

Élasticité d'un solide, Pendule et appareil de torsion

L'objectif de ce TP est d'effectuer une étude expérimentale pour déterminer la valeur du module de *Young* de fils métalliques de natures, et caractéristiques dimensionnelles différentes à travers la mesure de leur constante de torsion C . Pour cela, on utilisera une méthode statique et une méthode dynamique. on s'attachera bien sûr à comparer les résultats des deux méthodes.

I.1 Dispositif expérimental

- Dispositif de torsion (tiges, trépied...)
- Chronomètre
- 2 masses de **200 g** chacune
- 1 dynamomètre,
- Fils de Torsion.



I.2 Étude Théorique

Les corps solides se déforment lorsqu'ils sont soumis à des forces. Dans un corps non déformé, la configuration des molécules correspond à l'état de son équilibre thermique ; toutes ses parties étant par ailleurs, en équilibre mécanique. Si le corps est déformé, la position des molécules varie ; le corps sort de son état d'équilibre et des forces, dite contraintes internes, y prennent naissance et tendent à le ramener à son état d'équilibre.

1.2.1 Étude statique

Soit un fil mince rectiligne d'axe OO^t , de section circulaire de rayon R et de longueur L . La section passant par O est maintenue fixe. Un couple de moment M parallèle à l'axe vertical OO^t , est appliqué à l'autre section qui passe par O^t . La torsion est telle que les sections ne sont pas déformées. Elles subissent une rotation d'amplitude proportionnelle à leur distance relativement à la section fixe passant par O .

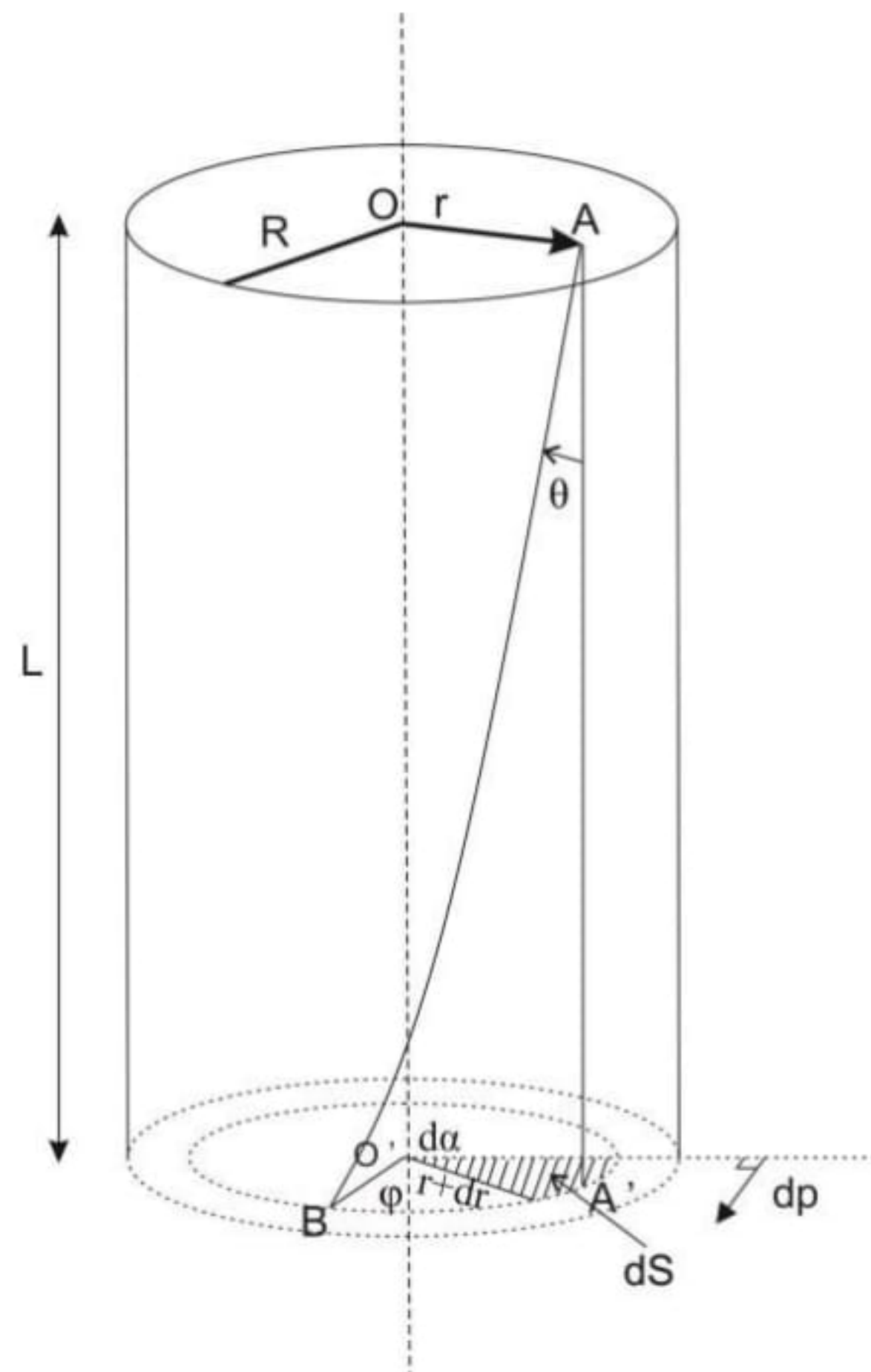


Figure 1 . 1 – Torsion d'une barre cylindrique

Tous les points de la section inférieure passant par O^t tournent alors d'un petit angle ϕ . Soit dS un élément de cette section. Cet élément se trouve au point A^t avant la torsion et au point B après la torsion tel que $O^tA^t = O^tB = r$.

La verticale AA^t passera à la position AB . Le corps subira une déformation de glissement d'un angle θ tel que :

$$\theta = \frac{AB}{L} = \frac{r\phi}{L} \quad (1.1)$$

Nous savons d'autre part que, pour faire glisser un élément de surface dS d'un angle θ ,

il faut appliquer une force égale à :

$$dp = \mu \theta \, dS \quad (1.2)$$

μ est le module de glissement de ce corps.

L'élément de surface dS s'écrit :

$$dS = r \, dr \, d\alpha \quad (1.3)$$

En remplaçant les expressions de θ et de dS dans l'équation 1.2, nous obtenons :

$$dp = \frac{\mu r^2 \phi}{L} \, dr \, d\alpha \quad (1.4)$$

Le moment de cette force, par rapport à l'axe OO^t , s'écrit :

$$dM = r \wedge dp \quad (1.5)$$

Avec r perpendiculaire à dp , l'équation 1.5 devient :

$$dM = \frac{\mu r^3 \phi}{L} \, dr \, d\alpha \quad (1.6)$$

Le moment total agissant sur la section droite inférieure, passant par O^t , vaut alors :

$$M = \int_{r=0}^R \int_{\alpha=0}^{2\pi} \frac{\mu r^3 \phi}{L} \, dr \, d\alpha \quad (1.7)$$

$$M = \frac{\mu \pi R^4 \phi}{2L} \quad (1.8)$$

En notant d le diamètre du fil étudié ($d = 2R$), l'équation 1.8 devient :

$$M = \frac{\mu \pi d^4}{32L} \quad (1.9)$$

D'autre part, nous savons que, dans le domaine de l'élasticité du matériau utilisé, le moment du couple appliqué en un point D est proportionnel à l'angle ϕ :

$$M = C\phi \quad (1.10)$$

La constante de proportionnalité C est appelée constante de rigidité ou de torsion du matériau considéré

Nous déduisons à partir des équation 1.9 et 1.10 que :

$$M = C\phi = \frac{G\pi d^4 \phi}{32L} \quad (1.11)$$

d'où :

$$C = \frac{G\pi d^4}{32L} \quad (1.12)$$

1.2.2 Étude dynamique

La section droite supérieure (Passant par le point O) du fil étant encastrée (fixe), nous fixons à l'autre section droite (Passant par O^t) un système constitué d'une tige en bois horizontale sur laquelle peuvent se fixer 2 masselottes (m) placées systématiquement par rapport à l'axe vertical OO^t

