

Nom : _____

Prénom : _____

TP : Condensateurs Plans

Le but est d'étudier comment la capacité d'un condensateur plan dépend de ses caractéristiques:

- Superficie S des armatures
- Distance d entre les armatures
- Diélectrique (de constante diélectrique relative ϵ_r) entre les armatures

Vous allez directement mesurer, à l'aide d'un multimètre, la capacité des condensateurs plans que vous construisez.

1. Influence de superficie S : Fixer une distance: $d = 1$ mm

- a. Utiliser 2 paires de plaques carrées. Trouver le lien mathématique entre la capacité C et la superficie S . Justifier à l'aide d'un calcul réalisé dans la dernière colonne.

Côté des plaques en m	S en m^2	C en ____	

Conclusion et justification:

- b. Construire un condensateur ($d = 1$ mm) en utilisant une grande et une petite plaque. Mesurer sa capacité et interpréter le résultat. Quelle surface compte ?

2. Influence de la distance d

Pour 2 ensembles de plaques distincts, étudier le lien mathématique entre la capacité C et la distance d . Justifier chaque fois à l'aide d'un calcul réalisé dans la dernière colonne.

Grandes plaques Superficie: $S =$			Petites plaques Superficie: $S =$		
d en m	C en ____		d en m	C en ____	

Conclusion et justification:

Vos résultats précédents sont en principe conformes à la loi théorique (voir cours)

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

où $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ unités SI est la permittivité électrique du vide.

3. Influence du diélectrique

- Pour 2 ensembles de plaques, calculer la permittivité électrique ϵ des diélectriques qui seront successivement introduits. En déduire ϵ_r pour chaque diélectrique.
- Calculer la moyenne de ϵ_r pour chaque diélectrique sur base de vos 2 mesures.
- Comparer à des valeurs de référence que vous indiquerez (avec source)

diélectrique	Grandes plaques Superficie: $S =$				Petites plaques Superficie: $S =$				$\epsilon_{r,moyen}$	$\epsilon_{r,ref}$
	d en m	C en _____	ϵ en unité SI	ϵ_r	d en m	C en _____	ϵ en unité SI	ϵ_r		
air										

Association de condensateurs

Tout comme pour les résistances, il est possible d'associer 2 condensateur C_1 et C_2 en parallèle ou en série. L'association se comporte comme un condensateur unique de **capacité équivalente C** .

- Mesurer C_1 et C_2 avant de les monter en **parallèle** puis mesurer capacité équivalente C .
Trouver un lien entre C, C_1 et C_2 et vérifiez-le par un calcul effectué dans la dernière colonne.

C_1 en _____	C_2 en _____	C en _____	

Conclusion (équation)

- Mesurer C_1 et C_2 avant de les monter en **série** puis mesurer capacité équivalente C .
Trouver un lien entre C, C_1 et C_2 et vérifiez-le par un calcul effectué dans la dernière colonne.

C_1 en _____	C_2 en _____	C en _____	

Conclusion (équation)

Partie 2: Condensateurs en courant alternatif

Introduction

Comme un condensateur contient un diélectrique (=isolant), il ne laisse pas passer de courant continu.

Par contre, l'expérience que vous allez réaliser, montre qu'un condensateur laisse passer le courant alternatif.

Voici le diagramme donnant l'évolution d'une tension alternative sinusoïdale telle qu'elle est délivrée par une prise domestique.

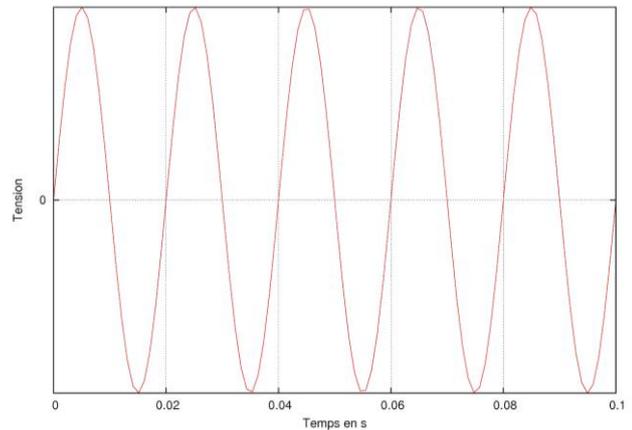
prise domestique.

On distingue la valeur moyenne efficace $U=U_{\text{eff}}=230\text{V}$ mesurée par le voltmètre et la valeur maximale

$U_m=\sqrt{2}\cdot U = \quad \text{V}$ visualisée sur la courbe.

On voit que la sinusoïde se répète après la **période** $T = 0,02\text{s}$.

Il en résulte que la **fréquence** $f = \frac{1}{T} = \quad = 50 \text{ Hz}$



1. Montage et mesures

Construire et représenter un montage permettant de mesurer simultanément la tension U aux bornes du condensateur ainsi que l'intensité I (en mA) du courant qui le traverse. Rajouter, en série avec le condensateur, une résistance de protection de 100Ω dans le circuit.

Le générateur que vous utilisez permet de modifier la tension U appliquée ainsi que la fréquence f .

Monter que U et I sont proportionnel à fréquence f constante

1. Fixer $f = \underline{\hspace{2cm}}$. Faire varier U et mesurer I . Compléter le tableau.

U en V	I en A	$\frac{U}{I}$ en $\frac{\text{V}}{\text{A}}$
0		
	Moyenne	
	Ecart-type	
	Erreur relative en %	

Champ électrique dans un condensateur plan

Lire entièrement le TP de façon active. Les questions avec une étoile entre parenthèses sont à chercher avant le TP.

I But du TP

Déterminer les caractéristiques du champ vectoriel électrique dans un condensateur plan.

II Matériel

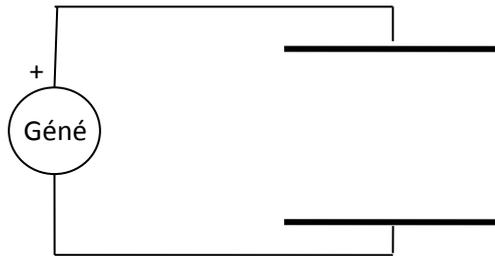
Cuve rhéologique avec marquage au fond et munie de deux plaques de cuivre se faisant vis-à-vis
Générateur de tension continue Voltmètre
Fils électriques Tige sonde de potentiel

III TP

Document 1 : condensateur plan

On appelle « condensateur plan » deux armatures métalliques se faisant vis-à-vis et séparées par un diélectrique. On « charge » le condensateur en reliant une de ses armatures à la borne + d'un générateur tandis que l'autre armature est reliée à la borne -, et en imposant une différence de potentiel (càd une tension) aux bornes du générateur qui est la même entre les armatures.

(*) Compléter le schéma suivant avec les bornes rouge et noir du générateur, le sens du courant positif quand celui-ci existe, le sens des électrons dans les fils et les charges des armatures en les justifiant.



