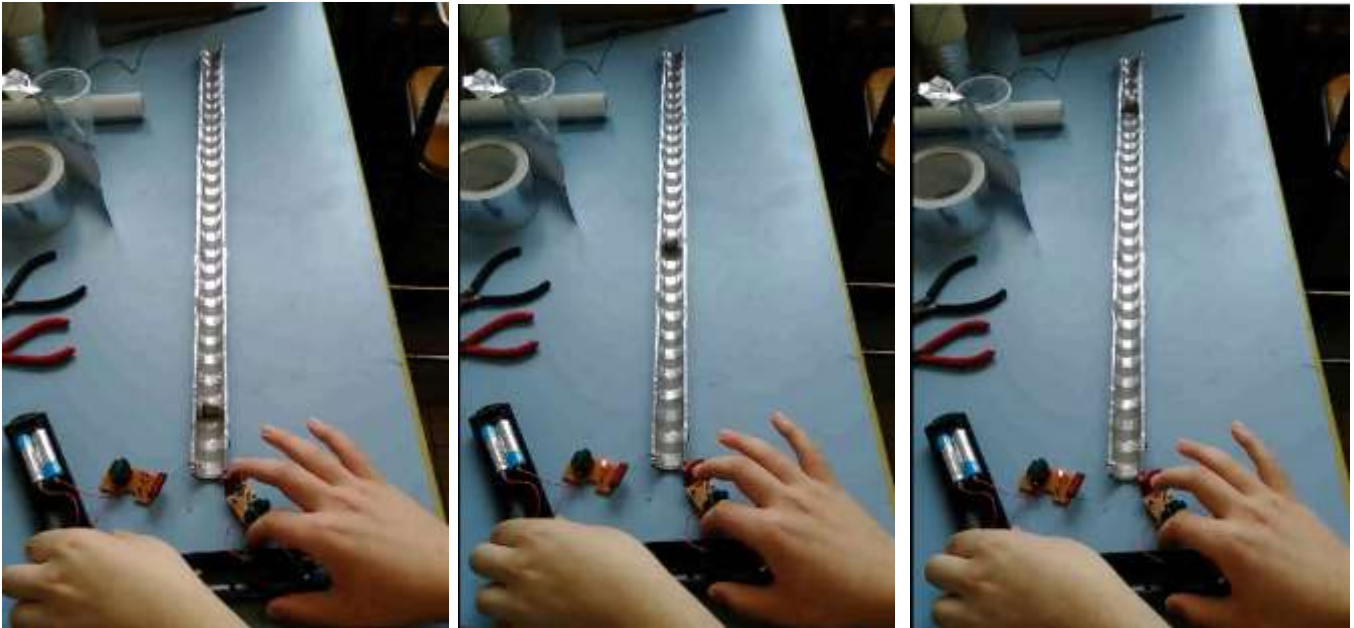


IV/ Les résultats

Le système est maintenant fonctionnel. Il est vrai que nous avons espéré une vitesse bien plus grande mais nous avons quand même réussi à construire un accélérateur de billes.

Pour le caractériser, nous avons décidé de faire une acquisition vidéo pour avoir accès à la vitesse.

Voici nos résultats



On arrive avec notre système à atteindre une vitesse moyenne de 0,15m/s.

Ce résultat n'est peut-être pas exceptionnel mais nous avons réussi à mettre en mouvement notre bille et à lui donner de la vitesse