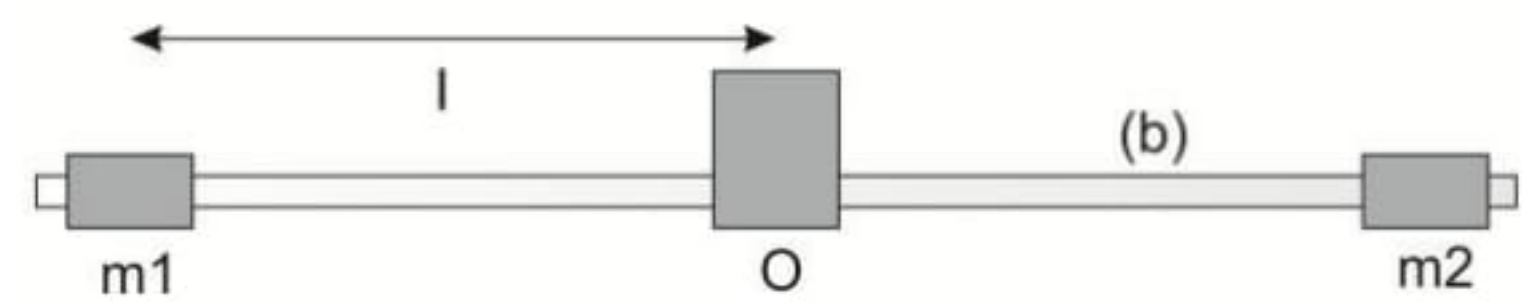


Figure 1 . 2 – Pendule de torsion

Nous provoquons des oscillations du pendule de torsion, ainsi constitué, en lui imprimant des amplitudes d'oscillations assez faibles, c'est-à-dire des angles de torsion faibles, pour que le moment M de la force appliqué soit proportionnel à l'angle de torsion $M = C\phi$.

En appliquant la relation fondamentale de la dynamique de rotation de système, constitué de la tige et des masselottes, nous obtenons l'équation différentielle suivante :

$$M_{/OO^t} = -C\phi = I_{/OO^t} \frac{d^2\phi}{dt^2} \quad (1.13)$$

Où ($C\phi$) est le moment exercé par le fil tordu d'un angle ϕ sur le système (tige + masselottes) : c'est un moment de rappel.

$I_{/OO^t}$ est le moment de rappel d'inertie du système par rapport à l'axe OO^t .

La solution de l'équation différentielle (1.13) donne l'équation du mouvement sinusoïdal de rotation de période :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{/OOI}}{C}} \quad (1.14)$$

Dans cette dernière équation, $I_{/OOI}$ est la somme des moments d'inertie des masselottes $I_{m/OOI}$ et de la tige $I_{t/OOI}$:

$$I_{/OOI} = I_{m/OOI} + I_{t/OOI} \quad (1.15)$$

Dans le cadre de cette manipulation, on négligera le moment d'inertie de la tige devant celui des masselottes :

$$I_{/OOI} \approx I_{m/OOI} = 2ml^2 \quad (1.16)$$

L'expression de la période de oscillations T est alors donnée en fonction de la constante de torsion par :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2ml^2}{C}} \quad (1.17)$$

1.2.3 caractérisation du matériau utilisé

En théorie, la constante de torsion C d'un fil cylindrique se calcule par :

$$C = \frac{\pi R^4}{2L} G \quad (1.18)$$

Où G le module d'élasticité transversale ou module de *Coulomb*.

Le module de *Coulomb* est une caractéristique propre à chaque matériau. il s'exprime en $N.m^{-2}$ et se calcule par :

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (1.19)$$

Où E est le module de *Young* du matériau, et ν est le coefficient de *Poisson*.

On donne :

Matériau	Acier	Cuivre	Aluminium	Laiton
Coefficient de Poisson	0,25	0,35	0,35	0,33

I.3 Travail expérimental

I.3.1 Remarque concernant la manipulation

- En réalisant le montage, faite attention à ce que le fil du matériau à caractériser soit le plus droit possible et parallèle au support rigide du pendule. De plus, il faut que le fil soit bien fixé (serrez bien le vis concernée).
- En utilisant le dynamomètre, vous remarquerez que celui-ci est relativement imprécis dans ses toutes première graduations. Pour palier à cela, évitez dans vos mesures les petites valeurs de forces.
- Nous rappelons, que dans cette manipulation, le calcul d'erreur tient une place importante et que cela doit se refléter non seulement dans vos résultats mais surtout dans le tracé de vos courbes et, plus forte raison, pour les paramètres que vous tirerez de celles-ci.

I.3.2 Étude statique

- Placer le fil d'aluminium de $L = 500\text{mm}$ et $d = 2\text{mm}$ bien verticalement
- A l'aide de la vis située sous le cadran, ajuster sa position pour lire $\phi_{\text{réf}} = 0$
- Faire passer la boucle d'un dynamomètre dans une des pointes de la barre.
- Tirer sur le dynamomètre de la qualité voulue en le maintenant perpendiculairement à (b) pour écarter la barre de sa position d'équilibre et relever l'angle obtenu,

Les intensités des forces à utiliser sont laissées à votre appréciation. Attention cependant à ne pas trop déformer les fils pour ne pas les endommager.

Les angles sont mesurés en degrés mais doivent être exprimés en radians pour les calculs ; de même, les masse sont à convertir en Kg et les distance en m avant de faire les calculs.

1. Tracé la courbe $M = f(\phi)$.
2. Calculer la constante de torsion C pour cette expérience.
3. Déduire la valeur du module de *Young* pour ce matériau.

1.3.3 Étude dynamique

Pour cette étude, on utilise tout d'abord le fil en Aluminium de caractéristiques $L = 500\text{mm}$ et $d = 3\text{mm}$.

Posez les masselottes symétriquement le long de la barre de torsion comme indiqué sur la figure.

Isochronisme des oscillations

Les oscillations sont dites "isochrones" si leur période T ne dépend pas de la déviation initiale imposée au système.

Écarter (b) de sa position d'équilibre d'un angle ϕ à noter, déclencher le chronomètre au moment de lâcher (b) sans vitesse initial et mesurer la durée t que met ce pendule pour décrire **10** périodes. Effectuer la même mesure **3** fois.

Reprendre les mêmes mesures en changeant la position de départ du pendule.

Compléter le tableau de mesure suivant :

t	$\Delta\phi = 20^\circ$	$\Delta\phi = 30^\circ$	$\Delta\phi = 40^\circ$
$t_1[s]$			
$t_2[s]$			
$t_3[s]$			
$t_{moyen}[s]$			

1. Calculer la période d'oscillation moyenne T et ΔT .
2. Calculer la constante de torsion C^t pour cette expérience, ainsi la valeur de G .
3. Déduire la valeur du module de *Young* et la comparer avec la valeur obtenue par la méthode statique et conclure.

Oscillations libres d'un fil en aluminium

On souhaite à présent étudier le comportement de l'Aluminium en utilisant des fils de différentes longueurs et différents diamètres réalisés dans ce même métal.

Pour cela on utilisera la méthode dynamique. On reprendra donc la méthode précédente, en positionnant les masses au même endroit.

