

Machine de Wimshurst

(Générateur électrostatique à influence)

PRINCIPE ET CONSTRUCTION (TRES SIMPLE ET TRES ECONOMIQUE)

par François BOSSERT,
Lycée Louis-Couffignal, Strasbourg.

Les expériences d'électrostatique sont certainement parmi les plus spectaculaires et les plus attrayantes des cours de Physique. Elles éveillent toujours l'intérêt, souvent l'enthousiasme de l'auditoire. Certaines expériences sont parfaitement compréhensibles par les élèves : attractions - répulsions, isolants - conducteurs. Pour la plupart des belles expériences, les bâtons électrisés par frottement sont insuffisants, et le générateur électrostatique s'impose.

Les applications industrielles de l'électrostatique se développent : peinture électrostatique - photocopie par xérogaphie - pièges à fumées - dépoussiérage, etc. Ce n'est plus un amusement de cabinet de Physique ! Les forces de cohésion de l'atome sont surtout électrostatiques, et elles sont considérables.

Pourquoi la machine de Wimshurst ? Elle n'a aucun intérêt industriel : sa puissance est de l'ordre du watt (c'est cependant plus que suffisant pour repeindre votre vélo !) Les vieilles machines à frottement (Ramsden, Le Roy, Nairne) ont un fonctionnement capricieux et un faible débit. Les machines modernes (Félici, Jolivet, Félici et Gartner) sont d'une technologie trop complexe. Enfin, parmi les générateurs à influence (Tœpler, 1^{er} et 2^e machines de Holtz), la machine de Wimshurst cumule deux avantages : elle est auto-excitée — une manivelle suffit à la faire fonctionner, et son excitation est indépendante de la charge des pôles — elle ne se désamorce pas. Cela la destine tout particulièrement aux expériences d'électrostatique des Lycées et Facultés.

Mais son prix, autour de 1 000 F (Leybold), rebutera plus d'un C.E.S. C'est pourtant une machine très simple à construire soi-même. L'auteur (il y a quelques années, alors qu'il était encore jeune étudiant) en a réalisé une avec des matériaux de récupération. Elle lui fournit 4 à 5 cm d'étincelles entre boules (30 à 50 kV). Elle ne revient pas à plus de 250 F.

Sa construction ne nécessite aucun ajustement précis. Une chignole à main, une scie, un fer à souder, lime, pince et tourne-

vis sont amplement suffisants. Il n'est pas besoin d'être bon bricoleur pour mener à bien cette réalisation. Nous nous efforçons de guider pas à pas le lecteur dans son ouvrage.

Enfin, rappelons le principe de la machine de Wimshurst. Une bonne compréhension de son fonctionnement est certainement utile à celui qui en entreprend la réalisation.

PRINCIPE.

Le générateur se compose de deux plateaux identiques, sur lesquels sont généralement collées des bandes de papier d'étain, et qui tournent en sens inverse. Deux conducteurs diamétraux, à 60° , portent à leurs extrémités des balais frottant sur les plateaux. Deux paires de peignes recueillent les charges des plateaux, et chargent les condensateurs de l'appareil. Un éclateur réglable complète le tout.

Etude qualitative du fonctionnement.

Le fonctionnement est symétrique, avant-arrière, au signe près. Considérons un demi-tour de plateau.

Examinons, en supposant les plateaux munis de secteurs métalliques, les phénomènes dans chaque zone (fig. 1).

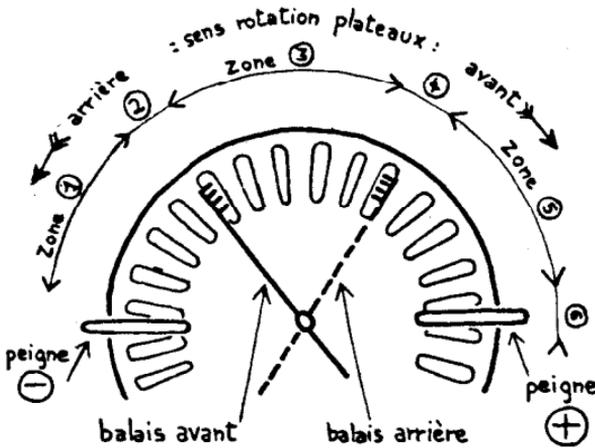


Fig. 1

La charge des secteurs arrière est négative \ominus .

Il apparaît par influence des charges $+$ et $-$ sur les secteurs avant (fig. 2).

Le secteur avant est mis à la terre (ou en contact avec le secteur diamétralement opposé, si les porte-balais sont isolés) par le

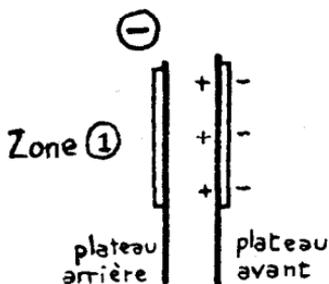


Fig. 2

balai (déverseur). Comme pour l'électrophore, il ne reste que des charges + en regard des secteurs arrière (fig. 3).

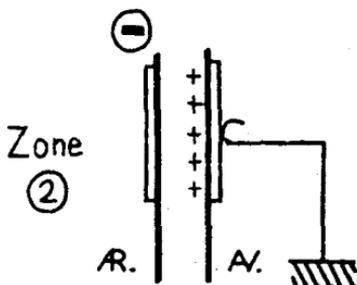


Fig. 3

Il y a superposition de deux états : la charge \oplus acquise par le secteur dans la zone n° 2, et l'influence comme dans la zone n° 1. La charge des secteurs avant est maintenant \oplus (fig. 4).

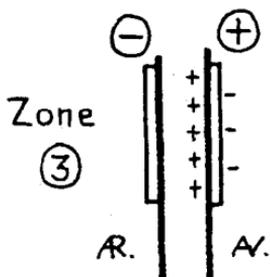


Fig. 4

L'effet symétrique de celui de la zone n° 2 se produit pour les secteurs arrière; ils acquièrent là une charge \ominus (qui ira ensuite influencer les secteurs avant dans la zone n° 2 (fig. 5).

Zone 5 : les secteurs avant, toujours chargés \oplus progressent vers les peignes de la borne +.

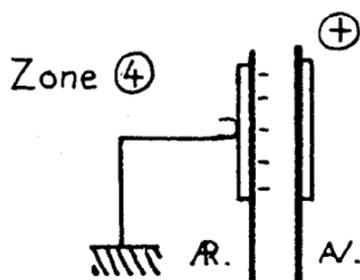


Fig. 5

Zone 6 : décharge du secteur avant (et du secteur arrière venant du bas) entre les peignes (capteur) : nous sommes à l'intérieur d'une cage de Faraday (fig. 6).

