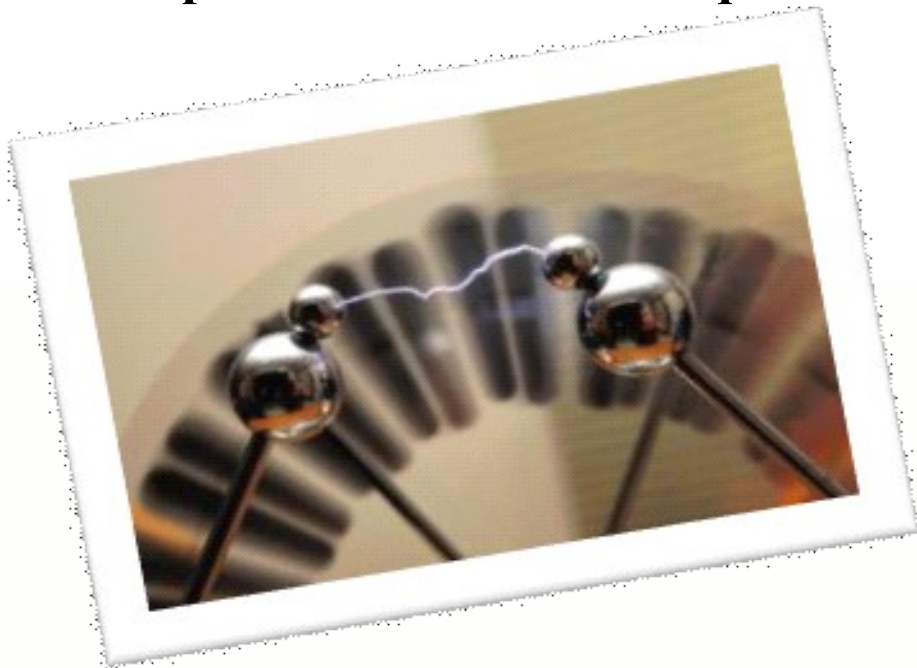


Projet de Physique P6
STPI/P6/2014 – 25

**Réalisation d'un film présentant quelques
expériences d'électrostatique**



Etudiants :

Zhiyuan BAO

Guillaume VIEIRA

Thibault BRETON

Rémi CHANTELOUBE

Victor JOFFRAY

Enseignant-responsable du projet :

Diane DUVAL

Date de remise du rapport : **16/06/2014**

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – 25**

Intitulé du projet : **Réalisation d'un film présentant quelques expériences d'électrostatique**

Type de projet : **expérimental, bibliographie**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Ce projet a pour but principal de réaliser un film présentant différentes expériences d'électrostatique. Ce film sera ensuite passer lors des amphi de P5 de Mme DUVAL. Il pourra permettre aux élèves de visualiser plus facilement certains phénomènes.

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

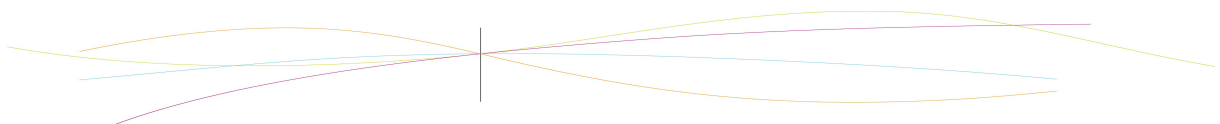
- **Expériences**
- **Electrostatique**
- **Film**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **xxx**

TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Travail réalisé et résultats.....	7
3.1. Historique.....	7
3.2. Travail réalisé et résultats.....	9
3.2.1. Pendule électrostatique.....	9
3.2.2. Cage de Faraday.....	10
3.2.3. L'électroscope.....	11
3.2.4. La machine de Wimshurst.....	13
3.2.5. Réalisation du film.....	14
4. Conclusions et perspectives.....	15
5. Bibliographie.....	16
6. Annexes.....	18
6.1. Scénario du film :.....	18

NOTATIONS, ACRONYMES



1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre projet de physique, nous avons réalisé un film présentant plusieurs expériences d'électrostatique. Ce projet s'inscrit directement dans la suite du cours d'électromagnétisme que nous avons suivi le semestre précédent.

L'électrostatique est la branche de la physique qui étudie les phénomènes créés par des charges électriques statiques pour l'observateur.

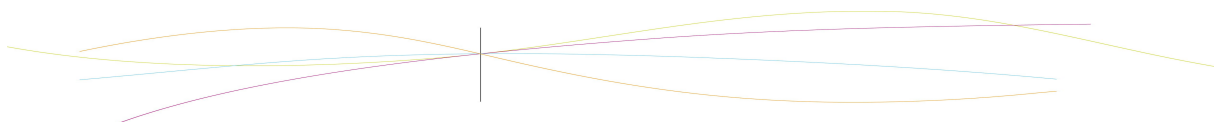
Les domaines d'étude couverts par l'électrostatique sont nombreux comme l'électricité statique et la foudre pour les plus connus. Les lois de l'électrostatique se sont avérées également utiles en biophysique, dans les nanotechnologies ou encore dans l'étude des protéines. L'électrostatique est donc une branche de la physique avec des domaines d'applications divers et variés, c'est pourquoi nous avons décidé de réaliser un film présentant quelques expériences qui mettent en évidence ces phénomènes.

Dans ce film vous pourrez voir l'étude : d'un pendule l'électrostatique et d'un électroscope, mettant en évidence l'attraction des charges de signes opposés et la répulsion des charges de même signe ; d'une cage de faraday qui a pour but de protéger des perturbations électriques ou électromagnétiques et qui peut également empêcher un appareil électronique de perturber l'environnement extérieur ; d'un électroscope électronique illustrant le fonctionnement d'un transistor à effet de champ et enfin d'une machine de Wimshurst qui permet de mettre en évidence certains phénomènes électrostatiques comme par exemple les arcs électriques.