* Poser la cuve remplie avec environ 1 cm d'eau de hauteur devant vous, une plaque de cuivre à gauche et une à droite.

* Relier avec un fil la plaque de gauche à la borne - ou noir du générateur.

* Relier l'autre plaque à la borne + ou rouge du générateur.

* Régler le générateur, initialement éteint avec

- le bouton voltage : variable

- bouton courant à fond à droite

- réglage du voltage à 6,0 V

Vous imposez ainsi une différence de potentiel de 6 V entre les deux plaques du condensateur en allumant le générateur

Document 2 : définition et mesure théorique du champ « potentiel électrique »

(*) Ce champ, noté V , est un champ scalaire. Rappeler la définition d'un champ scalaire :

Sa valeur s'exprime en volt (V) comme une tension. Cette valeur est mesurable avec un multimètre utilisé en voltmètre.

Pour utiliser un multimètre en voltmètre, voici la démarche à suivre :

- On choisit d'abord les bornes où seront branchés les fils. Pour le voltmètre, il s'agit des bornes « COM » et « V ». Afin de mesurer un potentiel, il faudra brancher un fil sur la borne « COM » correspondant à la « référence » et un fil relié à la sonde de mesure sur la borne « V » correspondant à la « mesure ».

- on choisit ensuite un calibre adapté : aujourd'hui, c'est un voltage continu que l'on détermine (signe « - » ou « = » ou lettres DC et non « ~ » ou AC qui correspond à la mesure d'un voltage alternatif) et une tension qui n'excèdera pas 6 V.

Il ne reste plus alors qu'à brancher l'autre bout du fil correspondant à la référence à l'endroit où on veut avoir la référence (c'est-à-dire à l'endroit où on choisit d'avoir $V = 0V$) et ensuite de pointer avec la tige un point de l'espace où on désire mesurer le potentiel électrique.

Document 3 : mesure expérimentale du potentiel électrique

* Brancher le voltmètre afin que la référence corresponde à la plaque de gauche de potentiel 0V et vérifier dans un premier temps avec la tige « mesure » que la valeur du potentiel est bien voisine de 0V près de la plaque de gauche et de 6V près de la plaque de droite

* Sur une grande feuille de papier millimétré, tracer deux axes gradués et orientés (axe des x horizontalement et axe des y verticalement) en cm avec une origine correspondant au centre des cercles inscrits au fond de la cuve. Remarque : ce n'est pas obligatoirement tout à fait le centre de la feuille ni le centre de la cuve mais ce n'est pas grave. Dessiner approximativement le lieu des deux plaques sur votre feuille (ce n'est pas grave si elles ne sont pas tout à fait planes).

* Commencer les mesures des potentiels électriques avec la pointe : on prendra les points de coordonnées suivants : abscisses multiples de 3 et ordonnées multiples de 3 ; on fera donc « trois lignes » horizontales, l'une correspondant à $y = -3,0$ cm, puis $y = 0,0$ cm puis $y = 3,0$ cm, et sur chacune de ces lignes, on choisira les points d'abscisse $-9,0, -6,0, -3,0, 0,0, 3,0, 6,0$ et $9,0$ (en cm). A chaque mesure, donner la valeur avec 3 CS en la recopiant sur votre feuille de papier millimétré en bleu juste à côté du point considéré. Vous obtenez ainsi « la carte du champ potentiel électrique » du condensateur plan, un peu comme la carte du champ des températures.

Questions :

Dans un condensateur plan, le champ « potentiel électrique » est-il uniforme ?

(*) Que signifie « équipotentiel » ?

Tracer sur la feuille en vert quelques « courbes équipotentielles ». Que peut-on dire de ces courbes ?

Document 4 : champ électrique

(*) Le champ électrique \vec{E} est un champ vectoriel. Rappeler la définition d'un champ vectoriel :

Les trois caractéristiques du champ vectoriel électrique \vec{E} se déduisent du champ scalaire potentiel électrique V :

- toute ligne de champ du champ électrique \vec{E} en un point de l'espace est orthogonale à la ligne équipotentielle du champ « potentiel électrique » scalaire V qui passe par ce point.

- le sens du champ électrique \vec{E} , le long d'une ligne de champ, correspond au sens des potentiels électriques V décroissants sur cette ligne de champ.

- Pour déterminer la valeur E du champ électrique \vec{E} en chaque point, il faut d'abord tracer un graphique qui donne le potentiel électrique en fonction de l'abscisse x $V = f(x)$ le long d'une ligne de champ du champ \vec{E} . Le coefficient directeur, en chaque point, de la courbe obtenue est par définition la valeur du champ électrique \vec{E} en ce point.

Questions :

Dans les livres, on peut lire que le champ électrique vectoriel entre les armatures d'un condensateur plan est uniforme et que sa valeur vaut $E = U/d$ où U est la tension entre ses armatures et d la distance entre ses armatures.

(*) Proposer un protocole permettant de vérifier ou non cette affirmation. Puis mettez-le en œuvre.

Aide technique :

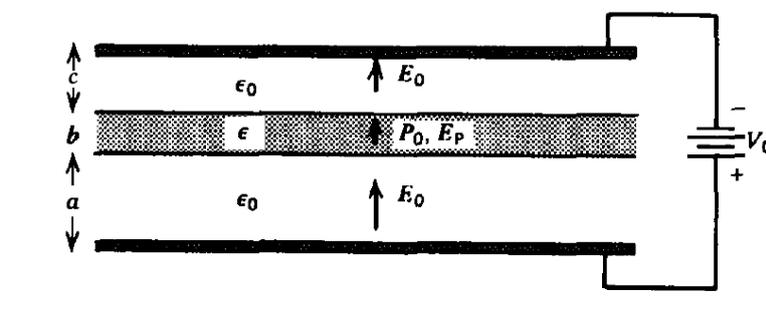
Le premier membre du binôme choisit la ligne de champ $y = -3$ cm qu'il repasse légèrement en rouge sur sa feuille de papier millimétré et le second la ligne de champ $y = 3$ cm qu'il repasse également légèrement en rouge sur sa feuille de papier millimétré. Chacun trace alors le graphique $V = f(x)$ correspondant à sa ligne de champ sur une autre (demie) feuille de papier millimétré.

Que peut-on dire des points obtenus sur le graphique $V = f(x)$? Déterminer alors très proprement le coefficient directeur correspondant. Attention aux unités. Comparer le résultat entre membres du même binôme.

TD 1 - Exercice 4

1) Rappeler le calcul de la capacité C d'un condensateur plan d'épaisseur d et de surface S , en l'absence de diélectrique.

2) On place maintenant un diélectrique d'épaisseur b à l'intérieur du condensateur.