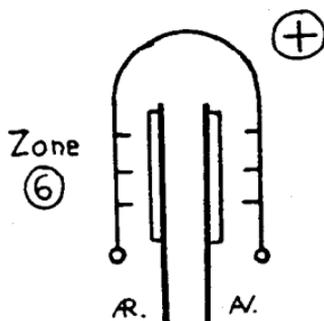


Fig. 6

Bien entendu, il se produit sur les autres demi-plateaux des effets symétriques.

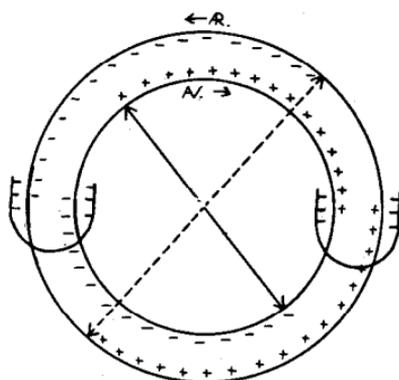


Fig. 7

On pourra symboliser les distributions électriques induites par influence sur le schéma (fig. 7). Les plateaux sont représentés par des cercles concentriques (fig. 7). La distribution des couches tend à se maintenir.

Fonctionnement quantitatif.

Le fonctionnement de la machine de Wimshurst n'est pas aussi simple qu'il apparaît à première vue, et il sort du cadre de cette étude. La littérature scientifique semble parsemée d'approximations à ce sujet. Une étude approfondie des équipotentielles ou du champ autour de la zone n° 2 est nécessaire.

Retenons simplement que le processus de la zone n° 2 est divergent, c'est-à-dire que la charge des secteurs électriques augmente jusqu'à la limite de fuite (on observe facilement ces fuites dans l'obscurité, elles ont lieu dans les zones de champ élevé).

La commutation de la machine n'est pas parfaite : il y a des étincelles aux balais (déverseurs).

On pourrait réaliser le transport des charges sur l'isolant avec de soigneux peignes ioniseurs. On préfère les secteurs métalliques et les balais, d'une réalisation plus simple, malgré les inconvénients (plus de fuite, « réaction d'induit » plus importante).

Schéma du générateur.

Les pôles de la machine se chargent donc d'électricités contraires. Deux bouteilles de Leyde permettent une accumulation suffisante des charges.

Remarquons la construction symétrique par rapport à la masse : *nous aurons simultanément les deux électricités.*

En utilisant l'analogie entre \vec{E} , champ électrostatique et \vec{H} , excitation magnétostatique (ou V et I), on peut comparer un générateur électrostatique à un générateur électromagnétique. Ce dernier est caractérisé par sa f.é.m. à vide, son impédance interne, le courant fourni, l'électrostatique le sera par son courant de court-circuit, sa conductance interne (fuites) et la d.d.p. fournie (on pourra aussi comparer les réactions d'induit).

C'est donc un générateur de *courant* ! (fig. 8).

Rien de surprenant : il y a transport de charges électriques.

La d.d.p. maximale que peut fournir la machine n'est limitée que par ses fuites : aigrettes, étincelles entre les différentes parties. Les meilleures montent à 100 kV (10 à 15 cm d'étincelles).

Quelques potentiels explosifs dans l'air sec entre boules !

1 cm, ~ 25 kV — 3 cm, ~ 50 kV — 10 cm, ~ 80 à 100 kV.

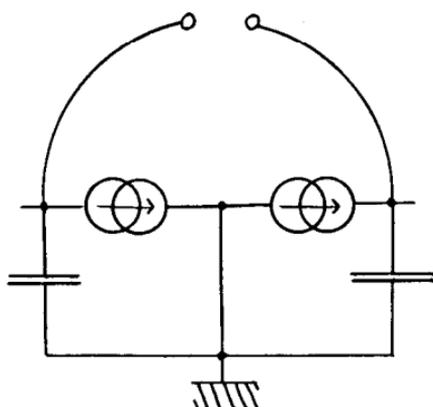


Fig. 8

Réversibilité.

Le très faible rendement des machines anciennes rend l'expérience délicate, (avec 2 machines, les amorcer, dérailler les courroies du moteur).

Conseils.

— Amorçage : présenter un bâton électrisé à l'opposé d'un balai, ce qui amorce le cycle d'influence. Même l'éclateur ouvert, la machine démarre !

PRUDENCE !

NE PAS CHARGER D'IMPORTANTE BATTERIE DE CONDENSATEURS -
DANGER DE MORT.

Ne pas prendre de capacité supérieure à quelques dizaines de picofarad !

(Une batterie classique, de plusieurs bouteilles de Leyde, a une capacité de l'ordre du nF, ou plus).

CONSTRUCTION.

Nous distinguerons quatre parties dans la construction, progressive de la machine : les plateaux, axes et transmission, le bâti, les pôles.

Nous donnerons les cotes pour une machine ; elles seront facilement transposables pour une autre (plus petite, par exemple) selon le matériel disponible.

1. Les plateaux.**a) Matériel.**

* Deux disques, \varnothing 30 cm, en matériaux très bon isolant (vérifier par frottement),

- deux vieux disques 78 t/mn en ébonite (sans valeur artistique S.V.P. !)
- ou bien deux circuits imprimés (y graver les secteurs métalliques),
- ou bien de la plaque de bakélite (2 à 3 mm d'épaisseur),
- ou bien de la plaque de plexiglas (très cher).

* Les moyeux :
chez votre électricien (fig. 9) :

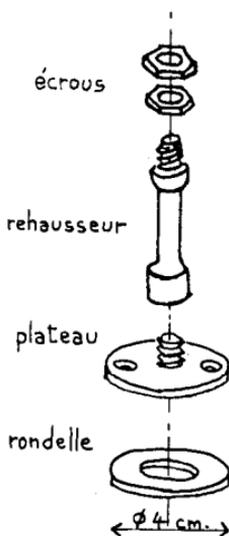


Fig. 9

- 2 plateaux de douille, \varnothing 40 mm,
 - 2 rehausseurs de douille de 40 (l \approx 50 mm),
 - 4 écrous pour l'extrémité filetée des rehausseurs,
- en quincaillerie :
- 2 rondelles de fer \varnothing 40 mm, e \approx 2 mm, à trou central (surtout pour l'ébonite),
 - vis \varnothing 3 mm à tête fraisée, et écrous.

* Secteurs métalliques :

- papier d'aluminium ménager,
- colle : araldite (normale),
- 2 petites poulies, \varnothing 3 ou 4 cm : à gorge suffisamment large pour courroie de cuir type machine à coudre - leur trou central facile à agrandir à \varnothing 10 mm environ (par exemple : poulies « Trix » en 2 flasques de tôle, poulies « Fischer Technik » ou poulies « Meccano » n° 22 a).

b) Assemblage disque et moyeux.

On utilisera la technique du contreperçage : après avoir percé la première pièce, on perce les autres à travers celles-ci : les premiers trous servant de guide aux suivants. On est ainsi assuré de l'alignement des trous .

* Laver les disques d'ébonite à l'eau et au savon de Marseille, laisser sécher, essuyer.