Ce rapport de projet vous permettra de comprendre plus en détail notre travail puisqu'il constitue un support du film que nous avons réalisé. Dans celui-ci, nous vous présenterons, dans un premier temps, un rappel historique. Ensuite nous détaillerons notre méthodologie, notre organisation du travail et chaque expérience réalisée. Finalement, nous concluons sur le travail réalisé, l'apport personnel de ce projet et les perspectives pour la suite de ce projet en indiquant les éventuelles améliorations possibles.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Lors des deux, trois premières semaines nous, tout le groupe, avons consacré nos heures de projet pour faire de la recherche bibliographique. Le but était d'en apprendre davantage concernant l'électrostatique. On a ainsi pu voir l'aspect historique, et la façon dont les physiciens ont pensé pour arriver à l'électrostatique qu'on connaît aujourd'hui, mais nous avons surtout trouvé de nombreuses expériences à faire, pas trop compliquées ni trop onéreuses, pour qu'elles puissent être refaites par tout le monde. Nous avons par la suite commencé à travailler sur nos différentes expériences.



Thibault et Rémi se sont occupé de la fabrication de la cage de Faraday, Victor et Guillaume ont réalisé l'électroscope et Zhiyuan a continué de faire des recherches pour trouver d'autres expériences. Par la suite nous avons « perdu quelques séances » car nous voulions utiliser une machine de Wimshurst, mais elles étaient défectueuses, et nous avons essayé de les réparer.

Nous avons ensuite commencé la réalisation du film, et regardé comment fonctionnait le logiciel afin de faire le montage vidéo.

Thibault s'est occupé de faire le montage du film.

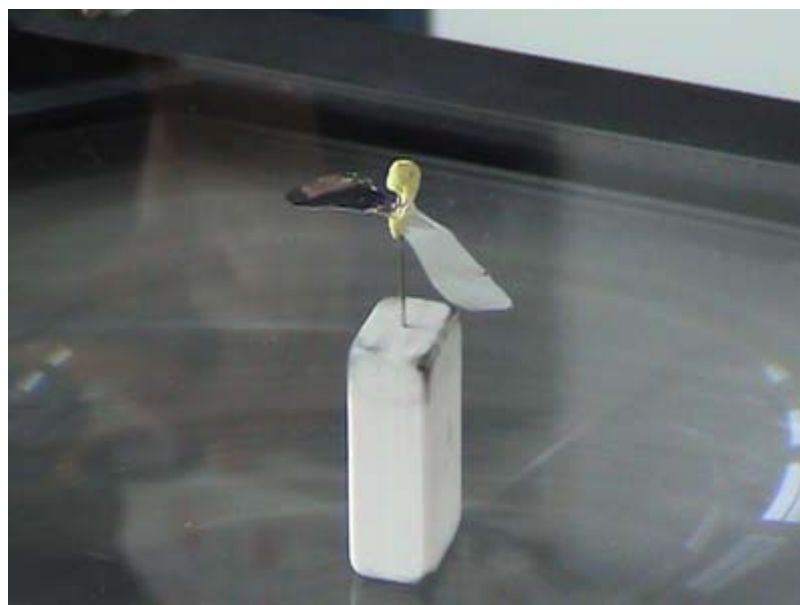
Rémi, Victor et Guillaume ont rédigé le rapport.

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

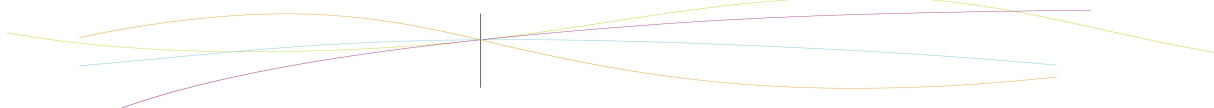
3.1. Historique

Déjà au VI^{ème} siècle avant JC, Thalès de Milet s'est intéressé à l'électrostatique, il fit la découverte suivante : « si on frotte un bâton d'ambre avec une peau de chat puis qu'on l'approche de certains matériaux légers (par ex des morceaux de papier), ceux-ci sont attirés par le bâton d'ambre ». Malgré cette découverte, pendant les deux siècles à venir, ce phénomène n'intéressa pas les scientifiques et donc aucune avancée de la recherche n'eut lieu en électrostatique.

Il faudra attendre le XVI^{ème} siècle pour voir enfin des avancées et le médecin personnel de la reine Elisabeth 1^{er}, William Gilbert. Il remarque qu'il y a d'autres matériaux (verre, diamant etc...) qui peuvent attirés d'autres objets (plume, paille, poussière), il nomme cette interaction à distance : **électricité**. Pourquoi ce terme ? Le mot électricité provient du grec *ēlektron* qui signifie ambre jaune, matière qui permit à Thalès de Milet de remarquer le premier le phénomène électrostatique. W. Gilbert invente le Versorium qui permet de vérifier si un matériau est chargé ou non, une première version de l'électroscope :



Crédit photo : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/jacques_charrier/sp/mpate03/troisieme.html