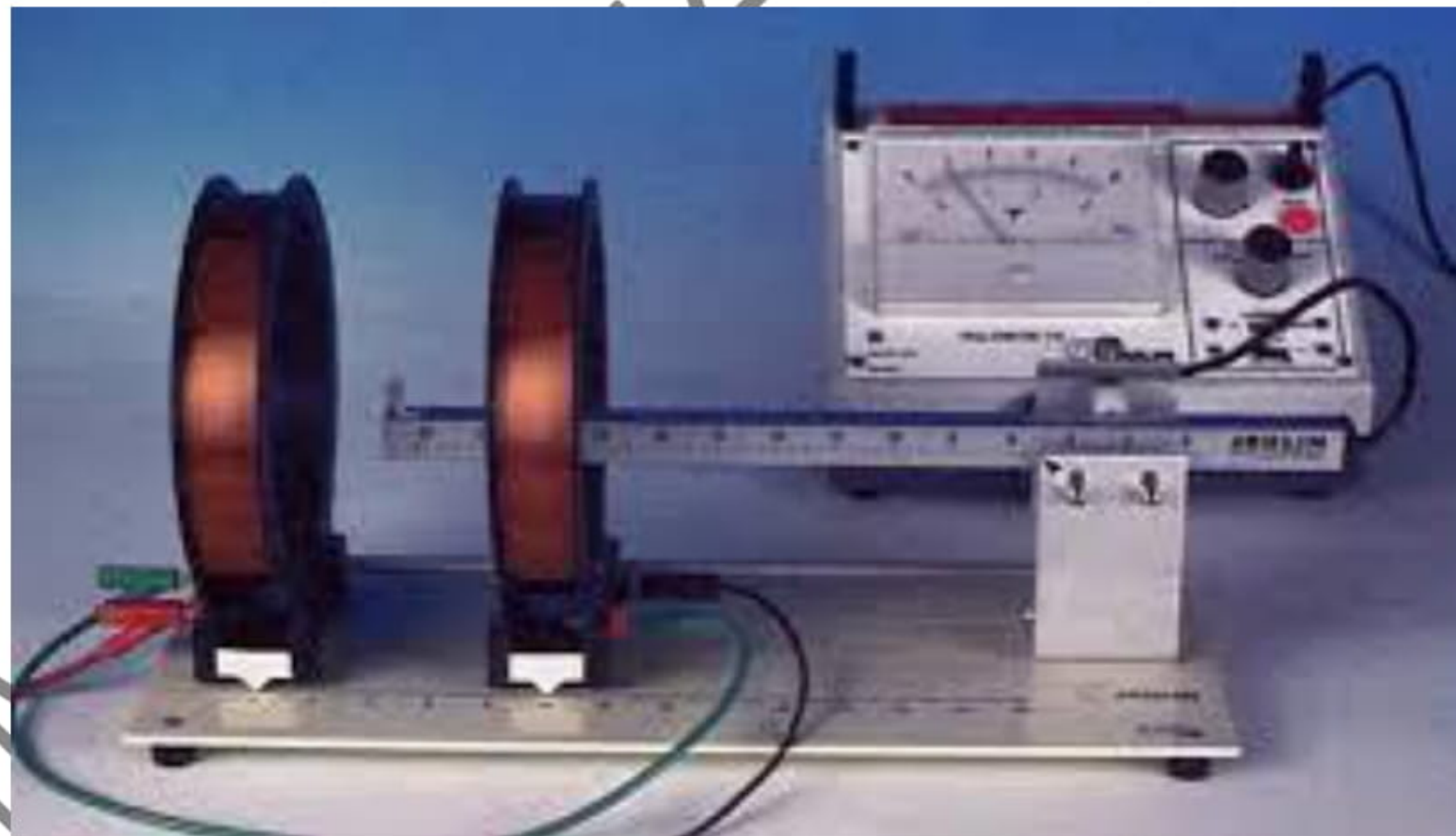
On déterminera ainsi la valeur moyenne du module de *Coulomb* de ce matériau.

Aluminium	$L = 500\text{ mm}$ $d = 2\text{ mm}$ $\Delta\phi = 30^\circ$	$L = 500\text{ mm}$ $d = 3\text{ mm}$ $\Delta\phi = 30^\circ$	$L = 400\text{ mm}$ $d = 2\text{ mm}$ $\Delta\phi = 30^\circ$
$t_1[s]$			
$t_2[s]$			
$t_3[s]$			
$t\text{ moyen}[s]$			
$T [s]$			
$C[Nm/rad]$			
$G[N/m^2]$			

Magnétisme, Étude des bobines

L'objectif de ce TP est d'effectuer une étude expérimentale du champ magnétique produit par un courant circulaire parcourant une, puis deux bobines plates identiques et coaxiales.

2.1 Dispositif expérimental



- Deux bobines plates sur le même support, de $N = 95$ spires, $R = 65\text{mm}$ et d'intensité maximale : 5A
- Un tesla mètre,
- Une alimentation continue variable avec affichage de l'intensité,
- Une aiguille aimantée,
- Une boussole.

2.2 Étude théorique

2.2.1 Notion de champ magnétique

Sources de champ magnétique

1. **Les aimants** : sont des sources permanentes de champ magnétique. Ils sont constitués d'alliages à base de fer ou de certains oxydes de fer de cobalt ou de nickel (ticonal : titane, cobalt, nickel, aluminium). Les formes des aimants sont liées à leur utilisation. L'action magnétique exercée par un aimant est plus importante au niveau de certaines régions appelées pôles de l'aimant. Les pôles d'un aimant ne sont pas séparables : il n'existe pas de monopole magnétique : la plus petite entité magnétique est le dipôle magnétique (association d'un pôle Nord et d'un pôle Sud).
2. **Les courants** : Plaçons une aiguille aimantée au-dessous d'un fil conducteur rectiligne de telle façon que cette aiguille soit parallèle au fil lorsque aucun courant ne le parcourt. Lorsqu'un courant électrique circule, l'aiguille tend à s'orienter perpendiculairement au conducteur. Un conducteur parcouru par un courant électrique crée un champ magnétique en son voisinage.
3. **La Terre** : et pratiquement tous les astres actifs (dont le noyau est en fusion) sont source de champ magnétique. Le "vent solaire", qui est constitué de particules chargées éjectées à très grande vitesse par le Soleil, modifie la topographie du champ magnétique terrestre.

Unité et mesure du champ magnétique

1. **Unité légale** : Dans le système international (S.I.) l'unité légale fondamentale de mesure du champ magnétique est le tesla (symbole T).
2. **Le tesla-mètre** : Lorsque la sonde est "plongée" dans un champ magnétique, il apparaît entre deux de ces faces une faible tension qui est mesurée par un millivolt-mètre. Le millivolt-mètre est gradué directement en teslas. L'ensemble formé de la sonde et du millivolt-mètre constitue un tesla-mètre.
3. **Ordre de grandeur.**
 - La composante horizontale du champ magnétique terrestre vaut $B_H \approx 2 \times 10^{-5} T$.
 - Un aimant permanent produit un champ magnétique de **0,01T** à **0,1 T**.
 - Une bobine de **1000** spires sur **10cm** parcourue par un courant électrique de quelques ampères produit en son centre un champ magnétique $B_{centre} \approx 0,1 T$.

2.2.2 Expressions du champ magnétique

Champ créé par un circuit électrique (formule de *Biot et Savart*)

Soit (C) un circuit filiforme (c'est une modélisation où le fil électrique ne possède qu'une dimension) orienté. Ce fil est parcouru par un courant d'intensité I . M est un point de l'espace.

Si on note $r = \overrightarrow{PM}$ le vecteur position du point M , le champ magnétique élémentaire créé en M est donnée par :