* Percer 4 trous, \varnothing 3 ou 2,2 mm avec une mèche à métaux, répartis dans le plateau de douille (ne pas utiliser les trous d'origine trop grands).

* Contrepercer 4 trous (au même \varnothing) dans la rondelle de fer. Bien immobiliser les deux pièces ensemble, en les centrant. Fraiser ces 4 trous avec une mèche de \varnothing légèrement supérieur aux têtes de vis, du côté opposé (fig. 10).

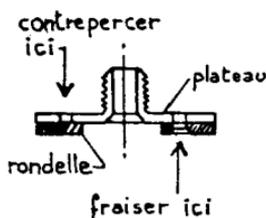


Fig. 10

* Contreperçage du disque d'ébonite : dans un bloc de bois ou contreplaqué, percer un trou \varnothing 6 (environ). Y placer une petite tige de centrage. Poser à plat le disque puis le plateau de douille (donc centrage assuré). Contrepercer prudemment le premier trou dans le disque (l'ébonite est fragile), puis continuer dans le bois. Dans le trou, placer une vis de \varnothing 3 (fig. 11). Contrepercer ensuite le trou diamétralement opposé, de même, et y placer une vis. Contrepercer les 2 trous restant.

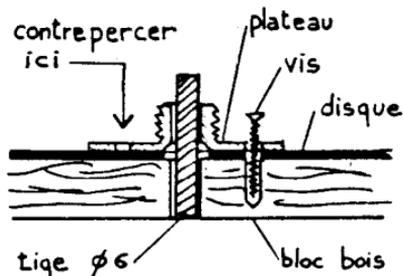


Fig. 11

* Procéder enfin à l'assemblage définitif du plateau, du disque et de la rondelle avec des vis et boulons de \varnothing 3 mm, puis y visser le rehausseur de douille (fig. 12).

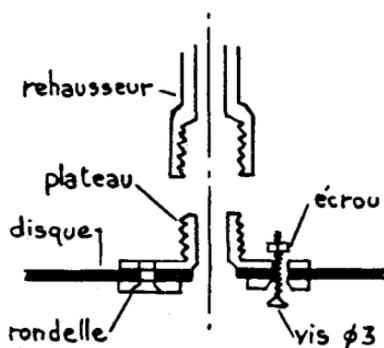


Fig. 12

Remarque.

Avec des disques en circuit imprimé ou en bakélite ou en plexiglas, on peut se dispenser de rondelle de fer, et soit y fraiser directement les trous, soit utiliser des vis à tête ronde.

c) Les secteurs métalliques.

Leur forme et leur emplacement doivent satisfaire à plusieurs exigences : nombre suffisant, (28 ou 32 par exemple), intervalle assez grand entre eux (fuites entre pôles et balais, le long du disque) et avec l'axe (fuite à la masse), formes arrondies (effluves). On aurait même intérêt à les rendre épais, pour augmenter le débit de la machine [Fél. 47].

On disposera donc des secteurs allongés sur une couronne : (fig. 13) : pour un disque $\varnothing 30$ cm : prendre couronne : $\varnothing 28 \times 20$ cm.

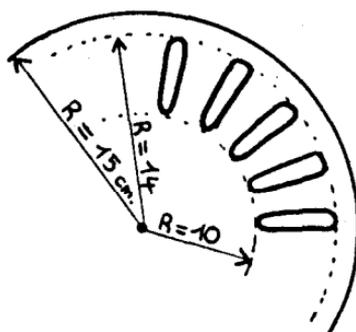


Fig. 13

Forme des secteurs : trapèzes à bouts semi-circulaires. On se donne un intervalle isolant compris entre 1,5 et 2 fois la lar-

geur du conducteur. Par exemple : 28 secteurs par disque, intervalle $2 \times$:

$$\text{haut trapèze : } l = 28 \cdot \pi \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{28} \simeq 10 \text{ mm,}$$

$$\text{bas trapèze : } l' = 20 \cdot \pi \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{28} \simeq 7 \text{ mm,}$$

hauteur : 40 mm ;

d'où la forme des secteurs (fig. 14).

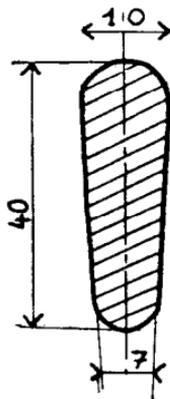


Fig. 14

* Découper un gabarit de carton à la forme des secteurs. Plier 3 ou 4 fois (8 ou 16 épaisseurs) la feuille d'aluminium ménager (la garder bien lisse). Reporter le gabarit dessus, légèrement. Découper aux ciseaux, soigneusement et sans bavures. Séparer patiemment les lamelles. Découper plus de lamelles que le nombre nécessaire aux deux plateaux, et rejeter les ratées, plissées ou double épaisseur.

* Sur le disque, repérer par grattage de traits radiaux de 4 cm l'emplacement des lamelles (pas de crayon : sa trace est conductrice).

* Enduire un à un les emplacements des lamelles d'araldite, en débordant légèrement, et coller la lamelle. Inutile d'enlever les bavures de colle : l'araldite (normale) est un excellent isolant !

* Si l'étiquette du disque n'est pas enlevée, enduire ses bords d'un cordon d'araldite, pour limiter les fuites.

* Laisser sécher à plat, à température ambiante (20° environ), 48 heures.

* Agrandir le trou central de la petite poulie, de sorte qu'elle pénètre à l'extrémité fileté du rehausseur de douille (\varnothing 10 mm environ), puis l'y bloquer entre 2 écrous (fig. 15).

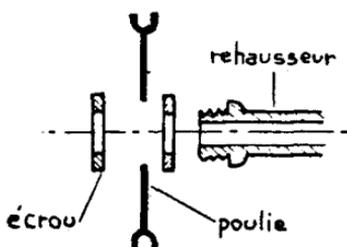


Fig. 15

2. Axes - Entraînement - Balais.

A) Axe plateaux :

Deux solutions : a) Si vous disposez d'une filière \varnothing 6 mm,
b) Si c'est vraiment impossible.

a) On utilisera de la tige de fer (à défaut de laiton) \varnothing 6 mm. l ~ 20 cm (fig. 16).

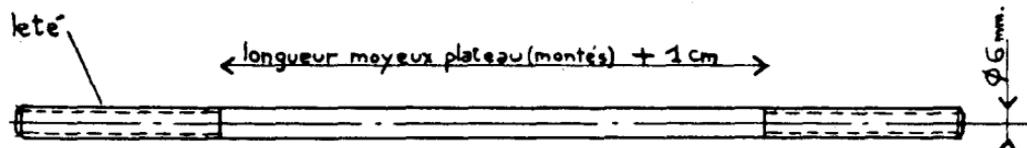


Fig. 16. — Axe plateaux.

* Fileter les extrémités de la tige, de sorte à conserver la partie centrale lisse, sur une longueur d'environ 1 cm supérieure à celle des moyeux de plateau (montés) (fig. 16).