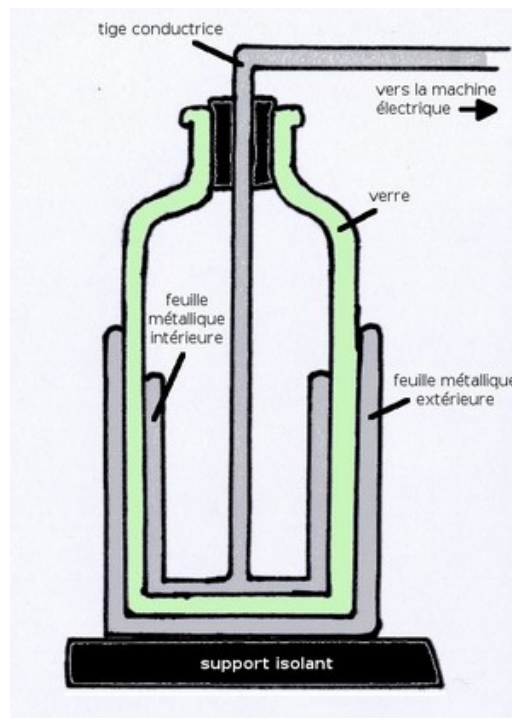
Au début du XVIIème siècle, Niccolo Cabeo, un physicien italien, met en évidence la répulsion et l'attraction de corps électrisés. Pour le physicien, les deux phénomènes ont lieu grâce au déplacement de l'*efflevium* dans l'air.

Otto Von Guericke, physicien allemand, va être le premier à concevoir un appareil permettant de créer une charge électrique. Cet appareil est une boule de soufre qui tourne et contre laquelle on va venir frotter sa main. On va avoir une production d'électricité mécanique puisque le frottement entre la main et la boule de soufre est une action mécanique. Guericke fait la remarque que les corps attirés par la sphère de soufre deviennent chargés à leur tour s'ils touchent celle-ci et que la sphère les repousse, c'est la répulsion électrique. Si on décharge ces corps, la sphère les attirera à nouveau ceux-ci. Le physicien remarquera également le phénomène d'induction électrique.

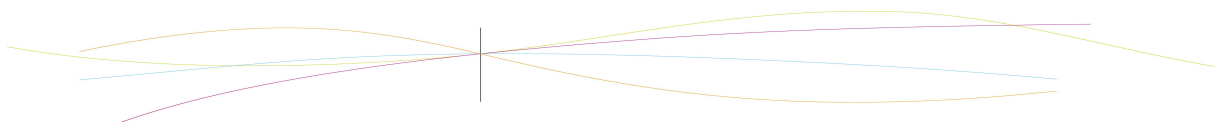
En 1729, c'est au tour de Stephen Gray de faire des découvertes significatives en électrostatique. Il montre que l'électricité peut être transportée par un fil métallique d'un point à un autre, découverte révolutionnaire ! Il démontre que si un conducteur est en contact avec la terre, celui-ci se décharge instantanément.

En 1733, le physicien Du Fay a tout d'abord prouvé que tous les corps sont plus ou moins conducteurs. Il remarque que les conducteurs sont conducteurs à température ambiante et que les isolants le deviennent en les chauffant à très haute température. Ensuite, il postulera qu'il y a deux types d'électricité, que celle-ci est composée à la fois d'un fluide vitreux (positif) et d'un fluide résineux (négatif). Il remarque que deux corps porteurs du même fluide se repoussent et que deux corps porteurs de fluide différent s'attirent. Il postule que les isolants possèdent environ la même quantité des deux fluides.

En 1745, van Musschenbroek fabrique le premier condensateur :



Crédit photo : <http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/18e/comprendre/exo1/page1.php>



On a vu que Du Fay pensait que l'électricité était composée de deux fluides, cependant en 1747, Benjamin Franklin va exposer la théorie à un fluide. Il imagine l'électricité comme un type de fluide invisible présent dans toute la matière, il pose que la matière contient des charges positives et négatives, que le courant électrique est dû au déplacement des charges négatives et que les charges positives restent fixes.

Dans les années 1780, Coulomb, grâce à de nombreuses mesures avec la balance de Coulomb, énonce la loi suivante (la loi de Coulomb) : 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.

En 1831, Faraday découvre l'induction électromagnétique. Dans son travail sur le courant continu. Il démontre que la charge se situe seulement à l'extérieur d'un conducteur chargé, et que celle-ci n'a aucun effet sur ce qui peut être situé à l'intérieur : c'est l'effet de "blindage", utilisé dans la cage de Faraday. Cage que nous avons utilisée dans nos expériences.

En 1882, James Wimshurst invente une machine électrostatique éponyme. Cette machine permet de mettre en évidence de nombreux phénomènes d'électricité statique. Nous vous donnerons davantage de détails sur celle-ci vu que nous l'avons également utilisée dans nos expériences.

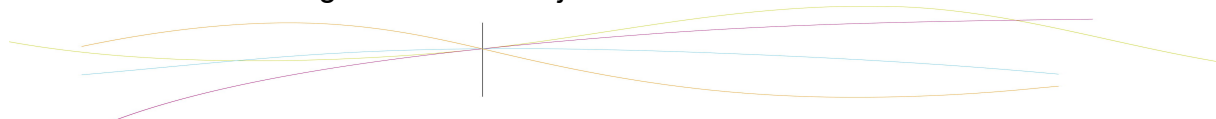
3.2. Travail réalisé et résultats

3.2.1. Pendule électrostatique

C'est certainement l'une des premières expériences d'électrostatique qu'on voit au collège ou lycée. Il faut simplement attacher une petite boule légère (en aluminium, verre...) au bout d'une ficelle isolante qui est accrochée à une potence. On approche une baguette chargée de la boule et on observe que cette dernière est attirée ou repoussée par la baguette. C'est le phénomène électrostatique le plus connu les opposés s'attirent et les charges de même signe se repoussent. Pour charger notre baguette il suffit de la frotter sur un tissu par exemple. En la frottant, des électrons vont être arrachés ou captés par la baguette. C'est ce qu'on appelle la « triboélectricité », signifiant produire de l'électricité en frottant. Selon les matières de la baguette et de l'objet