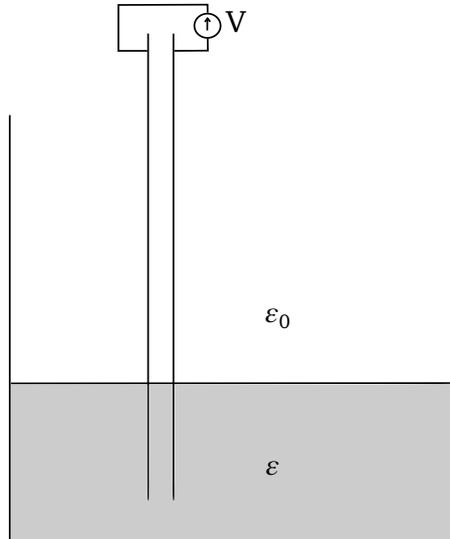
a) Calculer \vec{D} partout à l'intérieur du condensateur.

b) En déduire \vec{E} .

c) Calculer alors la nouvelle capacité C' . Montrer que C' est la capacité équivalente à la mise en série de 3 capacités dont on donnera les expressions.

d) Application numérique: calculer C et C' avec les données suivantes: $S = 1 \text{ cm}^2$, $d = 1 \text{ mm}$, $a = 0.4 \text{ mm}$, $b = 0.2 \text{ mm}$, $c = 0.4 \text{ mm}$, $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ avec $\epsilon_r = 4.5$ (polyester).

3) a) Montrer que dans le dispositif suivant la capacité totale C' est équivalente à la mise en parallèle de 2 capacités, une correspondante à la partie submergée du condensateur, l'autre à la partie qui reste à l'air.

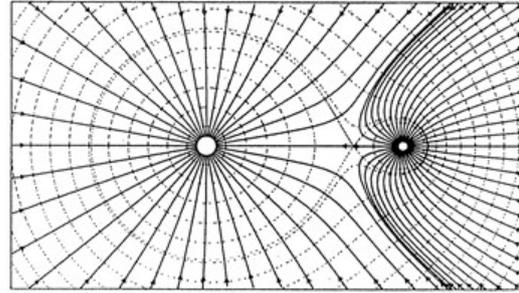


b) Expliquer comment ce dispositif permet de mesurer la hauteur x de liquide.

c) Application numérique: tracer la capacité en fonction de la hauteur de liquide. On prendra un condensateur plan de hauteur 25 cm , de largeur 5 mm , d'épaisseur 5 mm , avec $\epsilon_r = 1.8$ (kérosène).

TP 3 : champs électrostatiques et potentiels

Objectif : Tracer des lignes équipotentiels et des lignes de champ pour différents conducteurs chargés à 2 dimensions.



1 Principe de la méthode

On se propose de tracer expérimentalement les équipotentiels entre 2 électrodes dans les 3 cas suivants :

- le condensateur plan ;
- le dipôle (ou doublet) ;
- le condensateur cylindrique

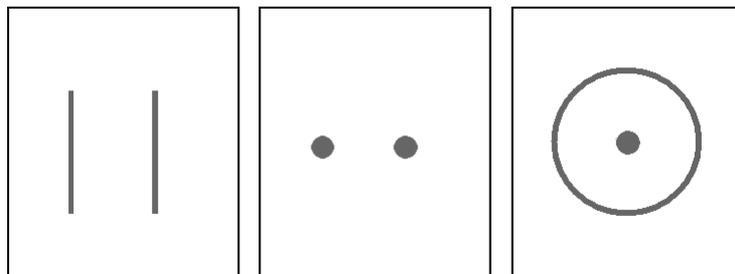


FIGURE 1 – Structures électrostatiques étudiées dans ce TP

Le travail étant assez long, on choisira de traiter deux des trois structures qui sont à disposition.

1.1 Théorie : Champ et potentiel électrostatiques

- Dans un espace à 2 dimensions, l'ensemble des points où le potentiel a la même valeur est une **courbe** équipotentielle définie par $V(x, y) = C^{te}$.
- \vec{E} est perpendiculaire à une ligne équipotentielle.
- Les lignes de champ (tangentes au vecteur) sont en tout point orthogonales aux lignes équipotentiels quelle que soit la distribution. Ces lignes de champ sont des courbes orientées (dans le sens du champ) contrairement aux courbes équipotentiels. Elles vont dans le sens des potentiels décroissants.
- Les lignes de symétrie sont définies ainsi : même signe de charge électrique et même forme géométrique des 2 côtés de la ligne de symétrie.
- Les lignes d'antisymétrie sont définies ainsi : charge positive d'un côté et négative de l'autre avec la même forme géométrique de chaque côté.

♠ **Travail préliminaire** : pour chaque couple d'électrodes, dessiner les lignes de symétrie et les lignes d'antisymétrie.

1.2 Dispositif expérimental

1.2.1 Description du matériel

Trois panneaux distincts permettent d'étudier 3 couples d'électrodes différents :

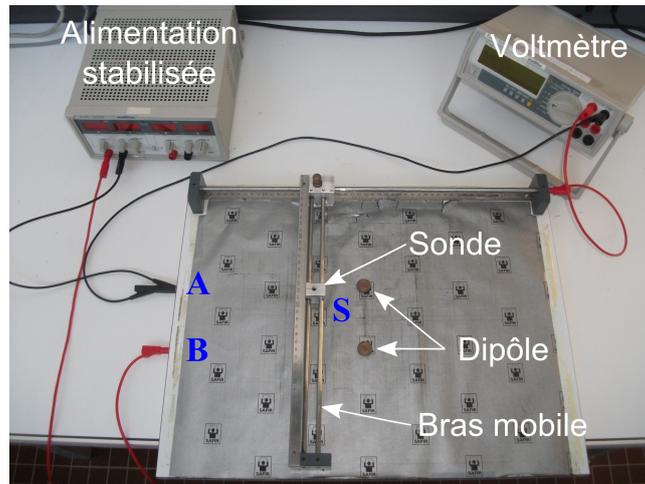


FIGURE 2 – Un exemple de panneau à électrodes du TP

Sur chaque panneau, la feuille carbonée est fixée par serrage au niveau des électrodes. Les liaisons électriques sur ces électrodes se font à partir des bornes (A et B) placées sur le bord du panneau (les connexions entre électrodes et bornes sont assurées par des fils placés sous le panneau).

La borne de la sonde est au bout de la tige métallique (en S).

1.2.2 Principe de mesure

Les conducteurs (électrodes) de géométrie donnée sont au contact de la feuille de papier carboné conducteur de conductivité constante.

On établit entre les électrodes une différence de potentiel $U_0 = 10V$ à l'aide d'une alimentation stabilisée.

Vérifier précisément la valeur de U_0 .

En tout point du papier, il existe alors un champ électrique responsable de la conduction. A l'aide d'une sonde S amenée au contact du papier conducteur, on peut mesurer la différence de potentiel existant entre l'électrode de potentiel nul et un point quelconque S de la surface libre.