* Plusieurs rondelles de fer ou de laiton, \varnothing intérieur 6 mm, serviront d'une part à permettre aux plateaux une rotation sans que les disques (ou les rondelles de fer) ne frottent entre eux, d'autre part à rattraper le jeu en bout d'arbre (fig. 17).

* Deux écrous \varnothing 6, assurent le blocage en translation en bout. Les extrémités filetées permettront le blocage des porte-balais, la fixation de l'arbre sur le bâti, et celle de la plaque porte-pôles.

b) Remplacer la tige de \varnothing 6, par du tube \varnothing 4 \times 6 en laiton, et de la tige fileté \varnothing 4, en fer ou acier (fig. 18).

B) Balais :

Matériel :

- 4 fiches bananes femelles, pour câble \varnothing 4,
- 60 cm de tige de laiton (ou fer) \varnothing 4 mm,

MONTAGE AXE PLATEAUX

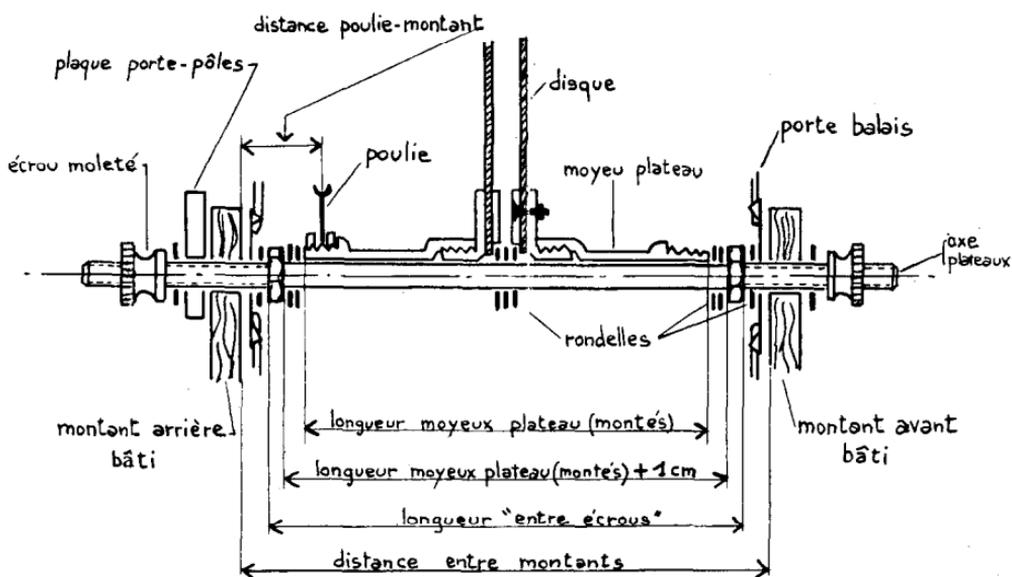


Fig. 17. — Montage axe plateaux.

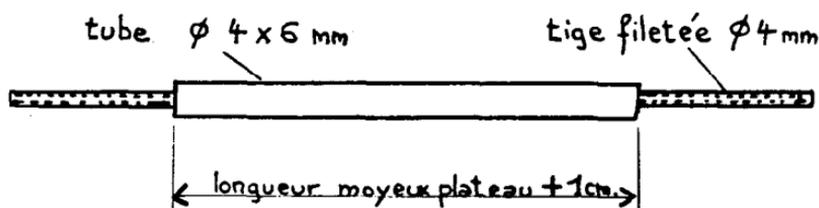


Fig. 18

- chute de plaque de laiton, $e \approx 2$ mm, 2 fois 3×7 cm environ,
- 1 mètre de fil électrique multibrin ordinaire.

Montage :

* La plaquette de laiton sert à bloquer le porte-balais entre le bâti et l'axe des plateaux (fig. 19). Il sera donc réglable en rotation. Percer au centre de la plaquette un trou $\varnothing 6$ mm.

* Placer la tige de laiton (fig. 19) puis plier les coins de la plaquette pour la bloquer, puis souder ensemble.

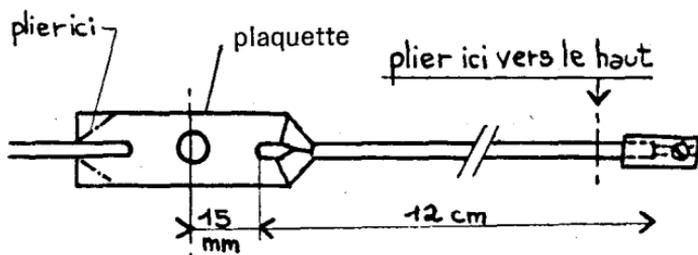


Fig. 19

* A l'autre extrémité de la tige, souder une fiche banane raccourcie (dont on garde l'extrémité serre-câble). Plier à angle droit (du même côté que les pliures plaquette).

* Les balais seront constitués de deux ou trois boucles, formées d'un brin de câble (fig. 20) pour frotter très légèrement sur les secteurs du plateau, les prendre longs de 4 cm ! Orienter les boucles dans le sens de défilement du plateau.

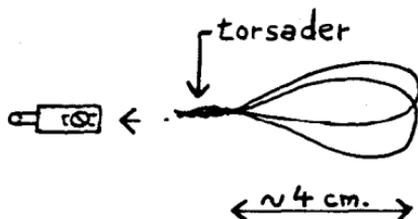


Fig. 20. — Balai.

* Finition : à la lime douce, éliminer toutes les bavures (effets de pointe).

C) Axe moteur (à manivelle).

Matériel :

- tige filetée \varnothing 6 mm [fer] (axe) $L = 20$ cm, acier,
- une douzaine d'écrous \varnothing 6 mm (blocage poulie et arrêts),
- rondelle \varnothing centre 6 mm,
- 2 petits plateaux de douille (pour les paliers),
- morceau de ferraille, $e \simeq 3$ à 4 mm, $l \sim 12$ mm, $L \sim 6$ cm (bras manivelle),
- un boulon, \varnothing 6 mm, $L \sim 7$ cm (axe manivelle),
- tube, \varnothing int. 6 mm, $L \sim 6$ cm (poignée de manivelle) en bois par exemple,

— 2 poulies \varnothing 7 à 10 cm :

la gorge suffisamment large pour courroie cuir type machine à coudre,

trou central \varnothing 6 mm (trou d'origine ou réduit par rondelles) (par exemple « Fischer Technik » ou poulie « Meccano » n° 19 b).

Montage :

Le montage se fera après la construction du bâti (voir III.D).

D) Entraînement.

Matériel (chez « Singer » par exemple) :

a) — environ 1,5 cm de courroie de cuir de machine à coudre,

— 2 crochets pour courroie ;

b) ou bien 2 courroies « Meccano » n° 186 c (avec poulies plateaux n° 22 a).