<p>Matières positives</p> <p>mains sèches fourrure de lapin verre cheveux nylon laine fourrure de chat plomb soie aluminium papier coton acier, inox bois, ambre, résine soufre caoutchouc dur (ébonite) nickel, cuivre laiton, argent or, platine polyester polystyrène polyuréthane polyéthylène (ruban de scotch) polypropylène polychlorure de vinyle (PVC) silicone téflon</p> <p style="text-align: center;">Matières négatives</p>

Illustration 1:
http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=La_s%C3%A9rie_tribo%C3%A9lectrique



avec lequel on frotte on pourra plus ou moins charger la baguette positivement ou bien négativement.

Ci-contre on peut voir une liste des matériaux qui ont tendance à devenir positif ou négatif. Il faut également noter que si on frotte deux matières présentes sur cette liste celle qui sera située le plus haut cédera des électrons et deviendra positive.

3.2.2. Cage de Faraday

Une cage de Faraday est une enceinte métallique qui a pour but de se protéger des perturbations électriques ou électromagnétiques, elle peut également empêcher un appareil électronique de perturber l'environnement extérieur.

Une façon très simple de faire une cage de Faraday est de prendre une boîte en fer (boîte de gâteaux par exemple) mais dans ce cas on ne peut pas voir ce qui se passe à l'intérieur. Pour mieux voir nous avons décidé de la fabriquer. Pour cela, nous avons fait un bâti en bois en forme de cube. Elle a ensuite été recouverte par un grillage métallique avec des mailles de 1mm par 1mm. La taille du maillage joue un rôle très important dans cette expérience. Si on veut une « imperméabilité » aux champs d'environ 95 %, le maillage doit être de l'ordre du dixième de la longueur d'onde.

$$\text{Taille de la maille} = \lambda / 10$$

Relation entre fréquence et longueur d'onde :

$$\lambda = c/f$$

λ = longueur d'onde (en m)

c = célérité de la lumière dans le vide ($\sim 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

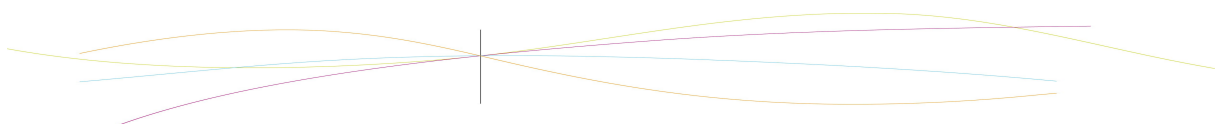
f = la fréquence en Hz (ou s^{-1})

Nous allons voir si théoriquement notre cage peut arrêter les ondes électromagnétiques. Pour cela, nous nous intéresserons aux deux types d'ondes les plus courantes : les ondes radios et téléphoniques.

les ondes téléphoniques : Les téléphones portables fonctionnent dans une gamme de fréquences de 900MHz à 1800MHz (MégaHertz). Soit une longueur d'onde comprise entre 33 cm et 17 cm. Si on utilise le calcul de la maille ci-dessus, on aurait besoin d'une maille inférieure à 1,7 cm pour que la cage fonctionne correctement. Dans la pratique, on a pu constater qu'un portable placé dans la cage pouvait parfois recevoir un appel donc avoir du réseau.

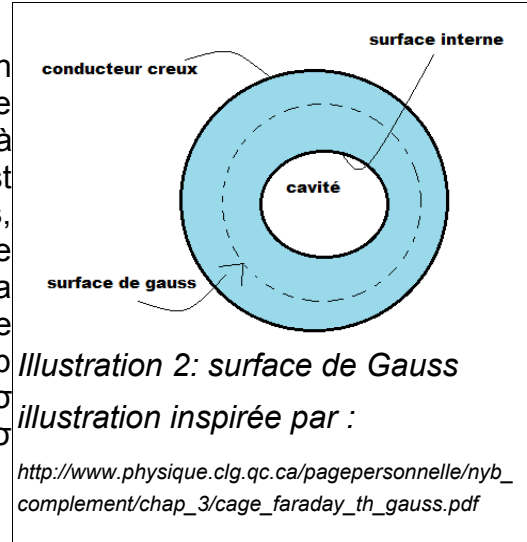
ondes radios : Elles ont une fréquence de l'ordre de la centaine de MégaHertz, donc une longueur d'onde de l'ordre du mètre. Dans la théorie un maillage très important peut arrêter ces ondes.

Au cours de nos expériences, nous avons pu constater que notre cage n'arrêtait pas totalement les ondes radios, en effet elles étaient brouillées comme lorsqu'on passe dans un tunnel mais on arrivait encore à entendre la musique en fond.



Malheureusement si on n'utilise pas des plaques métalliques pour entourer le bâti, la cage ne sera pas efficace à 100%, il faut aussi prendre en compte l'épaisseur du maillage. Pour notre cage, nous avons mis une épaisseur très faible mais si on avait recouvert l'armature avec plus de grillage, le résultat aurait été meilleur. De plus le grillage n'a pas forcément été bien installé, et il a peut-être été abîmé au cours des séances, nous avons ainsi eu des résultats de plus en plus mauvais au fil des séances.