Pour mesurer cette différence de potentiel, on utilise un voltmètre : on déplace S sur le plateau en déplaçant 2 barres métalliques et on peut ainsi déterminer les lignes équipotentielles.

2 Manipulation

2.1 Mode opératoire pour le tracé des équipotentielles

On choisit de tracer telle ou telle équipotentielle V_i .

On cherchera, par contacts successifs de la sonde avec le papier conducteur, les positions correspondant au potentiel choisi.

On recueille les points correspondant au potentiel choisi sur une feuille de papier millimétré (ou sur du papier polaire) : pour cela, la feuille doit être percée de trous correspondants à la géométrie des électrodes.

Pour chaque point :

- Relever la sonde ;
- Placer la feuille ;
- Repérer le point par une marque sur la feuille en indiquant V_i ;
- Retirer la feuille et choisir un autre point.

Une autre méthode consiste à lire les coordonnées du point grâce aux deux règles graduées présentes sur le dispositif et reporter les valeurs sur le papier millimétré.

2.2 Mesures et exploitation

2.2.1 Condensateur plan

Le système se comporte comme si les deux armatures du condensateur portaient des charges opposées.

1. ♠ Représenter sur papier millimétré ordinaire au moins 4 équipotentiels "pertinentes" de part et d'autre des électrodes : entre les électrodes et en dehors (étude des effets de bord) ;
2. ♠ Après le tracé des V_i : dessiner quelques vecteurs \vec{E} puis construire l'allure de quelques lignes de champ. Pour cela relire le paragraphe 1.1 "Théorie".
3. Voyons comment sont les lignes de champ à l'intérieur du condensateur : soient x_1 et x_2 deux points de la même ligne de champ, x_1 au potentiel V_1 et x_2 au potentiel V_2 . Calculer la norme de \vec{E} grâce à la formule suivante :

$$E = \left| \frac{\Delta V}{\Delta X} \right| = \left| \frac{V_2 - V_1}{x_2 - x_1} \right| \quad (1)$$

et ce pour différents couples de points x_1 et x_2 .

♠ Que peut-on dire de E à l'intérieur du condensateur ?

♠ Déterminer la valeur moyenne de sa norme.

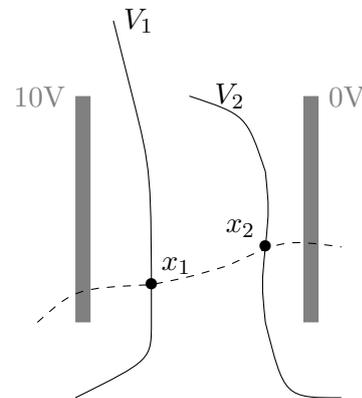


FIGURE 3 – Condensateur, lignes de champ et équipotentiels

4. ♠ Comment varie le champ à l'extérieur ?

♠ *Ne pas oublier de rendre la feuille de papier millimétré.*

2.2.2 Dipôle électrostatique

Le dipôle est en fait constitué de deux cylindres plats et pleins. Le système se comporte comme si les deux cylindres portaient des charges opposées.

1. ♠ Représenter sur papier millimétré ordinaire au moins 4 équipotentiels sur tout le plateau autour des électrodes.
2. ♠ Comme précédemment, dessiner quelques vecteurs \vec{E} et construire l'allure de quelques lignes de champ.
3. Le potentiel créé par 2 cylindres chargés de façons égales et de signes opposés en un point de l'espace est donné par la relation suivante :

$$V_i(M) = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 h} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{U_0}{2} \quad (2)$$

avec h la hauteur des cylindres et $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ SI}$.

♠ Choisir une équipotentielle qui a été tracée mais ne pas prendre $V_i = 5 \text{ V}$.

Remplir un tableau faisant apparaître r_1 , r_2 et le rapport $\frac{r_1}{r_2}$ pour 4 points de cette équipotentielle. Respecter la définition de r_1 et r_2 du schéma ci-contre.

Vérifier que $\frac{r_1}{r_2} = C^{te}$.

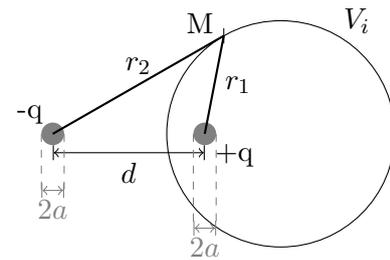


FIGURE 4 – Dipôle électrostatique et équipotentielle

4. ♠ A partir de la valeur de $\left(\ln \frac{r_2}{r_1}\right)_{moy}$, du V_i choisi et de la formule (??) déterminer la valeur de la charge par unité de longueur $\frac{Q}{h}$ puis en déduire la valeur expérimentale de la capacité par unité de longueur $\frac{C}{h}$.

On rappelle que l'on a $Q = C U_0$ et que $U_0 = 10 \text{ V}$.

5. ♠ Sachant que l'expression théorique de la capacité par unité de longueur est $\frac{C}{h} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d}{a}}$, vérifier la cohérence entre théorie et expérience.

♠ Ne pas oublier de rendre la feuille de papier millimétrée.

2.2.3 Condensateur cylindrique

Attention, il faut réaliser le circuit de telle façon que le pôle + soit au centre du condensateur.

- ♠ Représenter deux équipotentielles intérieures au condensateur.
- ♠ Comme précédemment, représenter quelques champs électriques et quelques lignes de champ.
- Mesurer les valeurs de potentiels le long d'un rayon du condensateur, en fonction de r , la distance au centre des lectrices circulaires.
 - ♠ Consigner ces valeurs dans un tableau comportant r , V et $\ln r$.
 - ♠ Représenter sous Régressi la fonction $V = f(\ln r)$ et conclure.
- Sachant que $V = -\frac{C U_0}{2\pi\epsilon_0 h} \ln r + C^{te}$ avec C la capacité du condensateur, faire une régression linéaire sous Régressi du type $V = f(\ln r)$.
 - ♠ Imprimer ce graphique avec la modélisation et son résultat.
 - ♠ Déduire de la pente le rapport $\frac{C}{h}$ expérimental.
- ♠ Sachant que l'expression théorique de $\frac{C}{h}$ est $\frac{C}{h} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$, où r_1 est le rayon du petit cylindre et r_2 celui de l'intérieur du grand cylindre, vérifier la cohérence entre théorie et expérience.

♠ Ne pas oublier de rendre la feuille de papier millimétrée.

Champ électrostatique créé par un condensateur plan. Force électrostatique.

I - BUT DE LA MANIPULATION

Dans une première partie, on étudiera expérimentalement, dans un plan, les lignes équipotentiels et les lignes de champ d'un condensateur plan. La mesure du champ et du potentiel en un point étant cependant difficile à réaliser en pratique, on utilisera dans ce T.P, un montage **électrocinétique** menant à une répartition dans l'espace de champs électriques et de différences de potentiel **similaires** à celle du condensateur plan.