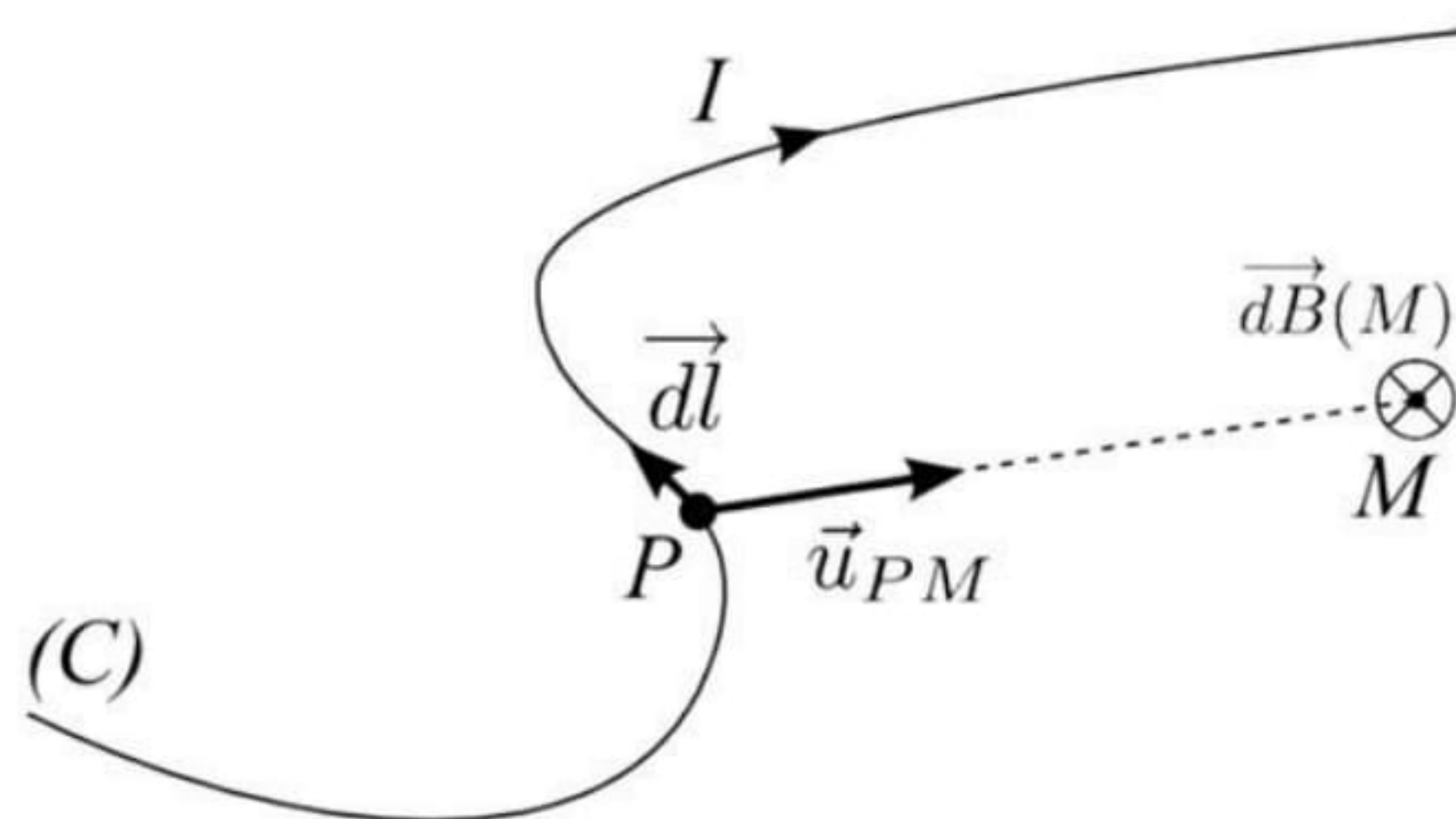


Figure 2 . 1 – Élément de fil conducteur dl parcouru par un courant I et produisant un champ magnétique $B(M)$ au point M

$$dB(M) = \frac{\mu_0 I dl \wedge r}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 I dl \wedge u_r}{4\pi r^2} \quad (2.1)$$

Où μ_0 est la perméabilité du vide de valeur $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} S.I.$

Pour obtenir le champ total produit en un point M , il faut faire la somme de tous les champs élémentaires produits par tous les éléments de fil :

$$B(M) = \int_{P \in (C)} dB(M) = \int_{P \in (C)} \frac{\mu_0 I dl \wedge u_r}{4\pi r^2} \quad (2.2)$$

Champ créé par une spire circulaire et bobine plate

Un exemple classique et important est celui de la spire circulaire parcourue par un courant I .

On cherche à calculer le champ B qu'elle crée sur son axe.

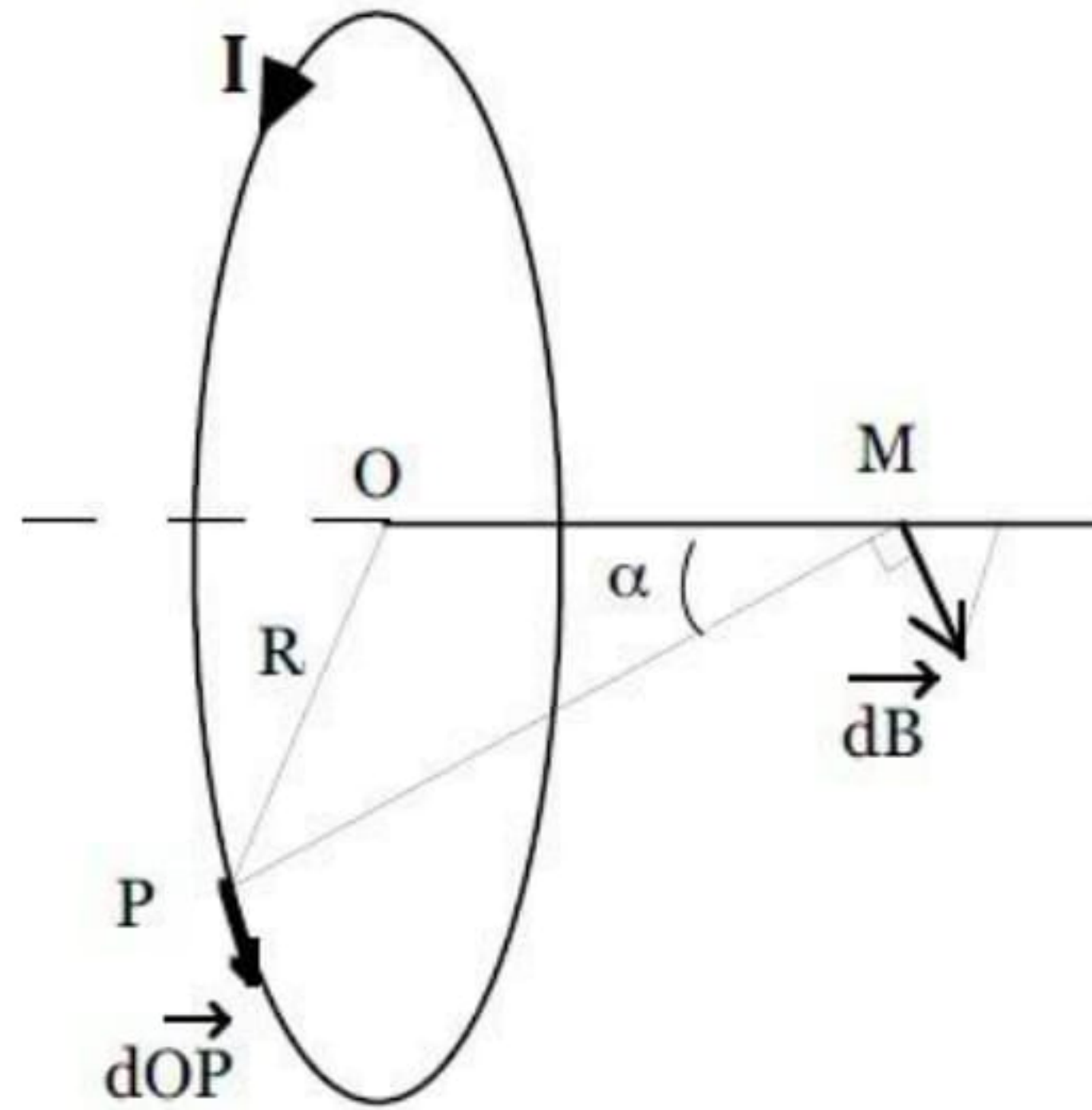


Figure 2 . 2 – Spire circulaire parcourue par un courant I .

Le plan YOZ est un plan d'antisymétrie pour I , donc un plan de symétrie pour B .
Donc sur l'axe z , la composante radiale du champ s'annule et il ne reste qu'une composante selon z .

En projetant la loi de *Biot et Savart* sur z on obtient :

$$dB_z = \frac{\mu_0 I d\vec{OP} \sin \alpha}{4\pi |\vec{PM}|^2} = \frac{\mu_0 I d\vec{OP} \sin^3 \alpha}{4\pi R^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \sin^3 \alpha d\theta \quad (2.3)$$

$$B_z = \int_{spire} dB_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \sin^3 \alpha \int_0^{2\pi} d\theta = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.4)$$

Dans le cas présent où la bobine est plate de N spires, et où son épaisseur peut être négligée, ces équation conduisant à l'expression suivante pour le champ crée par une bobine sur son axe :

$$B(Z) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.5)$$

Champ crée par deux bobines plates

Les bobines d'*Helmholtz* sont constituées de deux bobines parallèles (B_1 et B_2) de rayon R , parcourue par le même courant (même intensité et même sens) et séparée par

une distance d . La bobine B_1 est fixe contrairement à la bobine B_2 , qui est mobile.

Dans cette configuration, les champs magnétiques induits par les deux bobines (B_1 et B_2) s'ajoutent : soit $B = B_1 + B_2$.