On peut prouver que l'intérieur d'un conducteur est vide de charge grâce au théorème de Gauss. A l'intérieur d'un conducteur à l'équilibre électrostatique le champ électrique est nul. De même à l'intérieur de la surface de Gauss, le flux et la charge sont nuls. Les charges se trouvent en surface du conducteur, donc si la charge dans la cavité est nulle celle sur la surface interne de la cavité l'est aussi. De plus, le champ électrique proche de la surface est: $E = \sigma / \epsilon_0$ avec σ la charge et ϵ_0 la permittivité du vide donc si σ vaut 0 alors le champ E est nul.

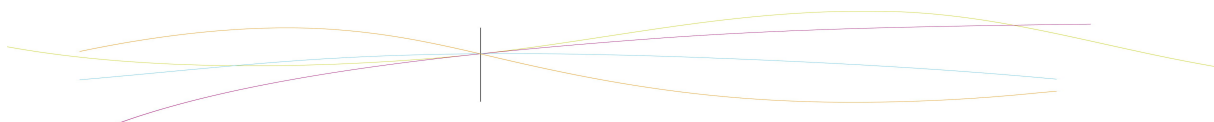


Une autre expérience que nous avons faite avec la cage était d'accrocher des pendules électrostatiques, un à l'intérieur et un à l'extérieur. D'approcher une baguette chargée, nous avons vu que seul celui à l'extérieur était mis en mouvement, celui à l'intérieur restait fixe. De plus, la cage est aussi censée protéger des champs électriques. Pour le vérifier nous avons gardé la cage avec les deux pendules. Avec la machine de Wimshurst (qu'on expliquera plus bas), nous avons chargé la cage. Le but de cette expérience était de voir si la cage en étant portée à un potentiel allait mettre en mouvement les pendules. Les essais n'étaient pas très concluants car la surface de la cage était très importante, En effet, lorsqu'on porte la cage à un potentiel, les électrons présents à la surface du grillage vont avoir tendance à se répartir sur toute la surface, or plus la cage est grande, plus il faudra du temps pour la charger. Cependant, au cours de cette expérience nous avons pu observer que le pendule à l'intérieur restait immobile tandis que l'autre s'écartait de la cage.

La cage de Faraday a de nombreuses applications dans notre vie de tous les jours, par exemple une voiture se comporte quasiment comme une cage de Faraday, c'est pour cela qu'on a une antenne sur le toit.. Les appareils d'IRM sont entourés par une cage afin de se protéger des ondes qui peuvent venir interférer. C'est également une cage de faraday qui protège les personnes de l'arc électrique au palais de la découverte. Mais elle possède nombreuses autres applications.

3.2.3. L'électroscope

L'électroscope simple :



C'est un phénomène bien connu, les opposés s'attirent et les charges de mêmes signes se repoussent, un électroscope simple permet de mettre très facilement ce phénomène en évidence.

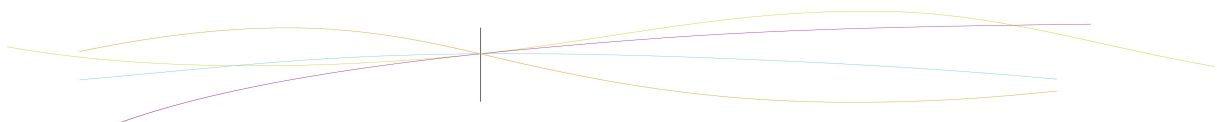
Dans notre cas, la fabrication de l'électroscope a été très simple. Il faut prendre un pot en verre avec un couvercle, le verre va servir d'isolant afin d'empêcher l'électroscope de capter des charges parasites. Sur le couvercle on perce un trou dans lequel on fait passer un film de cuivre gainé. Ce film est dénudé sur les deux extrémités. Celle à l'extérieur est enroulée pour faire un plateau (ce qui permettra de collecter les charges plus facilement). L'extrémité à l'intérieur du pot est légèrement recourbée, en forme de crochet, afin de mieux maintenir les feuilles d'aluminium. Enfin deux feuilles d'aluminium sont coupées en forme de poire et attachées sur le crochet.



Illustration 3:
électroscope

Parfois les électroscopes sont aussi munis d'un rapporteur à l'intérieur du pot. Ce dernier permet de mesurer l'angle de déviation des feuilles d'aluminium et permet d'avoir une information qualitative voire quantitative au sujet du champ électrique.

Après avoir vu la fabrication de notre électroscope, voyons ce qui se passe à l'intérieur. On peut soit chargé un électroscope par contact (on introduit un faible courant au niveau du plateau, mais si le courant est trop important on peut perturber l'appareil) soit le chargé par influence, on approche une baguette chargée, mais on fait attention à ne pas toucher le plateau. Dans nos expériences nous avons chargé notre électroscope uniquement par influence. La baguette (dans notre cas c'est une règle en plastique) est chargée en la frottant sur une écharpe en laine (le phénomène est plus important si l'écharpe est en laine et non en coton). En frottant on arrache, ou donne des électrons à la règle ce qui la charge. Supposons qu'elle est chargée positivement, on l'approche du plateau, qui à l'origine est neutre, par influence les charges « moins » vont migrer vers le plateau tandis que les charges « plus » vont migrer dans les feuilles d'aluminium. Les charges de même signe se repoussent, donc les lamelles d'aluminium vont s'écarter.