Montage :

Se fera après la construction du bâti (voir III.D).

3. Bâti.

Le bâti de la machine sera en bois, il se compose du socle et des montants (et une équerre sur le montant arrière (fig. 21).

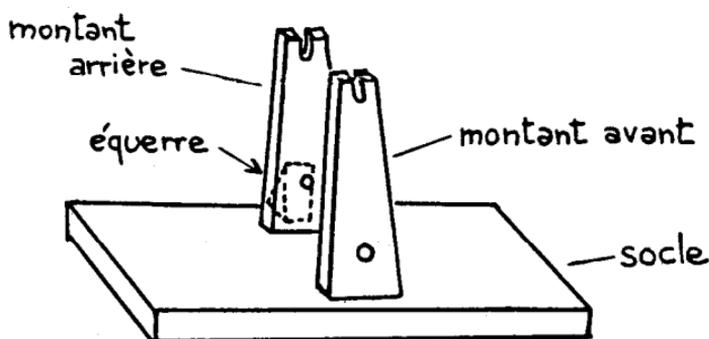


Fig. 21. — Bâti.

Matériel :

— de la planchette de bois (dur si possible) 10 à 15 mm d'épaisseur (on pourra utiliser du bois plus épais pour le socle), pour les dimensions (voir plan) à titre indicatif :

socle : environ 35 cm \times 20 cm,

Percer deux trous dans chaque emplacement de montant, pour le passage des vis (à la mèche à métal par exemple) \varnothing , celui des vis (3 à 4 mm). Fraiser ces trous par le dessous (pour y loger la tête de vis) (fig. 23). Dans les montants, préparer les avant-trous correspondants (\varnothing : 1 mm de moins que la vis, pour bois dur, encore moins pour bois tendre).

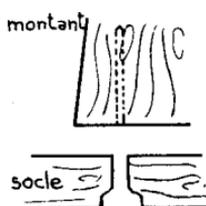


Fig. 23

* Préparer de même les fixations de l'équerre du montant arrière.

* Dans le montant arrière, côté extérieur (opposé au plateau de douille), placer deux vis à la hauteur de la rainure espacées de 4 cm qu'on laissera dépasser de 1 cm et dont on sciera les têtes (restera environ 7 mm) (fig. 24), on obtient ainsi deux goujons de centrage qui positionneront la plaque porte-pôles.

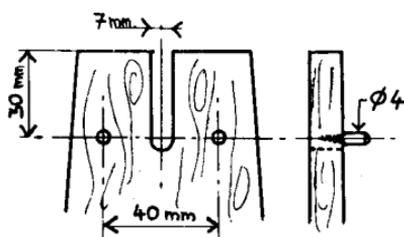


Fig. 24

* Assembler le bâti, veiller à une grande rigidité de l'ensemble (surtout le montant arrière).

* Finition du bâti : selon vos goûts, passer au brou de noix, à la peinture à bois.

Montage de l'axe moteur :

* Agrandir le trou des grandes poulies à 6 mm (Poulie « Mecano » ; faire sauter le moyeu à la mèche à métaux).

* Enfiler l'axe par le montant avant (fig. 25) ; y glisser :
— 1 rondelle (ou plus si les écrous butent sur les têtes de vis maintenant le plateau de douille) \varnothing 6 mm,

- 3 écrous (2 pour le contre-écrou forment arrêt en translation),
- 1 poulie,
- les deux courroies « Meccano » (les courroies cuir sont montées ultérieurement),
- 2 écrous,
- la 2^e poulie,

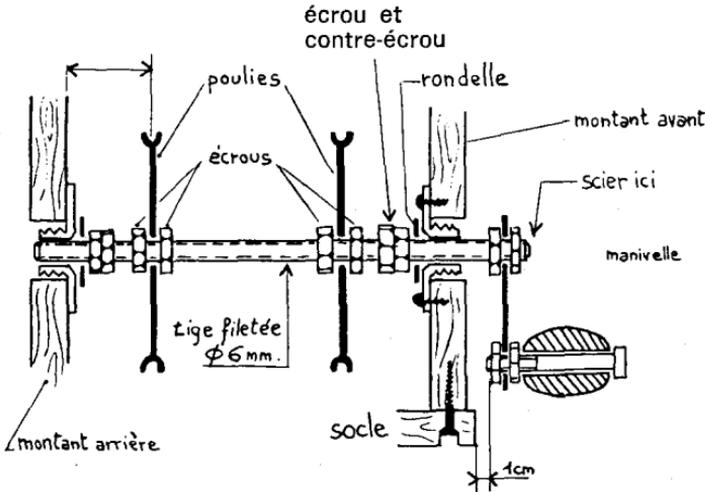


Fig. 25. — Montant axe manivelle.

- 3 écrous,
- 1 rondelle Ø 6 (ou plusieurs).

* Bloquer d'abord le contre-écrou, à 15 mm du bout de la tige (serrer fort).

* Mesurer la distance de la poulie du plateau au montant (avec la rondelle et les balais en place). Bloquer la grande poulie à la même distance du plateau entre ses écrous.

* Faire de même pour la poulie avant, puis le contre-écrou avant. Ménager un jeu (1 à 2 mm) pour faciliter la rotation de l'axe.

* A l'extérieur, bloquer le bras de manivelle, puis la manivelle, elle doit passer à 1 cm du bâti. Scier le bout d'arbre dépassant la manivelle (fig. 25).

Montage de la transmission :

a) COURROIES « MECCANO » n° 186 c.

- Passer les courroies aux bouts de l'axe plateau : avant droite, arrière croisée,

- Monter les rondelles et porte-balais,
- Placer l'axe entre les montants, l'immobiliser avec rondelles et écrous en bout, enfin seulement placer les courroies sur les poulies.

b) COURROIES CUIR.

- Monter l'axe plateau comme précédemment,
- Directement avec la courroie cuir (droite devant, croisée derrière) repérer la longueur nécessaire avec précision, couper. Avec une pointe, faire deux trous aux extrémités de la courroie pour y glisser le crochet,
- Placer les courroies autour des axes (arrière croisé !), les monter, puis les passer dans les gorges de poulies. (Si elles sont trop lâches, les raccourcir de 5 mm).

Enfin, positionner correctement les fils fins des balais proprement dits. A ce stade il est possible de tester le fonctionnement mécanique de la machine, bien sûr, mais aussi le fonctionnement électrique !

* Positionner les balais à 60°, amorcer la machine avec un bâton électrisé. Dans l'obscurité, on doit alors observer plein d'effluves entre plateaux, et entendre un crépitement caractéristique.