Pour calculer la valeur du champ magnétique au centre du dispositif, on fait la somme des champs créés en O par chacune des bobines :

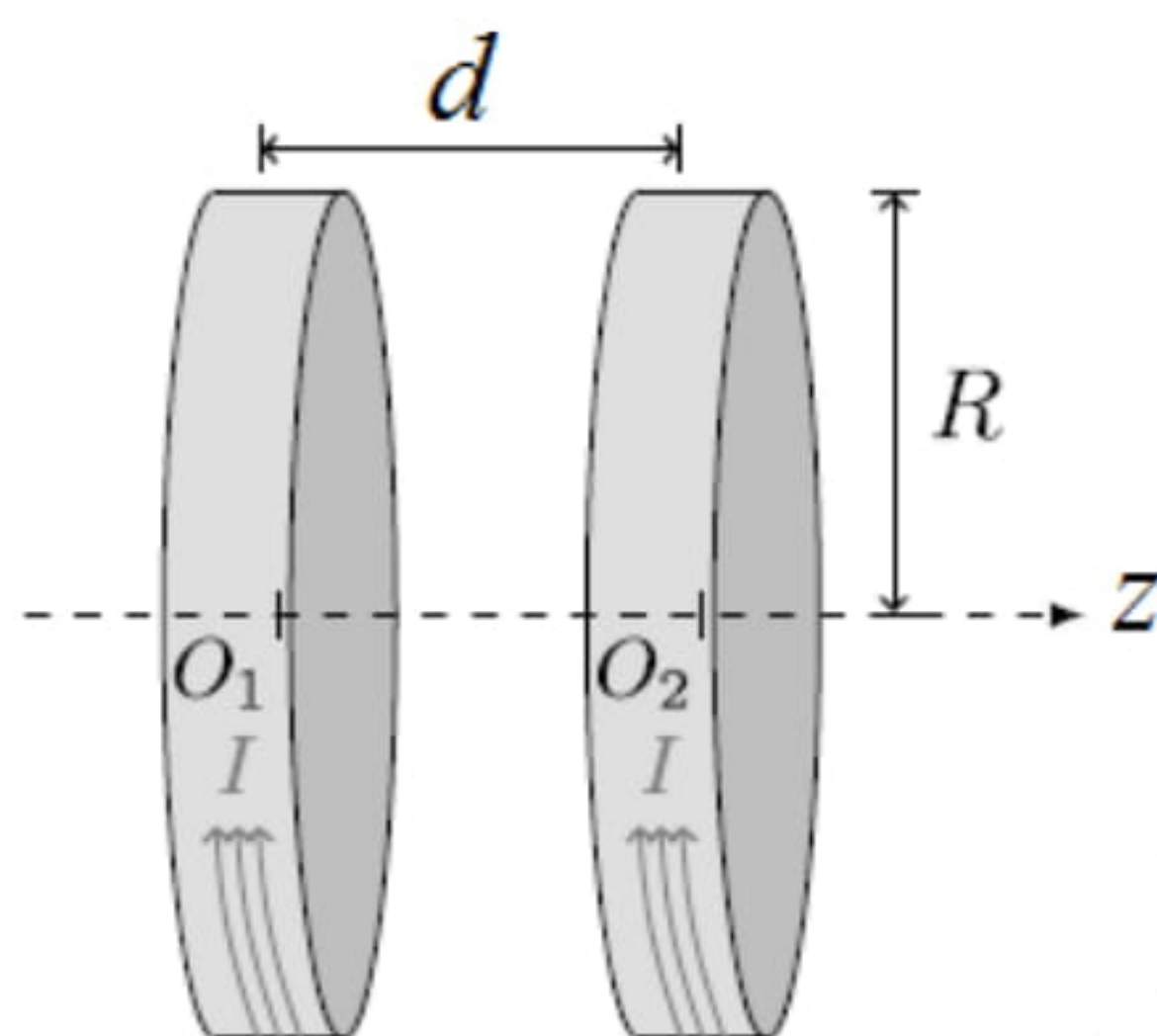


Figure 2 . 3 – Bobines de *Helmholtz*.

$$B(Z) = \left(\frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + (\frac{1}{2}d - z)^2)^{3/2}} \right) u + \left(\frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + (\frac{1}{2}d + z)^2)^{3/2}} \right) u \quad (2.6)$$

2.3 Travail expérimental

2.3.1 Champ magnétique créé par une bobine

L'objectif de cette étude consiste à vérifier la relation 2.5 de manière expérimentale. Branchez la bobine mobile, faites vérifier votre montage par l'enseignant avant de le mettre sous tension.

Dans cette partie, on fixera la valeur $I = 5$ A pour le courant.

1. Mesurez le champ magnétique en différents points de l'axe, puis tracez sa valeur algébrique B en fonction de la position z .

2. Tracez la valeur algébrique B théorique en fonction de la position z . Que pouvez-vous constater ?
Refaire le zéro de tesla-mètre régulièrement.
3. Retrouve-t-on le résultat attendu (qualitativement et quantitativement) ?

2.3.2 Champ magnétique créée par un couplage de deux bobines

On imposera au courant une valeur fixée. Branchez les deux bobines en série, faites vérifier votre montage par l'enseignant avant le mettre sous tension.

1. Après avoir fixé l'écart entre les deux bobines ($d = R$ et $d = 2R$), mesurez en différents points de l'axe le champ magnétique créé, puis tracez sa valeur algébrique B en fonction de la position z .
2. Calculez la valeur théorique de la valeur algébrique B aux point $z = 0$, $z = R/2$ et $z = -R/2$, ($z = R$, $z = -R$)
Refaire le zéro de tesla-mètre régulièrement.
3. Que constatez-vous ? Observez-vous bien les résultats attendus (qualitativement et quantitativement).
4. On pourra traiter les question **1**, **2** et **3** pour les deux cas : $d = R$ et $d = 2R$.

Cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique forme de tige

L'objectif de ce TP est de déterminer le cycle d'hystérésis et la perméabilité d'un matériau ferromagnétique forme de tige.

3.1 Étude Théorique

Les propriétés magnétiques des matériaux jouent un rôle important dans les machines et les appareils électriques comme les moteurs, les transformateurs. Leur rôle est prépondérant dans le stockage de l'information (bande d'enregistrement HiFi, disque dur d'ordinateur) qui se fait par l'intermédiaire d'un substrat doté de propriétés magnétiques spécifiques.

3.1.1 Le magnétisme dans la matière

Sous l'effet d'un champ magnétique extérieur H , il se crée dans les matériaux un champ d'induction magnétique B dont la valeur est donnée par :

$$B = \mu_0 H \quad (3.1)$$

où $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Hm}^{-1}$ est la perméabilité absolue du vide s'exprime en henry par m (Hm^{-1}). L'unité d'induction magnétique est le tesla (T) et le champ magnétique H qui est en général créé par la circulation d'un courant électrique dans un solénoïde, s'exprime en ampère par mètre (Am^{-1}).

L'induction magnétique dans la matière peut également être exprimée par :

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (3.2)$$

M est le vecteur aimantation. Il représente le champ magnétique local induit par le champ magnétique extérieur H .

L'allure générale de la courbe de dépendance de B en fonction de H dans la matière est représentée dans la figure 1. Cette courbe montre que l'induction B tend vers une valeur limite B_s dite valeur de saturation. On distingue deux zones : une zone linéaire **(a)** et une zone de saturation **(b)**.