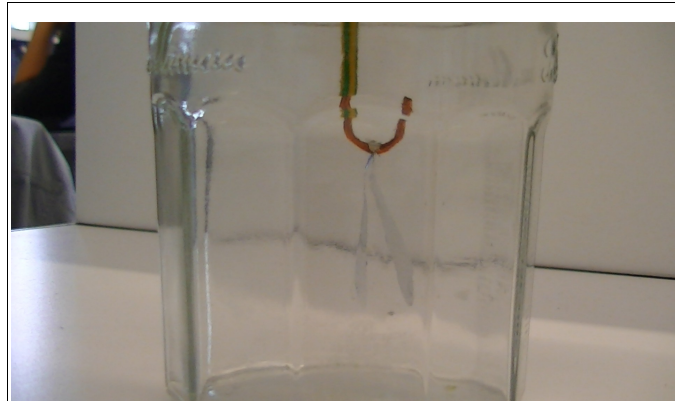


Illustration 4: électroscope chargée

La situation précédente est la situation « idéale », ce phénomène n'est pas applicable partout, mettons par exemple l'électroscope dans notre cage de Faraday et approchons notre baguette chargée de la paroi de la cage. Que va-t-il se passer ? Les feuilles vont s'écarter ? Au contraire, il ne va rien se passer, comme nous l'avons vu dans la partie ci-avant, si on charge une cage de Faraday, les charges vont se répartir sur toute la surface. On approche notre règle chargée positivement de la cage, les charges « moins » présentes sur la cage vont se concentrer localement vers le lieu où est la baguette. Mais au niveau de l'électroscope il n'y aura pas de migration de charge, ce dernier va rester neutre donc les lamelles d'aluminium ne vont pas s'écarter.

L'électroscope électronique

Dans le cadre de notre projet, nous avons également réalisé un électroscope électronique. Son principe est semblable à celui de l'électroscope simple. Pour le réaliser nous avons eu besoin d'une pile 9V, d'une diode, d'un transistor à effet de champ et un peu de soudure.

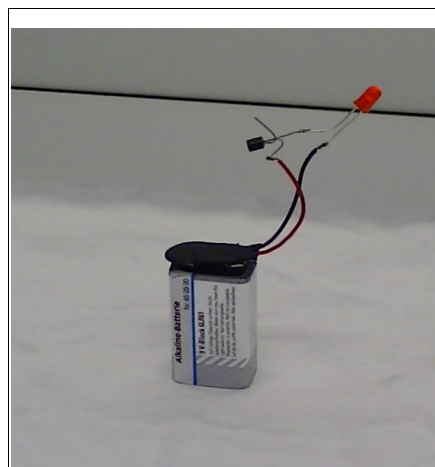
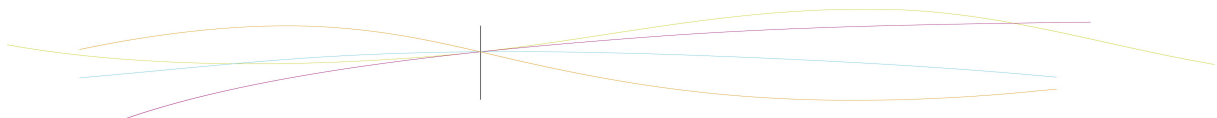


Illustration 5: électroscope électronique



Cet électroscope est bien plus sensible que le simple, dans la théorie il peut détecter un champ électrique à 5 mètres, le notre capte uniquement ceux à environ 50 cm. Lorsqu'il n'y a pas de champ, le transistor laisse passer le courant et la diode est allumée, cependant s'il y a un champ électrique à proximité, le transistor ne laisse pas passer le courant et la diode s'éteint.

3.2.4. La machine de Wimshurst

La machine de Wimshurst est une machine qui permet de mettre en évidence certains phénomènes électrostatiques comme par exemple les arcs électriques. Elle est composée de deux disques isolants qui tournent en sens inverse ; de deux paires de balais avec des tiges métalliques pour arracher les électrons. Les balais sont positionnés à 60° l'un de l'autre. Il y a également des peignes qui collectent les charges puis les envoient dans des condensateurs. Quand les condensateurs sont pleins, il y a une grande différence de potentiels entre les deux condensateurs ce qui crée un arc électrique entre les éclateurs (les tiges métalliques).

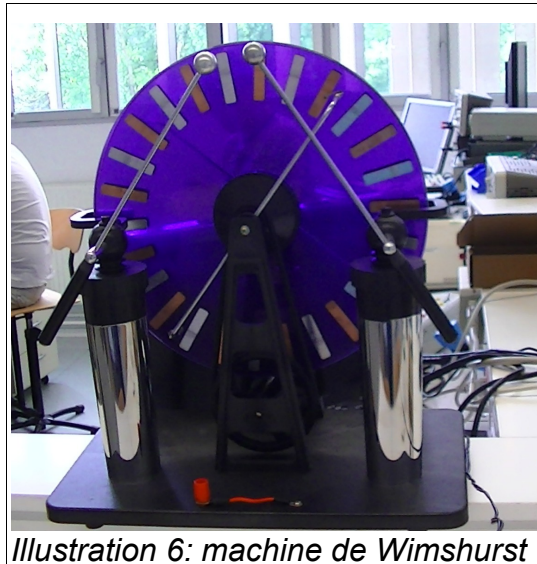


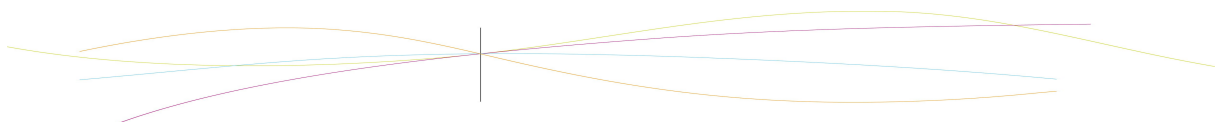
Illustration 6: machine de Wimshurst

Il se passe la même chose au niveau des deux plateaux à un signe près .

Considérons que le plateau arrière est négatif. Sur le plateau avant les charges + se répartissent vers l'intérieur et les moins vers l'extérieur. Au moment où la pastille passe devant le balai cette dernière est reliée à la terre ce qui décharge le plateau des charges négatives. Le secteur devient alors positif.