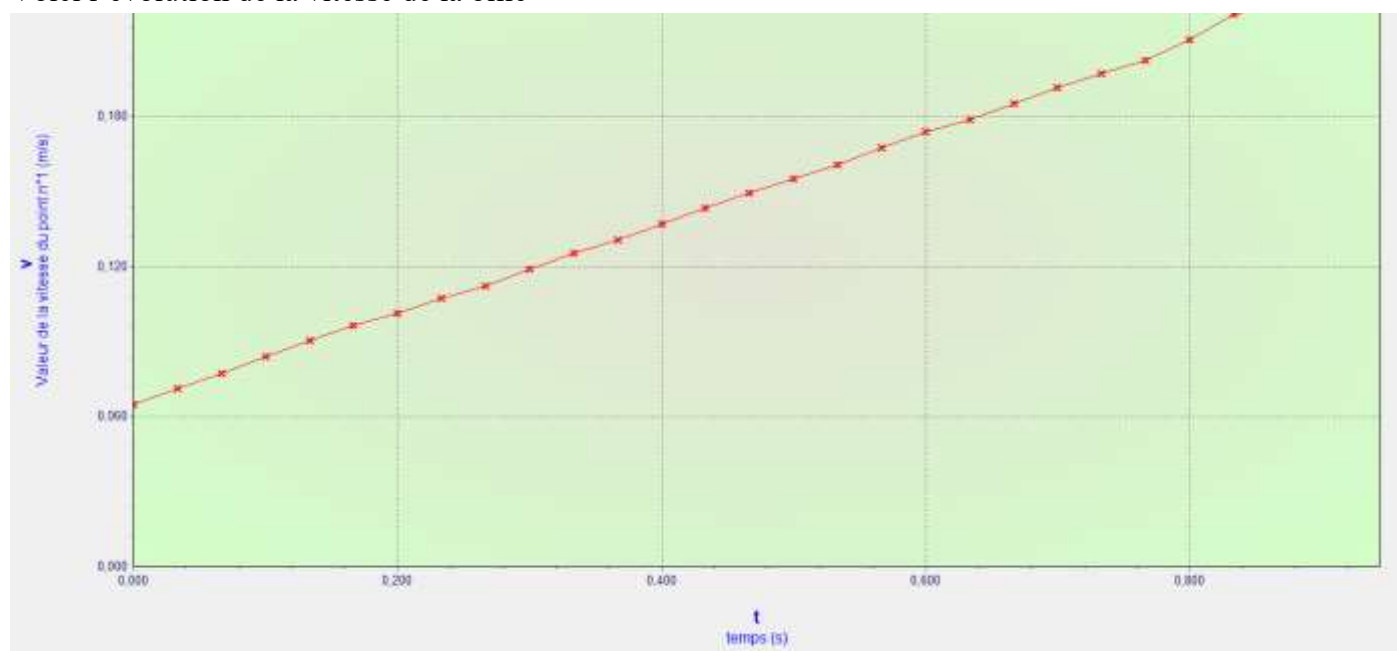
Les problèmes restant à résoudre sont principalement les frottements et le contrôle de la trajectoire.

En effet la bille a tendance à remonter et zigzague entre les parois de la gouttière ce qui perturbe fortement son mouvement.

Nous avons alors décidé de reprendre l'étude en filmant le dernier prototype qui permet beaucoup moins à la bille d'osciller sur les parois puisque nous avons pu dimensionner la bille au tube avec l'imprimante 3D de Mr Roisine.



Voici l'évolution de la vitesse de la bille



Nous obtenons une vitesse encore faible (0,2m/s au maximum), mais nous voyons bien qu'elle augmente progressivement et que le mouvement est accéléré.

CONCLUSION :

Dans ce projet, nous avons pu comprendre des notions liées à l'électricité, comprendre l'attraction et la répulsion entre les corps chargés pour utiliser ces propriétés pour donner de la vitesse à un objet sans avoir besoin de le toucher. Le poids de l'objet reste un facteur limitant ici en effet, il est impossible d'accélérer notre bille sur un axe verticale : son poids est trop grand et elle reste au bas du système. Nous avons la chance de pouvoir participer à la campagne de vols paraboliques du CNES. Nous pourrions donc recommencer l'expérience en impesanteur et mesurer une valeur de vitesse qui ne dépendra que de la tension des tapettes à mouches.