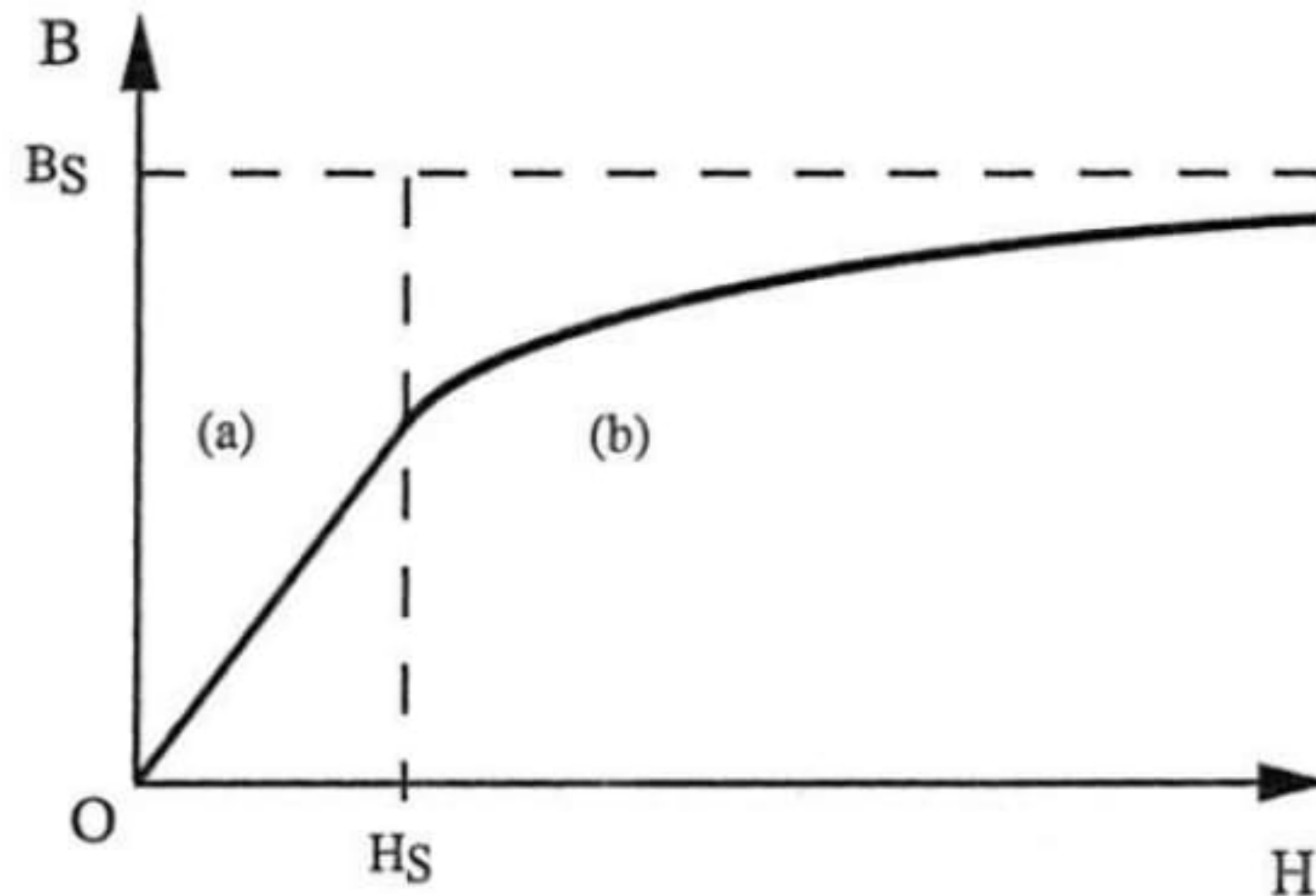


Figure 3.1 – L'induction magnétique en fonction du champ magnétique dans la matière

La zone linéaire ($H < H_s$), on peut écrire :

$$M = \chi_r H \quad (3.3)$$

$$B = \mu_0 H (1 + \chi_r) \quad (3.4)$$

En comparant l'équation 3.3 et 3.4 on obtient, pour la perméabilité magnétique, l'expression suivante :

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_r) \quad (3.5)$$

où χ_r représente la susceptibilité magnétique relative. Cette grandeur, qui est sans dimension, est reliée à la perméabilité relative μ_r par :

$$\mu_r = 1 + \chi_r \quad (3.6)$$

La zone de saturation ($H > H_s$) : Dans cette zone M n'est plus une fonction linéaire de H . On peut cependant définir localement une valeur plus générale μ_r^* de la perméabilité magnétique, en considérant des accroissements de B et H :

$$d|B| = \mu_0 \mu_r^* d|H| \quad (3.7)$$

donc :

$$\mu_r^* = \frac{1}{\mu_0} \frac{d|B|}{d|H|} \quad (3.8)$$

3.1.2 Classification magnétique des matériaux

On peut assimiler la circulation de l'électron sur son orbite à un courant électrique circulant dans une spire. La circulation de l'électron engendre un moment magnétique perpendiculaire au plan de l'orbite. L'intensité de ce moment magnétique est mesurée par le nombre quantique magnétique m_l . De même, la rotation (spin) de l'électron sur lui-même engendre également un moment magnétique qui est quantifié par le nombre magnétique de spin m_s qui peut prendre deux valeurs distinctes ($+\frac{1}{2}$ et $-\frac{1}{2}$) quand $m_s = +\frac{1}{2}$, le moment magnétique est parallèle au champ magnétique. Si $m_s = -\frac{1}{2}$, le moment magnétique est orienté dans une direction opposée à celle du champ magnétique.

À l'état solide, ce sont seulement les atomes qui auront une couche électronique interne incomplète qui ont un moment magnétique permanent, car la couche électronique externe (électron de valence) est complétée par les électrons de valence des atomes voisins.

Suivant leur nature, on peut diviser les matériaux en cinq comportements magnétiques très différents :

- diamagnétique,
- paramagnétique,
- ferromagnétique,
- antiferromagnétique,
- ferrimagnétique.

Les matériaux diamagnétiques

On appelle diamagnétiques les substances qui présentent une aimantation M proportionnelle au champ H dans lequel elles sont placées et de sens opposé à celui-ci. La susceptibilité de ces corps est négative et faible, de l'ordre de 10^{-6} , c'est-à-dire que la substance s'aimante en sens inverse du champ magnétisant.

Les matériaux paramagnétiques

On appelle paramagnétiques les substances qui présentent une aimantation M proportionnelle au champ H dans lequel elles sont placées et de même sens que lui. Pour ces substances, χ_r est positive et faible et de l'ordre de (10^{-6}).

Les matériaux ferromagnétiques

Tous les dipôles sont alignés de manière parallèle dans les différents domaines, la perméabilité magnétique reste très élevée ($10^3 < \chi_r < 10^6$).

Les matériaux antiferromagnétiques

Les moments magnétiques atomiques sont égaux et se disposent suivant un mode antiparallèle. Ces matériaux ne possèdent jamais de moment magnétique permanent et leur susceptibilité est faible.

Les matériaux ferrimagnétiques

Les moments magnétiques des atomes sont inégaux et forment des domaines où ils sont alignés de manière antiparallèle.

3.1.3 Cycle d'hystérésis

Le cycle d'hystérésis est la courbe de réponse des matériaux magnétiques, à travers laquelle, ils gardent la mémoire de tous leurs états d'aimantation antérieurs par l'intermédiaire des domaines élémentaires.

Supposons un barreau ferromagnétique qui n'a jamais été aimanté et traçons la courbe d'induction B en fonction du champ H .

Partant d'un champ nul $\mathbf{0}$, l'induction apparaît avec un certain retard. Elle augmente ensuite rapidement, puis de moins en moins vite. Si l'on augmente encore l'intensité du champ, on constate que l'induction conserve une valeur stable à partir d'un certain état : c'est **le phénomène de saturation**. Nous obtenons ainsi la branche OA qui est **la courbe de première aimantation**.

Diminuons progressivement le champ magnétique H jusqu'à $\mathbf{0}$ où il devient nul. L'induction diminue en même temps, mais elle ne reprend pas au cours de cette période décroissante du courant les mêmes valeurs qu'elle avait pendant sa période croissante : on constate qu'elle n'est plus nulle. L'induction possède encore la valeur B_r qui représente **l'aimantation rémanente**. C'est cette aimantation rémanente qui fait qu'un barreau ferromagnétique qui a été placé dans un champ magnétique conserve une certaine aimantation.