Par influence les secteurs à l'arrière sont alors négatifs car les charges + sont évacuées par le balai arrière.

Les charges positives sur les secteurs avant sont récoltées par le peigne et envoyées au condensateur. Après avoir dépassé le peigne, les secteurs reviennent neutres. Si on continue de tourner on répète le même phénomène mais on change le



signe et ainsi de suite, à chaque passage devant un peigne on change le signe de la charge.

Finalement quand les condensateurs ont atteint leur capacité maximale, on observe une différence de potentielle très importante ce qui crée une décharge électrique entre les deux éclateurs.

3.2.5. *Réalisation du film*

Le but de notre projet était tout de même de réaliser un film, celui-ci nous a occupé sur nos dernières séances de projet. En effet, il fallait réfléchir aux expériences que nous allions filmer, le décors, le scénario... Nous avons décidé d'utiliser la salle d'optique afin de filmer dans le noir. Le son de la caméra n'étant pas d'une excellente qualité, nous avons décidé de filmer sans les voix et de les rajouter à la fin. Ensuite, nous avons eu un autre problème avec le logiciel pour faire le montage vidéo (Pinacle), celui-ci est un très bon logiciel, complet avec de bons effets visuels mais difficile à prendre en main quand on ne l'a jamais utilisé. Pour remédier à cela, Thibault a préféré faire le montage chez lui avec un logiciel qu'il connaissait, c'est à dire Windows Movie Maker. Il a également fait la bande sonore et les incrustations de texte de la vidéo.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

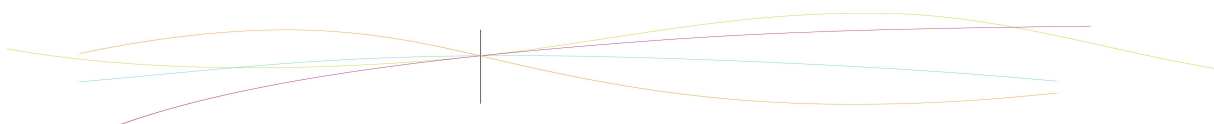
Ce projet nous a permis d'allier un travail théorique et un travail pratique, ce qui selon notre opinion est un point très positif car la partie expérimental du projet permet d'ajouter une dimension plus concrète à l'ensemble du travail que nous avons réalisé.

La réalisation du film nous a au début posé plusieurs problèmes. Nous avons d'abord du réfléchir à la mise en scène des expériences (éclairage, décor, prise de vue). Ensuite nous nous sommes posé la question de la qualité de la bande sonore. En effet, la qualité du son avec la caméra était moindre. Nous avons donc du enregistré des bandes sonores avec un dictaphone à part. Le timing entre la vidéo et la bande sonore a été une des plus importantes difficultés lors du montage vidéo.

Ce projet nous a aussi apporté un certain nombre de connaissance sur l'électrostatique qui viennent en complément de L'E.C de P5 (électromagnétisme) du semestre précédent. Nous avons remarqué que nous étions confrontés à des phénomènes électrostatiques dans la vie de tous les jours mais que nous ne connaissions que peu de choses à leur sujet.

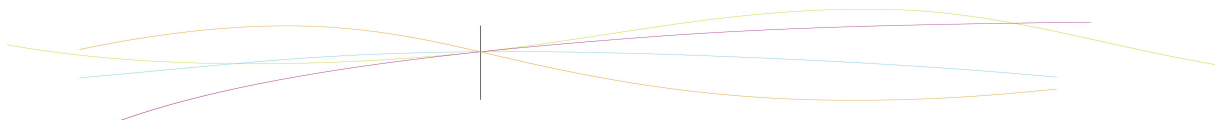
La réalisation d'une partie historique dans le rapport nous a aussi permis de mieux situer les découvertes sur ce sujet dans le temps.

Pour ce qui est des améliorations possibles, nous pensons qu'une cage de faraday industriel remplirait mieux son rôle qu'une cage artisanale comme celle que



nous avons conçue. En effet, avec le temps, le maillage utilisé s'est abimé en raison de sa souplesse, et des expériences qui marchaient au départ comme « Brouiller un signal radio » se sont avérées beaucoup moins performantes après plusieurs séances.

Dans les perspectives du projet, nous espérons que le film réalisé pourra être réutilisé pour, par exemple, servir de support dans un cours magistral.



5. BIBLIOGRAPHIE

Livres :

Faverjon Georges; Hepp Gérard; Rosset Gilbert; Mesplède Jacques « *Électrostatique, électrocinétique, électronique* » ; Bréal, 2000

Émile Amzallag; Josseline Ben Aïm; Norbert Piccioli ;«*Électrostatique*»;Ediscience international, 1996

Sylvie Devillard; «*Électrostatique et magnétostatique: fiches, méthodes et exercices corrigés : 1re année MPSI-PTSI-PCSI- TSI*» ; Ellipses, DL 2005

Michel Saint-Jean; Janine Bruneaux et Jean Matricon « *Électrostatique et magnétostatique : cours* » ; Belin, DL 2002

Sitographie:

Wikipedia : eletrometre : fr.wikipedia.org/wiki/Électromètre

cage de faraday : fr.wikipedia.org/wiki/Cage_de_Faraday

machine de wimshurt : fr.wikipedia.org/wiki/Machine_de_Wimshurst

Electroscope :

www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/.../electrometre.html (valide le 21/05/2014)

www.labotp.org/TP1S/1S-TPP7-Electroscope.swf (valide le 21/05/2014)

www.sciences.univ-nantes.fr/sites/michel_maussion/.../Electroscope.html (valide le 21/05/2014)