4. Pôles.

Matériel :

- Une chute de plexiglas (ou tout autre matériau excellent isolant et solide) épaisseur : 8 à 15 mm environ, de 4 × 32 cm,
- 1 mètre de tige de plexiglas Ø 12 à 15 mm,
- 1,20 m de tube de laiton Ø 4 × 5 mm (ou 4 × 6 mm),
- 2 boutons de tiroir, en forme de boule Ø 2 à 3 cm, si possible en laiton, si possible creux,
- 12 épingles de couturière,
- 30 cm de tige fileté Ø 4 mm,
- fiches bananes femelles non isolées, pour châssis, sans embout à souder,
- 2 tubes à essais « pyrex » ou bien 2 bouteilles de médicaments en verre de dimensions convenables (hauteur environ 15 à 20 cm, Ø 3 à 6 cm),
- papier d'aluminium ménager,
- colle « araldite »,
- 2 supports de rampe avec collier « Meccano » n° 136 a.

Montage :

1. Peignes.

Prendre 18 cm de tube de laiton, le cintrer en demi-cercle à \varnothing 5 cm, au milieu (introduire 2 tiges rigides \varnothing 4 mm, sur 5 cm de profondeur dans les 2 bouts, si vous craignez de tordre les extrémités durant cette opération, les retirer le cintrage terminé) (fig. 26).

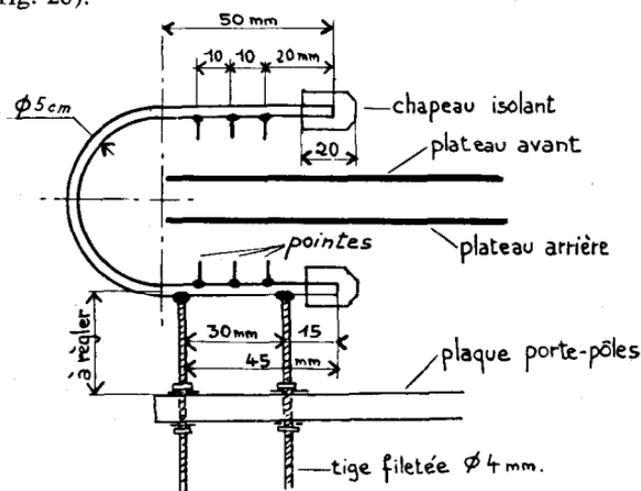


Fig. 26. — Peignes.

Les pointes du peigne seront constituées par les pointes des épingles de couturière. Les briser à 1 cm du bout. Pratiquer 3 traits de scie de chaque côté interne du peigne, à 2, 3 et 4 cm de l'extrémité. Glisser dans les trous ainsi pratiqués les épingles et les immobiliser par soudure à l'étain (type radio) (immobiliser les épingles en les piquant dans un bouchon, pour les souder). Les pointes seront ainsi suffisamment éloignées des plateaux pour ne pas les endommager.

D'un côté extérieur au peigne, à la lime, pratiquer deux trous à 15 et 45 mm de l'extrémité, de \varnothing environ 4 mm, y loger 2 tiges filetées \varnothing 4 mm, $l \approx 10$ cm, puis les immobiliser perpendiculairement au peigne par soudure (immobiliser également les pointes voisines qui risquent de se déplacer).

Confectionner dans 2 cm de tige de plexiglas, des chapeaux pour recouvrir les extrémités des peignes (important sinon fuites). Le trou borgne sera percé à la chignole, \varnothing celui extérieur du tube de laiton. Les coller à l'araldite (fig. 26).

2. Support de peigne (plaque porte-pôles).

La plaque de plexiglas 4×32 cm supportera peignes et éclateur.

* Percer à la mèche à métaux suivant les cotes du croquis (fig. 27). Percer le trou central à $\varnothing 8$ mm, puis dégager le bas par 2 traits de scie.

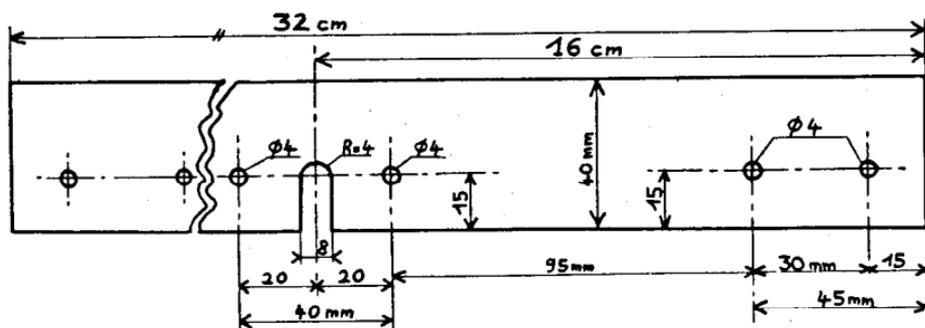


Fig. 27. — Porte-pôles.

* Monter le support sur le montant arrière du bâti, le bloquer avec l'écrou servant à immobiliser l'axe du plateau (couper maintenant les bouts d'axe du plateau dépassant les écrous d'immobilisation).

* Enlever le support :

- sur chaque tige filetée des peignes, introduire un écrou puis une rondelle \varnothing int. 4 mm,
- introduire les tiges dans les trous des bouts du support. Remplacer le bout sur le bâti (attention à ne pas rayer les disques),
- ajuster la position des peignes au centre du disque,
- avec des rondelles puis écrous, bloquer enfin les peignes sur la plaque porte-peignes.

3. Eclateur.

L'éclateur est formé de deux bras pivotants portant des boules à leurs extrémités. Ils sont symétriques par rapport à la machine. Décrivons la construction de l'éclateur gauche (vu du côté manivelle).

* Couper 30 cm environ du tube laiton,

- fendre une extrémité du tube, à la scie à métaux, dans le sens de la longueur sur 1 cm.

* Ecarter et aplatir les deux demi-tubes ainsi obtenus, puis les enrouler autour d'une fiche banane du côté collerette (fig. 28).

* Faire de même avec un morceau de tube de laiton d'environ 8 cm et enrouler l'extrémité fendue sur la même fiche banane. Le positionner à angle droit avec le premier tube vers le haut (fig. 28).

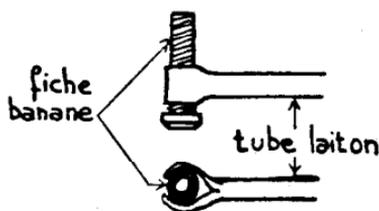


Fig. 28

- * Immobiliser le tout en soudant les tubes à la fiche banane.
- * Cintrer légèrement le tube de 30 cm (rayon ≈ 50 cm), la courbure du côté opposé au petit tube (fig. 29).

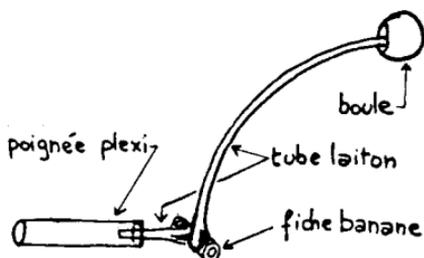


Fig. 29. — 1/2 éclateur.