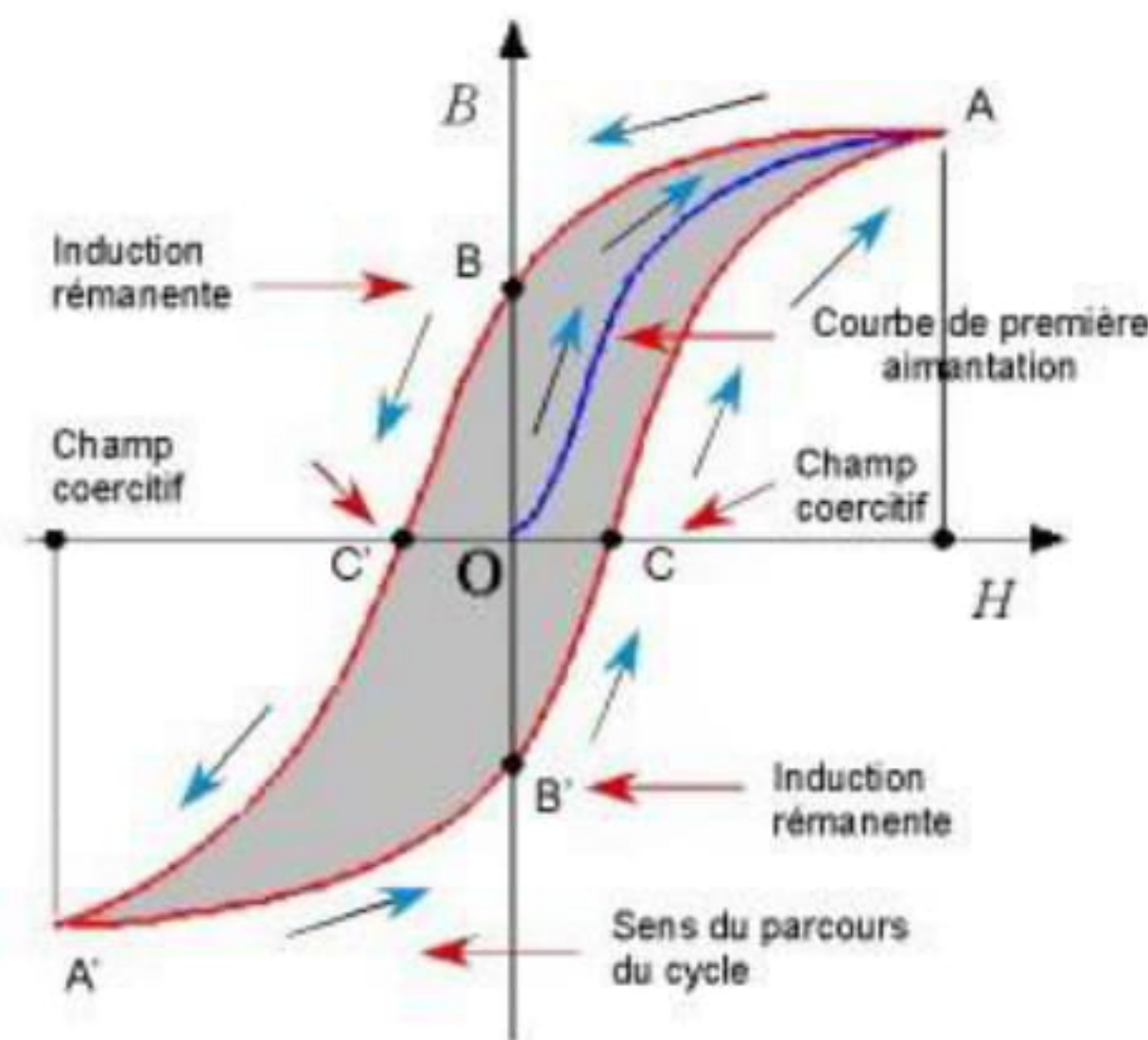


Figure 3 . 2 – Cycle d'hystérésis

En inversant le sens du courant, c'est-à-dire le sens du champ magnétisant, nous tracerons ainsi la branche BC^tA^t . Au point C^t l'induction est nulle. La valeur OC représente **la force coercitive** appelée également **Champ coercitif**. Le champ coercitif représente donc la valeur du champ magnétique nécessaire pour ramener à 0 l'induction rémanente en un point d'un corps magnétique lorsque celui-ci a été soumis à un nombre suffisant de cycles d'aimantation.

Un aimant est intéressant lorsque sa force coercitive et son intensité d'aimantation sont élevées. Toutefois un fort magnétisme rémanent reste sans intérêt lorsque le champ coercitif est faible. L'aimant que l'on pourrait constituer serait puissant mais le moindre champ inverse le démagnétiserait.

En faisant décroître de nouveau le champ jusqu'à 0, l'aimantation diminue jusqu'à une valeur représentée par OB^t qui est l'aimantation rémanente. Le courant changeant alors de sens (B^tC), l'aimantation rémanente est détruite. Puis le courant augmentant, l'aimantation croît jusqu'à A suivant la courbe CA, nous ramenant ainsi au point de départ.

3.2 Travail expérimental

3.2.1 Remarque concernant la manipulation

- Lorsqu'on place un barreau ferromagnétique, jamais soumis auparavant à un champ magnétique, à l'intérieur d'un solénoïde, dont la longueur L est grande par rapport à son diamètre, pour un nombre de spires N , ce barreau de fer

s'aimante : le champ magnétique de ce solénoïde est alors bien supérieur à celui qu'on obtiendrait dans un solénoïde vide.

$$H = \frac{N}{L} I \quad (3.9)$$

- Si le barreau ferromagnétique possède déjà une aimantation rémanente, il faut le désaimanter, en faisant circuler à travers les spires du solénoïde un courant alternatif.
- Quand vous êtes sur un courant **I** (par exemple **300 mA**), NE RETOURNEZ JAMAIS AU COURANT PRÉCÉDENT.

3.2.2 Montage expérimental et mode opératoire

On peut voir sur la figure le schéma électrique du montage expérimental. Le but est de pouvoir alimenter la bobine avec un courant continu depuis **0 A** jusqu'à **2 A**, avec possibilité d'en changer le sens.

1. On mesure directement le courant **I** la valeur du champ magnétique **B** avec le Tesla-mètre
2. Tracez le cycle d'hystérésis $B=f(I)$.
3. Observez les domaines de saturation, l'existence d'une aimantation rémanente et d'un champ coercitif.

Diélectrique dans un condensateur à plaque

L'objectif de ce TP est de mesurer statique la tension V sur un condensateur à plaque pour différents diélectriques avec écart de plaque fixe d et la définition des constantes de diélectricité ϵ_r de différents matériaux.

4.1 Dispositif expérimental

- Condensateur à plaque $d = 260 \text{ mm}$ et $S = 0.0531 \text{ m}^2$,
- Alimentation 300 V,
- Amplificateur électromètre,
- Condensateur 228 nF,
- voltmètre,
- Commutateur inverseur,
- Câbles d'expérience.



4.2 Étude Théorique

4.2.1 Définition

les isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée, car il contiennent très peu d'électrons libres. Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension continue.

4.2.2 Caractéristiques diélectrique des isolants

Un diélectrique est un matériau non conducteur ou faiblement conducteur, sans porteur de charge à déplacement libre, qui est traversé par un champ électrique. Il peut s'agir d'un gaz, d'un liquide ou d'un solide. Le condensateur à plaques est le type de condensateur le plus simple, il est constitué de deux conducteurs placés à proximité l'un à l'autre, mais sans qu'il y ait contact entre eux. Les conducteurs permettent d'emmagasiner des charges électriques.

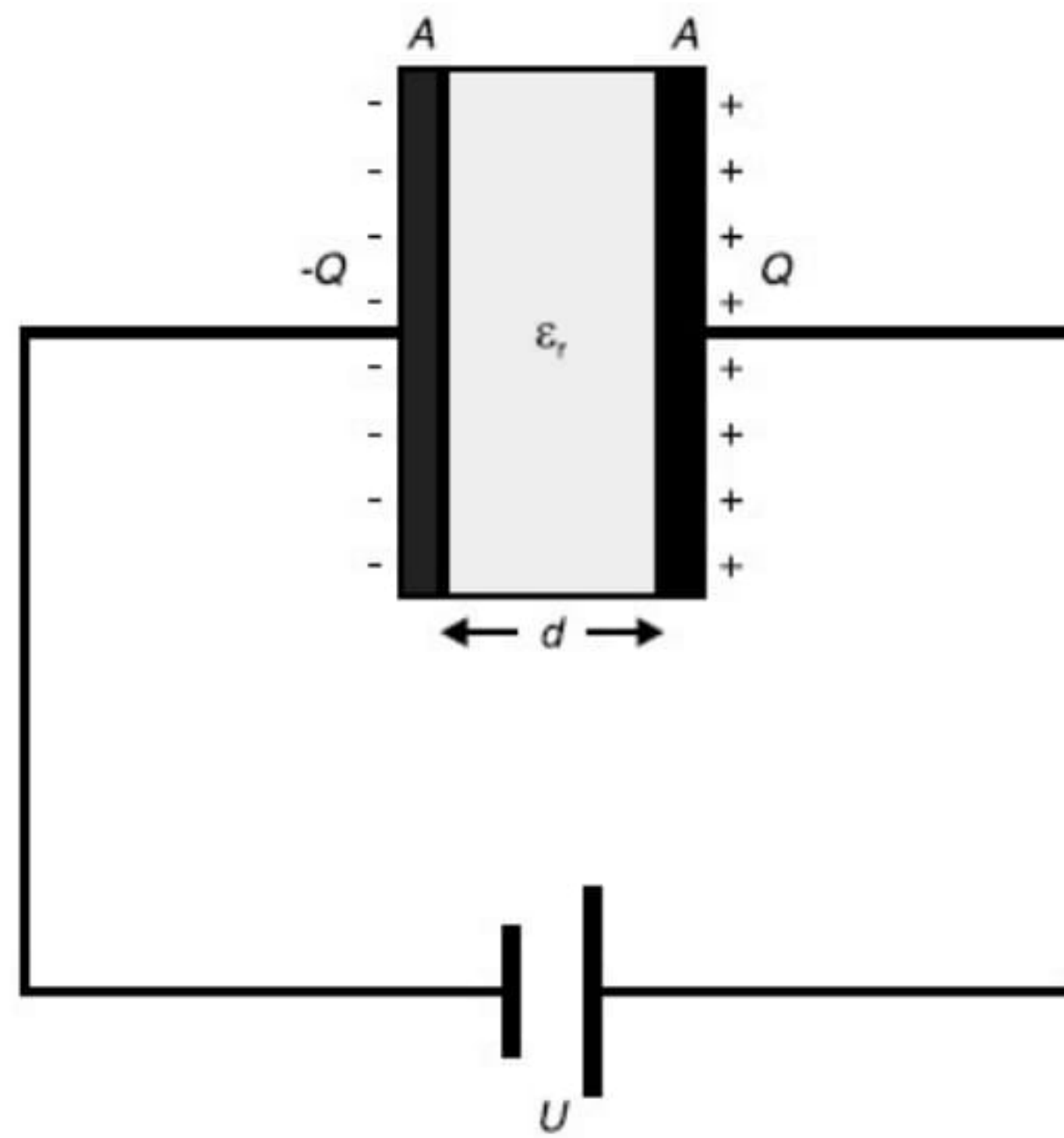


Figure 4 . 1 – Condensateur à plaque de distance d

Si une différence de potentiel U est établie entre deux conducteurs semblables, ils acquièrent une charge égale et opposée de $+Q$ et $-Q$, respectivement. Pour un condensateur donné, la quantité de charge Q sur chaque conducteur est proportionnelle à la différence de potentiel entre les conducteurs.

$$Q = C.U \quad (4.1)$$

La constante de proportionnalité C est appelée la capacité du condensateur. L'unité SI de la capacité est le **Farad** (F) qui vaut un **Coulomb** par volt (C/V).