Dans une deuxième partie, on s'intéressera à la force exercée par un champ électrostatique sur des charges électriques. On étudiera ainsi la déviation d'un faisceau d'électrons par un condensateur plan.

II - ETUDE EXPERIMENTALE DU CHAMP ELECTROSTATIQUE D'UN CONDENSATEUR PLAN

II.1 Principe

L'idée est de substituer aux charges électriques **statiques** un montage **électrocinétique** comportant une source de tension U appliquée à deux électrodes fixées sur une feuille de papier graphité. Ce papier étant un **conducteur ohmique**, la tension y induira une répartition spatiale de potentiels électriques que l'on mesurera.

Suivant la forme des électrodes, on obtient **l'équivalent** électrocinétique de différents systèmes électrostatiques. Pour un **condensateur plan**, par exemple, les électrodes seront des **barrettes** métalliques parallèles (fig. 1a) et **deux vis** métalliques pour un **dipôle** (fig.1b).

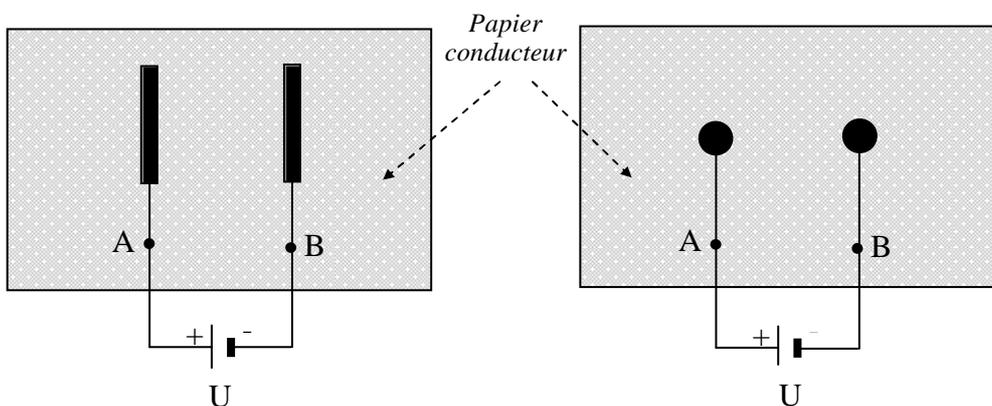


Fig.1a

Fig.1b

La manipulation consistera à tracer les lignes équipotentielles à l'intérieur et à l'extérieur d'un condensateur plan puis à en déduire les lignes de champ électrique.

Pour tracer les lignes équipotentielles, il suffira de repérer avec la sonde (électrode en laiton) l'ensemble des points M du papier graphité ayant le **même potentiel** V_M ou, plus précisément, présentant la même différence de potentiel $V_M - V_B$ par rapport à l'électrode B dont le potentiel V_B sera choisi arbitrairement égal à zéro. Le potentiel V_M sera simplement donné par la tension U_{MB} mesurée avec un multimètre. Les points M seront reportés mécaniquement sur une feuille de papier millimétré, à l'aide d'un **pantographe** dont on déterminera le grandissement γ (figure 2).

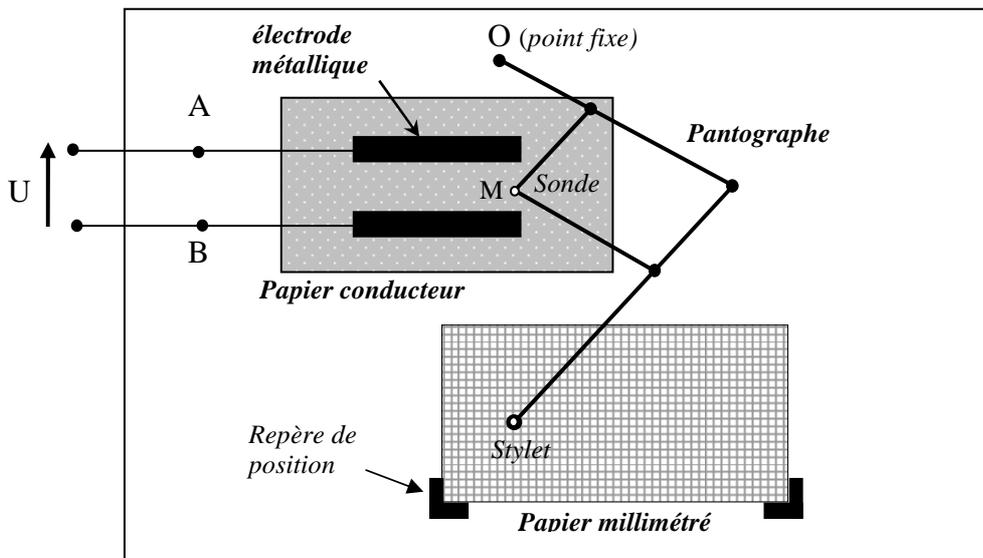


Fig.2 : Dispositif expérimental.

II.2 Tracé des lignes équipotentielles.

- ◆ Régler le générateur de tension : **12V, continu.**
- ◆ Alimenter le condensateur plan avec ce générateur : l'électrode A au pôle « + », l'électrode B (la référence) au pôle « - ».
- ◆ Mesurer à l'aide du multimètre la différence de potentiels U entre les deux électrodes :

$U = \dots\dots\dots$

- ◆ Disposer la feuille de papier millimétré entre les repères en scotch rouge (figure 2) de manière à explorer au mieux le papier graphité avec la sonde (à l'intérieur et à l'extérieur du condensateur plan).

- ◆ Reproduire, à l'aide du stylet du pantographe, les deux électrodes du plateau sur le papier millimétré.
- ◆ En déduire le grandissement γ du pantographe : $\gamma = \dots\dots\dots$
(tenir compte du diamètre de la sonde en laiton)

- ◆ Tracé des lignes équipotentiels à l'intérieur et à l'extérieur du condensateur plan :

On souhaite repérer l'ensemble des points M de la feuille de papier graphité se trouvant à un même potentiel V_M par rapport à l'électrode B de référence. On a choisi $V_B = 0 \text{ V}$, on a donc $V_M = U_{MB}$ tension mesurée au multimètre (la borne « Com » reliée à l'électrode B et la borne V à la sonde en laiton). On tracera 4 lignes équipotentiels correspondant aux potentiels :

$$V_M = 0.4U, 0.5U, 0.6U, 0.7U.$$

Calculer ces valeurs de V_M au centième de volt et tracer les lignes équipotentiels.

- Conseils :**
- repérer la position d'un point M à $V_M \pm 0.02 \text{ V}$.
 - maintenir un doigt appuyé sur la sonde pour avoir un bon contact électrique.
 - déplacer la sonde d'environ 1 cm entre deux points de mesure.

II-3 Calcul du champ électrique et tracé des lignes de champ.