* Poignée isolante : 10 à 12 cm de tige plexiglas. A la mèche à métaux $\varnothing 5$ mm (ou 6 mm selon \varnothing ext. tube), percer un trou borgne, selon l'axe de la tige profond de 1 à 2 cm. Coller à l'araldite la poignée sur le tube court.

* Visser la boule (bouton de tiroir) à l'extrémité du tube long, au besoin en aplatissant légèrement l'extrémité du tube.

* Enfiler sur la tige filetée extrême du peigne gauche, le demi-éclateur ainsi construit, puis un ressort de compression $\varnothing 4$, court (par exemple 1/2 ressort de « bic »), puis deux écrous qu'on bloquera ensemble lorsque la compression du ressort sera suffisante pour que le demi-éclateur soit immobilisé à frottement doux.

Au besoin, enfiler une rondelle de caoutchouc (joint de robinet) entre la plaque support de pôles et le demi-éclateur.

- * Couper le bout de tige filetée en trop.
- * Procéder symétriquement pour le demi-éclateur droit.

4. Condensateurs.

Ils seront construits avec deux tubes à essais pyrex standard. Ils seront démontables, solution la plus simple.

* Armature externe (fig. 30) : sur le quart de la hauteur du tube, coller de la feuille d'aluminium ménager.

* Armature interne (fig. 30) : confectionner un tube de carton bristol d'un \varnothing un petit peu inférieur au tube, de hauteur $1/3$ du tube à essais. L'entourer de papier d'aluminium, le fond aura une forme arrondie (froisser le haut en demi-boule). Glisser dans le tube.

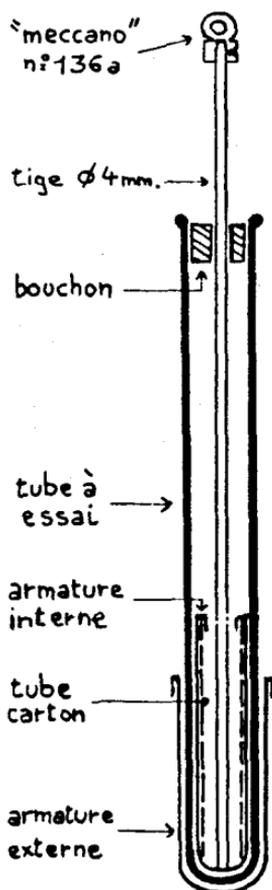


Fig. 30. — Condensateur.

* Une tige lisse \varnothing 4 mm, formera l'électrode de l'armature interne. Elle est en contact avec le fonds du tube (sur la boulette de papier alu.). Elle est immobilisée par un bouchon collé à l'araldite sur la tige et le bord du tube, longueur environ 25 cm.

* Cette tige se termine par le support de rampe « Meccano » n° 136 a. Il permet d'immobiliser le haut du condensateur sur la tige filetée la plus proche de l'axe du plateau (fig. 31).

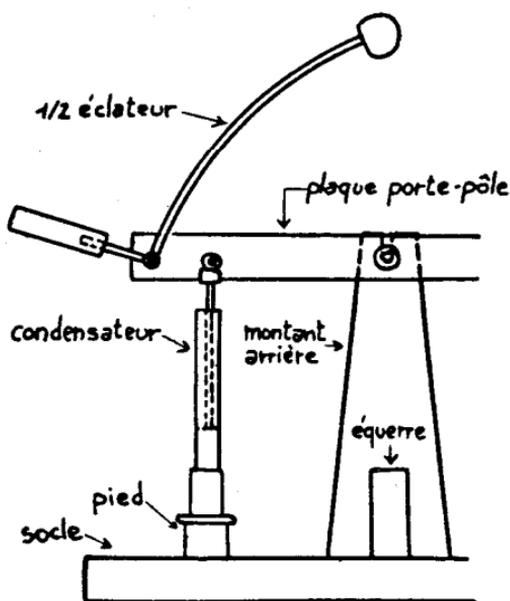


Fig. 31

* Le bas du condensateur, sur 2 cm environ, pendra dans un petit récipient formé par exemple d'un bout de tube de médicament en métal, cloué sur le socle à l'aplomb de la fixation supérieure. Une boulette de papier d'aluminium assure le contact avec l'armature externe (fig. 32).

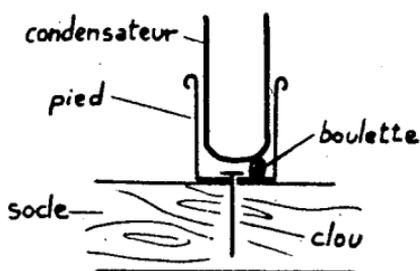


Fig. 32

5. Liaisons de masse.

Sur le côté du socle, visser une borne de terre (fiche banane femelle mise dans le bois).

Y relier par un fil de cuivre ou de laiton nu ($\varnothing \sim 1$ mm) l'axe de la manivelle (c'est-à-dire, un des plateaux de douille formant

palier) et les pieds de condensateur. On peut aussi relier l'axe des plateaux à la terre.

Finition.

Limer *toutes* les bavures et arêtes tranchantes du montage, pour au maximum limiter aigrettes, fuites et effluves.

VOTRE MACHINE DE WIMSHURST EST PRÊTE A L'EMPLOI (fig. 33).

Remarque .

* En construisant une machine plus petite (plateaux de 20 cm par exemple) on aura avantage à utiliser plus de pièces « Meccano » et des axes $\varnothing 4$. Deux valves de pneu de bicyclette feront d'excellents moyeux. (Au début du siècle existaient des machines jouets à plateaux de 15 cm).

* Avec les restes de tige de plexiglas on aura avantage à confectionner deux supports universels isolants : 20 cm de tige. Percer un trou borgne $\varnothing 4$ mm, 1 ~ 2 cm, axial à l'une des extrémités (permet de planter fiche banane, etc.). Coller ou bloquer l'autre bout dans un socle formant pied ($\varnothing \sim 10$ cm).

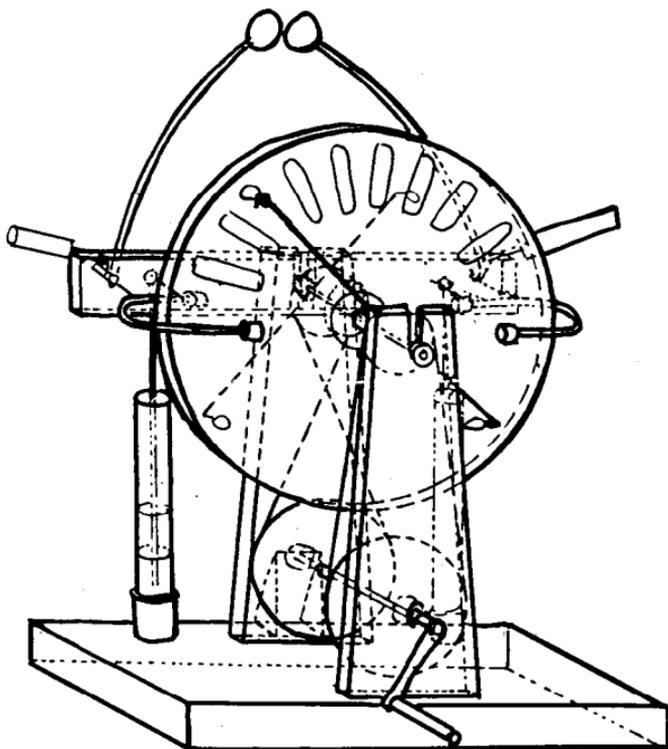


Fig. 33

EXPERIENCE DU CARILLON ELECTRIQUE.