4.2.3 La constante de diélectricité

La constante de diélectricité ou permittivité relative ϵ_r du diélectrique est indiquée par la relation entre le champ électrique E et le déplacement diélectrique D :

$$D = \epsilon_r.\epsilon_0.E \quad (4.2)$$

Avec

- $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{V \cdot s}{A \cdot m}$ permittivité du vide,
- ϵ_r permittivité relative $\epsilon_r = 1$ pour l'air et le vide.

Si un diélectrique est placé entre les plaques d'un condensateur à plaque, la capacité du condensateur est donnée par la relation suivante :

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \quad (4.3)$$

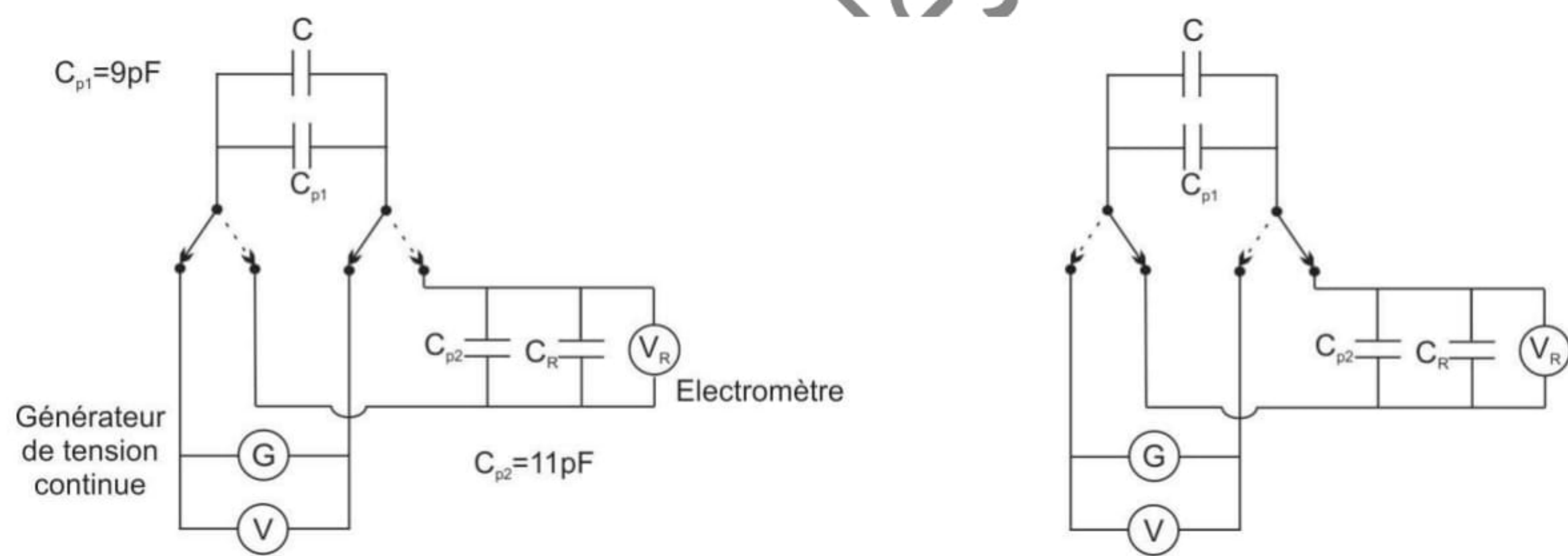
Avec

- S : La surface de la plaque,
- d : l'écart de la plaque.

4.3 Travail expérimental

4.3.1 Montage

Le montage expérimental est illustré sur la fig. 2



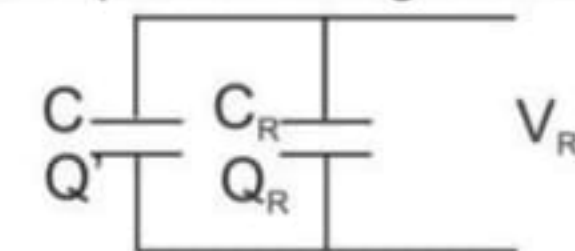
La charge du condensateur

La décharge du condensateur



C: Capacité inconnue
 C_R : Capacité de référence

Liaison de la capacité chargée avec la capacité C_R sans charge



A l'écart de l'équilibre on a:
 $Q' = C \cdot V_R$
 $Q_R = C_R \cdot V_R$
 $Q = Q' + Q_R$ (Conservation de la charge)

Figure 4 . 2 – Charge et décharge du condensateur

On a :

$$\begin{aligned} C &= \frac{Q}{V} \\ \Rightarrow Q &= \frac{Q}{V} \cdot V_R + C_R V_R \Rightarrow Q = \left(1 - \frac{V_R}{V} \right) = C_R V_R \\ \Rightarrow Q &= \frac{C_R \cdot V_R}{1 - \frac{V_R}{V}} = \frac{C_R \cdot V_R}{\frac{V - V_R}{V}} = \frac{C_R \cdot V_R}{V - V_R} \cdot V \end{aligned}$$

donc

$$Q = \frac{C_R \cdot V_R}{V - V_R} \cdot V$$

Si $V \gg V_R$

$$Q = C_R \cdot V_R$$

donc

$$C = C_R \cdot \frac{V_R}{V}$$

- Monter la paire de petites plaques ($S = \mathbf{0,0531 m^2}$) et utiliser les entretoises pour régler une distance entre les plaques.
- Relier le pôle négatif de l'alimentation à la plaque de droite et à la masse de l'amplificateur électromètre.
- Relier le pôle positif de l'alimentation à la douille B du commutateur inverseur.
- Relier la douille A du commutateur inverseur à la plaque de gauche et la douille C à l'entrée de l'amplificateur électromètre.
- Enficher le condensateur de référence $C_R = \mathbf{228 nF}$ sur l'amplificateur électromètre et brancher le voltmètre à la sortie.
- Brancher le deuxième voltmètre pour la mesure de la tension V_R à la sortie de l'alimentation.

4.3.2 Mesure de la permittivité du vide

- Régler la tension $V = 300 \text{ V}$.
- Utiliser les entretoises pour régler une distance entre les plaques $d = \mathbf{5 mm}$.
- Établir la liaison avec le commutateur inverseur et décharger le condensateur à plaques.
- Réduire successivement la distance entre les plaques avec un pas de $\mathbf{0,5}$, charger le condensateur et mesurer la tension pour chaque écartement des plaques.

Compléter le tableau de mesure suivant :

$d(mm)$	$\frac{1}{d}$	$\zeta = \frac{C_R \cdot V_R}{V}$	$C = \zeta - C_{P2}$	$\epsilon_0 = \frac{C \cdot d}{S}$
1				
1,5				
5				

1. Tracé la courbe $C = f(d)$.
2. Tracé la courbe $C = f(\frac{1}{d})$.
3. Calculer la pente de la courbe $C = f(\frac{1}{d})$.
4. Déduire la valeur de la permittivité du vide ϵ_0 et $\Delta\epsilon_0$.

4.3.3 Mesure de la permittivité relative d'une plaque de plastique (Radiographie)

- Placer la plaque de plastique (Radiographie) entre les deux grandes plaques en veillant à ce que les plaques du condensateur soient bien en contact avec toute la surface de cette plaque de plastique.
- Régler la tension $V = 300$ V.

1. Mesurer V_R .
2. Déduire la valeur de la permittivité relative ϵ_r et $\Delta\epsilon_r$.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \frac{C_R \cdot V_R \cdot d}{V \cdot S}$$