- ◆ Calcul du champ électrique \vec{E} :

Dans un repère orthonormé $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$, le champ électrique \vec{E} en un point M de coordonnées (x,y,z) est défini à partir des variations de potentiel V par unité de longueur dans les trois directions de l'espace :

$$\vec{E}(M) = - \overrightarrow{\text{grad}V} = - \frac{\partial V}{\partial x} \cdot \vec{u}_x - \frac{\partial V}{\partial y} \cdot \vec{u}_y - \frac{\partial V}{\partial z} \cdot \vec{u}_z$$

A partir de cette définition, nous allons déterminer les coordonnées du vecteur champ électrique \vec{E} en différents points du graphe donnant les lignes équipotentiels du condensateur plan.

Soit $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y)$ le repère affecté à ce graphe comme indiqué à la figure 3. Nous ne nous intéresserons qu'aux coordonnées E_x et E_y du champ électrique et nous ferons l'approximation suivante :

$$\vec{E} \approx - \frac{\Delta V}{\Delta x} \cdot \vec{u}_x - \frac{\Delta V}{\Delta y} \cdot \vec{u}_y$$

Dans cette expression, la composante $E_x = - \frac{\partial V}{\partial x}$ est remplacée par $- \frac{\Delta V}{\Delta x}$,

où ΔV représente la variation de potentiel correspondant à une variation de longueur Δx (y restant constant), alors que ∂x représente une variation infiniment petite.

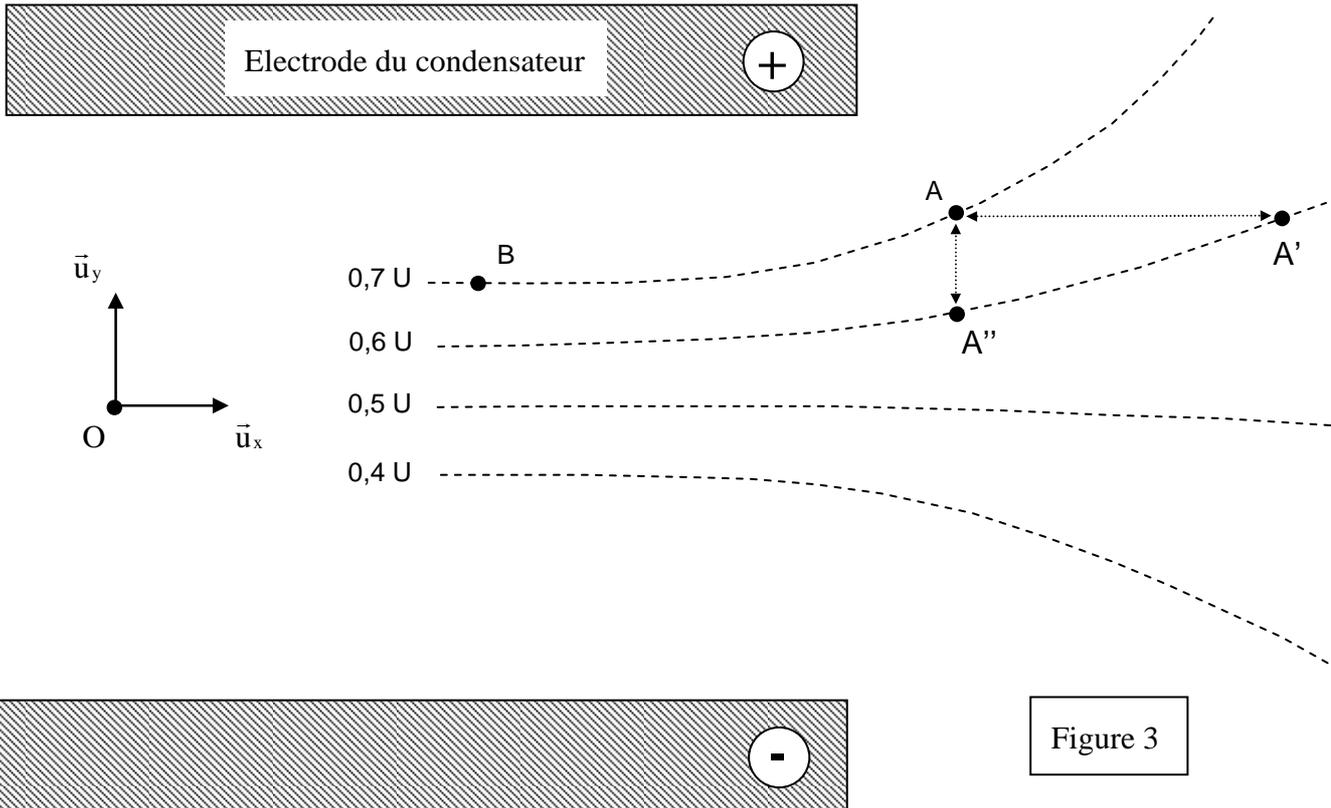


Figure 3

Calcul du champ en un point A à l'extérieur du condensateur : (figure 3)

$$E_x(A) = - \frac{\Delta V}{\Delta x} = - \frac{V(A') - V(A)}{x_{A'} - x_A} = \dots\dots\dots$$

$$E_y(A) = - \frac{\Delta V}{\Delta y} = - \frac{V(A'') - V(A)}{y_{A''} - y_A} = \dots\dots\dots$$

Norme du champ en A : $\|\vec{E}(A)\| = \dots\dots\dots$

(Ne pas oublier le grandissement du pantographe. E_x et E_y sont des valeurs algébriques)

- ◆ Connaissant les coordonnées E_x et E_y , représenter le vecteur champ électrique $\vec{E}(A)$ sur votre graphe (échelle : 1 cm pour 10V/m).
- ◆ Vérifier que ce vecteur est bien orienté vers les potentiels décroissants et qu'il est perpendiculaire à la ligne d'équipotentielle en A (ou proche de la normale aux incertitudes près).

Calcul du champ en un point **B** à l'intérieur du condensateur : (figure 3)

$E_x(B) =$
$E_y(B) =$
Norme du champ en B :	$\ \vec{E}(B)\ =$

Représenter le vecteur $\vec{E}(B)$ sur votre graphe.

Conclure sur le champ électrique à l'intérieur du condensateur ?

◆ Tracé des lignes de champ :

Vous allez dessiner 2 lignes de champ, l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur du condensateur. Pour cela, vous utiliserez la propriété que vous venez de vérifier : les lignes de champ sont orthogonales aux lignes équipotentiels en tout point. Sur la figure 4 ci-dessous, le point A est un point de la ligne équipotentielle $V_M = 0,5U$ par lequel on désire faire passer la ligne de champ.