Avant de décrire cette expérience très spectaculaire et facile à réaliser, quelques mots sur la présentation de la machine de Wimshurst aux élèves : on leur fera constater qu'elle produit les mêmes effets que les bâtons électrisés, sur un électroscope par exemple.

Montage :

Placer deux supports isolants à environ 30 cm devant la machine (ou plutôt du côté opposé à la manivelle, côté face aux élèves). Y immobiliser deux timbres de sonnette (comportant un trou central) par deux fils courts (30 cm) munis de fiches bananes. Relier l'autre bout des fils aux pôles de la machine (avec pince crocodile). Former le pendule avec un boulon (\varnothing nominal 8 à 10 mm, à six pans arrondis) et 50 cm de fil nylon pour pêche à la ligne. Disposer les timbres à 10 cm l'un de l'autre et le pendule avec un support universel de chimie au centre à la hauteur des cloches (fig. 34).

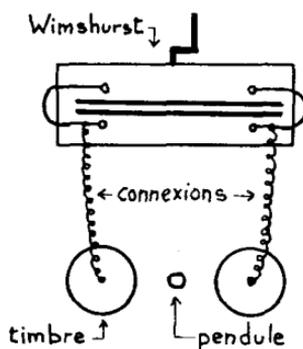


Fig. 34. — Carillon électrique.

Conduite de l'expérience :

Faites monter la tension du générateur. Aider le pendule à se charger en le poussant vers un timbre avec un bâton isolant. Il se met immédiatement à battre.

Avec des condensateurs tube à essais chargés, le carillon fonctionne plus d'une minute. Dès que l'on décharge la machine, il cesse de tinter (pendule bien au centre au repos !)

Explication.

Attraction et répulsion du pendule (isolé) par les timbres : au contact, il prend une partie de la charge et est ensuite repoussé et attiré par l'autre timbre, etc.

EXPERIENCE DE PEINTURE ELECTROSTATIQUE.

Cette expérience montre l'intérêt de la peinture électrostatique : pas ou peu de pertes. Faite ici à l'encre de Chine, elle évite tout risque d'incendie (alors que les solvants de certaines peintures sont très inflammables).

Matériel :

- (Machine de Wimshurst, 2 supports isolants),
- 1 grande feuille de papier journal,
- encre de Chine, liquide,
- 1 tire-ligne à bec en métal (dans toute boîte de compas),
- 1 tube de médicament, métallique, blanc si possible,
- fils de connexions, pinces crocodiles, noix.

Montage et conduite de l'expérience :

Amorcer au préalable la machine et fermer l'éclateur. A au moins 50 cm de la machine, disposer les deux supports isolants sur la feuille de journal.

Sur l'un fixer avec une pince crocodile, le tube de médicament horizontalement.

Sur l'autre de même, fixer le tire-ligne horizontalement, sa pointe dirigée vers le côté du tube, à environ 5 à 10 cm (fig. 35). Régler le tire-ligne pour un trait de 1/2 à 1/3 de mm, le garnir d'encre de Chine (la pointe doit être mouillée par l'encre).

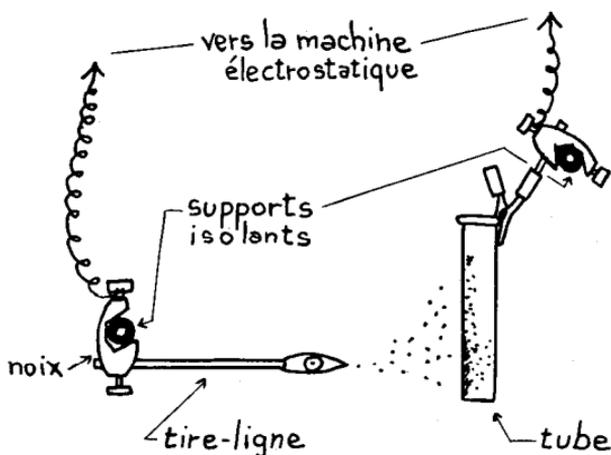


Fig. 35

Relier chaque accessoire aux pôles de la machine. Ouvrir l'éclateur et mettre en route.

S'il ne se produit rien, inverser les polarités des accessoires (c'est-à-dire échanger leur place, pour éviter de croiser les fils de connexion).

Le tube reçoit une fine pluie d'encre de Chine, le papier journal reste propre !

CONSEIL POUR LES EXPERIENCES D'ELECTROSTATIQUE.

Si, en hiver, lorsque fonctionne le chauffage central, la machine et accessoires sont généralement bien secs, il n'en n'est plus de même quand il n'y a plus de chauffage.

Donc, avec un sèche-cheveux, sécher soigneusement machine et accessoires avant les expériences !

BIBLIOGRAPHIE

- [Mas. 76] M. E. MASCART. — *Traité d'Electricité Statique* (Masson, Paris, 1876).
- [Bou. 20] H. BOUASSE. — *Cours de Magnétisme et d'Electricité* (3^e partie) (2^e Ed. Delagrave, Paris, 1920).
- [Ziv. 26] L. ZIVI. — *Explication du fonctionnement de la machine de Wimshurst* (Bull. Union Phys n° 196., oct. 1926, page 4).
- [Neu. 42] U. NEUBERT. — *Elektrostatische Generatoren* (Oldenbourg, Munich, 1942).
- [Fél. 47] N. FÉLICI. — *Machines électrostatiques puissantes* (Journ. Phys. VIII - Tome IX, févr. 1948).
- [Fél. 49] N. FÉLICI. — *Machines électrostatiques puissantes* (Journ. Phys. VIII - Tome X, avr. 1949).
- [Gar. 52] E. GARTNER. — *Contribution à l'étude des génératrices électrostatiques à transporteurs isolants* (Thèse n° 34, Univ. Grenoble, Fac. Sciences, 1952).
- [Jol. 52] P. C. JOLIVET. — *Sur une nouvelle machine électrostatique à influence* (Thèse n° 1, Fac. Sciences Alger, 1952).
- [Fél. 61] N. FÉLICI. — *L'électrostatique, nouvelle branche de l'électrotechnique* (Conf. Palais Découverte, 14 janv. 1961).
- [Bru. 63] G. BRUHAT. — *Cours de Physique Générale - Electricité* (8^e Ed. Masson et Cie, Paris, 1963).
-