<http://phymain.unisciel.fr/un-electroscope-dans-un-pot-de-miel/> (valide le 21/05/2014)

Pendule electrostatique :

webtab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/.../e01charg.htm (valide le 21/05/2014)

www.chimix.com/cours1/pendule2.htm (valide le 21/05/2014)

arsene.perez-mas.pagesperso-orange.fr/physique/.../statique_exp.htm (valide le 21/05/2014)

Machine de Wimshurt :

www.sciences.univ-nantes.fr/sites/jacques.../wimshurst/wimshurst.html (valide le 21/05/2014)

<http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/18e/machine/images/Bossert%20BUP%20696.pdf> (valide le 21/05/2014)

<http://phys.free.fr/whimhu.htm> (valide le 21/05/2014)

Bupdoc :

Mot clé: électrostatique

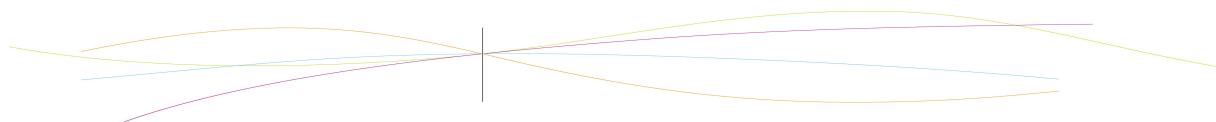
Cage de faraday :

<http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/matiere-cage-faraday-3821/electrosensible.hautetfort.com/archive/2005/10/07/cage-de-faraday.html> (valide le 21/05/2014)

<http://tpeoem.wordpress.com/experiences/faraday/> (valide le 21/05/2014)

<http://www.youtube.com/watch?v=ICBVoFzZdL8> (valide le 9/06/2014)

<http://www.usthb.dz/fphy/IMG/pdf/Partie2.pdf> (valide le 9/06/2014)



<http://www.ulb.ac.be/cours/sciences/phys-f-101/docs/elm/manipelec.pdf> (valide le 9/06/2014)
http://v.youku.com/v_show/id_XMzg3MTg2MTMy.html (valide le 9/06/2014)
http://ipag.obs.ujf-grenoble.fr/~ferreirj/enseignement/elec_complet.pdf (valide le 9/06/2014)
<http://www.c4h10.net/mod/resource/view.php?id=80> (valide le 9/06/2014)
« C'est pas sorcier »: <http://www.youtube.com/watch?v=zDOIKIbW2M> (valide le 9/06/2014)
<http://phymain.unisciel.fr/carillon-electrique-avec-un-paquet-de-cafe/> (valide le 9/06/2014)

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/jacques_charrier/sp/mpate03/deuxieme.htm (valide le 5/06/2014)
http://www.lpm.u-nancy.fr/activite_physique_statistique/PDF/elect.pdf (valide le 5/06/2014)
http://www.ademe.fr/bretagne/infos_pratiques/educateurs/edison/eclairage_1/Docu3_0.html (valide le 5/06/2014)
<http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e01histo.htm> (valide le 5/06/2014)

Crédit d'illustration :

Page de couverture :

<http://energieetfoudre.over-blog.com/>

Versorium :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/jacques_charrier/sp/mpate03/troisieme.html

Condensateur :

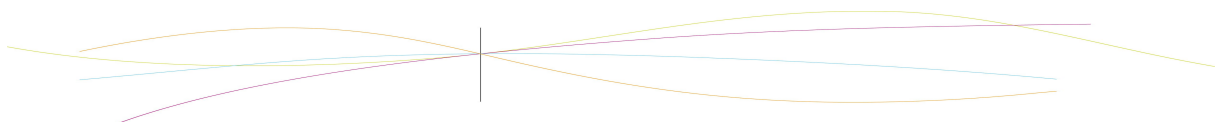
<http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/18e/comprendre/exo1/page1.php>

tableau triboélectricité :

http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=La_s%C3%A9rie_tribo%C3%A9lectrique

Théorème de Gauss : image de Guillaume Vieira, inspirée par

http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=La_s%C3%A9rie_tribo%C3%A9lectrique



6. ANNEXES

6.1. Scénario du film :

L'électroscope :

Vue d'ensemble de l'électroscope avec présentation des différents éléments. On filme l'écharpe qui frotte sur la règle pour la charger. On zoome sur la partie intérieure de l'électroscope. Faire apparaître les charges sur la règle et les lamelles. On explique le principe de l'électroscope, avec le phénomène d'attraction/répulsion.

Le détecteur de champs :

On passe au détecteur de champs (électroscope électronique), présentation des éléments (pile 9V ; diode ; transistor à effet de champ). Idem, on approche notre règle chargée et on observe que la diode s'éteint. Explication du phénomène : quand le transistor à effet de champ détecte un champ électrique ou électromagnétique, il bloque le courant donc la diode s'éteint.

la cage de Faraday :

Un téléphone portable en mode radio est placé au centre de la table. On allume la musique, et vient mettre la cage de Faraday au-dessus. On observe que la musique est moins forte et en plus, elle est brouillée par des bruits parasites. On enlève la cage, pour montrer que le son revient à la normale.

Machine de Wimhurst :

On se place dans le noir, on fait un plan large de la machine, la lumière vient de derrière pour présenter les différentes parties. On pointe du doigt, chaque pièce et on fait tourner la machine pour avoir différentes vues. On diminue l'éclairage au maximum (on abaisse la lampe) et on fait tourner les plateaux de la machine. On filme sur une période de 10-15 secondes pour pouvoir observer 4 ou 5 éclairs.