- ◆ Tracer en A la normale à l'équipotentielle $V_M = 0,5U$ jusqu'à sa rencontre, en A', avec l'équipotentielle $V_M = 0,6U$.
 - ◆ Du milieu A'' de AA', mener la normale à l'équipotentielle $V_M = 0,6U$. Celle-ci coupe les équipotentiels $V_M = 0,6U$ en B et $V_M = 0,7U$ en B'.
 - ◆ Du milieu B'' de BB', recommencer alors la même opération et ainsi de suite.
- La ligne de champ recherchée est inscrite dans la ligne polygonale (A, A'', B, B'', C).

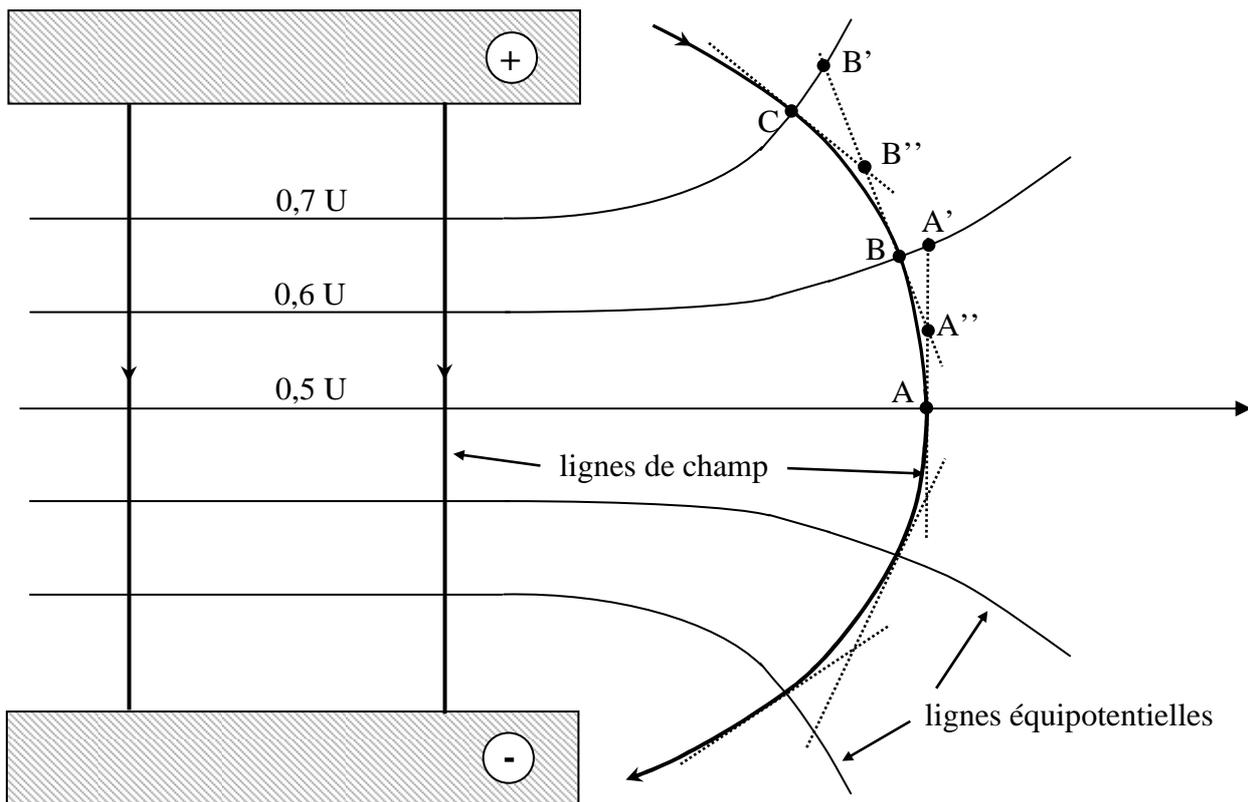


Fig 4 : Méthode pour tracer les lignes de champ.

III- ETUDE DE LA DEVIATION D'UN FAISCEAU D'ELECTRONS PAR UN CONDENSATEUR PLAN.

Dans cette deuxième partie, on va s'intéresser à la force exercée par un champ électrostatique sur des charges électriques. Pour cela on va utiliser le montage représenté ci-dessous.

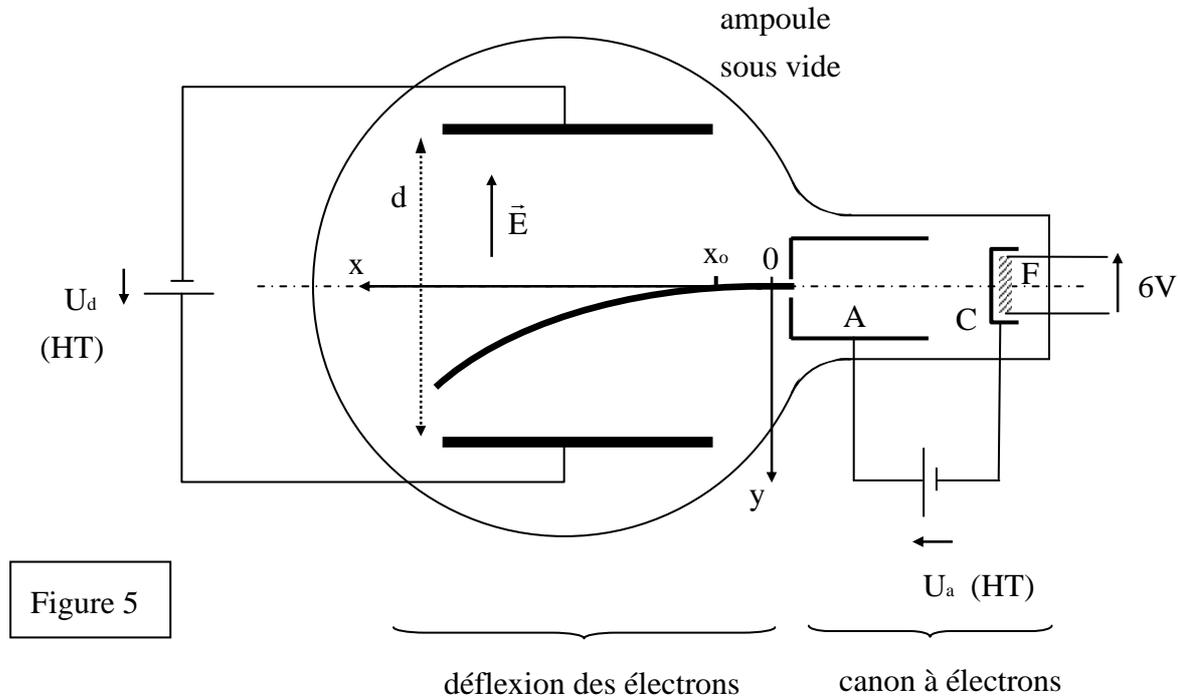


Figure 5

III-1 Description du montage.

Le montage (figure 5) se compose d'une ampoule de verre dans laquelle règne un vide poussé. A l'intérieur de cette ampoule, on trouve :

- un canon à électrons, placé dans le culot et permettant d'obtenir à sa sortie des électrons de vitesse \vec{v}_0 horizontale ($\vec{v}_0 = v_{0x} \vec{u}_x$).

Ce canon est constitué d'une cathode métallique C qui, chauffée par un filament F, émet des électrons avec une vitesse considérée comme négligeable. Ces électrons sont accélérés par le champ électrique créé par une tension U_a appliquée entre la cathode C et une anode A trouée en son centre. On peut montrer que la vitesse v_{0x} des électrons au niveau du trou de l'anode A est égale à :

$$v_{0x} = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}} \quad (2) \quad \text{avec} \quad \begin{cases} e : \text{charge de l'électron} \\ m : \text{masse de l'électron} \end{cases}$$

- deux plaques métalliques parallèles distantes de d et aux bornes desquelles est appliquée une tension U_d créant un champ électrostatique uniforme $E = \frac{U_d}{d}$ perpendiculaire à l'axe Ox du canon à électron.

(en fait, comme nous l'avons observé dans la première partie, le champ électrostatique créé par un condensateur plan n'est pas rigoureusement uniforme. La longueur des plaques de déflexion est en effet trop courte par rapport à leur écartement ce qui crée des effets de bords importants).

- Un écran vertical quadrillé (en cm) tangent à la trajectoire des électrons et recouvert d'une substance fluorescente permettant de visualiser leur trajectoire.

III-2 Calcul de l'équation de la trajectoire d'un électron.

On travaillera dans le système d'axes Oxy de la figure 5 (associé à un repère orthonormé $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y)$). A la sortie du canon, un électron a une vitesse $\vec{v}_o = v_{ox} \vec{u}_x$. Il n'est soumis à aucune force le long de l'axe Ox . En revanche, le long de Oy , il est soumis à la force $\vec{F} = -e\vec{E}$ exercée par le champ électrostatique $\vec{E} = -\frac{U_d}{d} \vec{u}_y$ créé par le condensateur plan (on négligera le poids de l'électron). En appliquant le principe fondamental de la dynamique, montrer que la trajectoire de l'électron est une **parabole** d'équation :

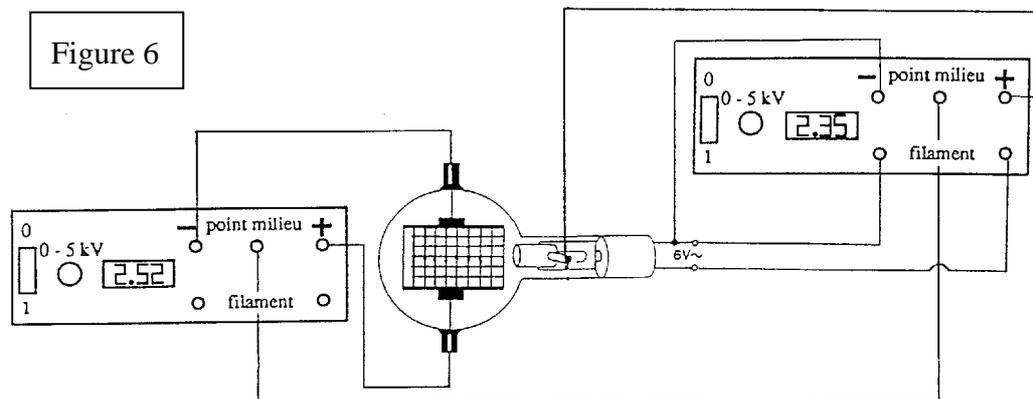
$$y = \frac{1}{4d} \frac{U_d}{U_a} (x - x_o)^2 \quad (3)$$

On prendra comme conditions initiales à $t=0$:

- la position $M_o(x_o, 0)$ lorsque l'électron est situé à l'entrée du condensateur où il commence à subir l'influence du champ (voir figure 5)
- la vitesse $\vec{v}_o(v_{ox}, 0)$ au point M_o .

III-3 Manipulation

III.3.1 Montage électrique



- **ATTENTION : vous allez manipuler des alimentations hautes tensions (H.T.).**

Le montage électrique a été préalablement réalisé mais avant de manipuler demandez à un enseignant de mettre sous tension le circuit après vérification.

Eteindre les alimentations après avoir manipulé sans retirer les câbles électriques.

(Remarque : lorsque l'on éteint une alimentation H.T., la tension ne s'annule pas instantanément. Les fortes capacités de l'alimentation se déchargent lentement. Ainsi la tension ne s'annule qu'au bout de quelques dizaines de secondes).

- Pour le canon à électrons, on utilise une alimentation **double** qui fournit d'une part la HAUTE TENSION réglable U_a entre 0 et 5 kV pour accélérer les électrons et d'autre part la BASSE TENSION pour le filament.
- Pour la déflexion des électrons on dispose d'une alimentation du même type, mais on utilise uniquement la partie HAUTE TENSION.
- La tension affichée (en kV) est la tension entre la borne (+) et la borne (-).

III.3.2 Aspect qualitatif.

- ◆ Pour des tensions U_a et U_d fixées (par exemple $U_a = 2500$ V, $U_d = 2800$ V), vérifier que compte tenu du sens du champ électrique, le sens de la déflexion obtenue est celui attendu.
- ◆ Pour $U_a = 2500$ V, faire varier U_d : comment varie la déflexion ?

--

- ◆ Même question pour $U_d = 2800$ V et U_a variable.

--

- ◆ Les variations observées de la déflexion sont-elles en accord avec la formule (3) ?

--

III.3.3 Mesures.

III.3.3.1 Variation de U_d en fonction de U_a pour une déflexion constante.

- ◆ Choisir un couple de valeur (U_a , U_d) pour obtenir une parabole passant, par exemple, par le point $x = 8$ cm, $y = 2$ cm.
- ◆ Faire varier U_a et noter la nouvelle valeur de U_d à appliquer pour garder la même déflexion.
- ◆ Recommencer et remplir le tableau ci-dessous.

U_a (volts)							
U_d (volts)							

Tracer la courbe $U_d = f(U_a)$ sur papier millimétré. Comparer à l'allure de la courbe théoriquement attendue (formule 3). Si vous souhaitez comparer quantitativement expérience et théorie, notez que $x_0 = 1.5 \text{ cm}$ et $d = 5.4 \text{ cm}$.

III.3.3.2 Etude de la déflexion pour U_a et U_d constants

- ◆ Choisir par exemple, $U_a = 2500 \text{ Volts}$ et $U_d = 2800 \text{ Volts}$.
- ◆ Relever les coordonnées (x, y) de quelques points de la trajectoire
- ◆ Remplir le tableau ci-dessous :

x (cm)								
y (cm)								
$(x-x_0)^2$ (cm^2)								

Tracer la courbe $y = f((x-x_0)^2)$. Conclusion :

