

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8 mai 1945 – Guelma

FACULTE DES MATHÉMATIQUES, INFORMATIQUE ET SCIENCES DE LA MATIÈRE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIÈRE



## **Polycopié de Travaux Pratiques**

# **Electricité, Onde et Electromagnétisme**

**Niveau : 1<sup>ère</sup> année Licence Professionnalisante**

***Protection des Réseaux Electriques***

***Année 2020 /2021***

**Présenté par :**  
**Dr : Fartas Reda**

## Sommaire

Programme détaillé de module .....	5
Grandeurs et unités .....	7
Constantes universelles .....	7
<i>Introduction</i> .....	8
TP N° 0 .....	9
I : Calcul d'erreur dans la mesure physique : .....	9
I. 1: Erreurs .....	9
I. 2: Différents types d'erreurs .....	9
I. 3: Incertitudes .....	9
I. 4: Règles de calcul des incertitudes .....	10
I. 5: Approche statistique .....	12
II : Travail pratique sur un modèle de compte –rendu concernant l'allongement d'un ressort auquel on suspend une masse. ....	12
II.1 : but de l'expérience .....	12
II. 2: Rappel théorique .....	13
II. 3: Partie expérimentale (manipulation) .....	13
III : Travail pratique sur un exemple physique : la loi d'Ohm. ....	16
III. 1: But de l'expérience .....	16
III. 2: Manipulation et mesure .....	16
III. 2. 1: Exemple : Mesure directe de résistance.....	16
III. 2. 2: Mesure indirecte d'une résistance.....	17
TP N° : 1 .....	19
Intitulé : Lois de Kirchhoff et association des résistances .....	19
I : But de l'expérience.....	19
II : Rappel théorique .....	19
II. 1: Loi d'Ohm.....	19
II. 2: Association de résistances.....	19
II.3: Lois de Kirchhoff .....	19
II. 4 : Exploitation des appareils de mesures .....	22
II. 5 : Détermination des valeurs des résistances (code des couleurs) .....	22
III: Etude expérimentale du TP 1 .....	24
III. 1: Manipulation 1 (mesure d'une résistance).....	24
III. 1. 1: Equipements requis pour l'expérience.....	24
III. 1. 2: Manipulation 2 Association de résistances en série.....	26
III. 2: Manipulation 3 (Association en parallèle).....	25
III. 3: Manipulation 4 Loi des mailles .....	26
III. 4: Manipulation 5 Loi des nœuds.....	29
TP N° : 2 .....	30
Intitulé : Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance .....	30

I. But de l'expérience :	30
II. Rappel théorique	30
II. 1: Charge d'un condensateur	30
II. 2: Décharge d'un condensateur	33
III. : Appareillage utilisé et photographie de la figure 2	54
IV. 1: Manipulation 1 Charge d'un condensateur	34
III.2: Manipulation 2 Décharge d'un condensateur	35
TP N° : 3	36
Intitulé : Manipulation d'un Oscilloscope	36
I: But de l'expérience	36
II : Rappel théorique	36
II. 1: Description de l'oscilloscope	36
II. 2: Principe de fonctionnement de l'oscilloscope	38
II. 3 : Mesure de tension.	368
II. 4 : Mesure de fréquence	368
II. 5 : Mesure du déphasage entre deux signaux	368
III : Etude expérimentale	39
III. 1: Appareillage utilisé	40
III. 2: Détail des commandes de l'oscilloscope	40
III. 3: Manipulations mesure de tensions et période	41
III. 3.1: Exemple pratique	41
III. 3. 2: Mesure de tensions continues	41
III. 3. 3: Mesure de tensions alternative	42
III. 3. 4 : Mesure de fréquences	43
III. 3. 5 : Mesure de déphasage	424
TP N° :4	45
Intitulé : Circuit Electrique RLC En Régime Libre Et Forcé	45
I: Buts de l'expérience.	457
II: Rappel théorique.	45
II. 1: Principe de l'expérience	45
II. 2: Circuit RLC en régime libre.	45
II. 2: Circuit RLC en régime libre.	51
III: Etude expérimentale	51
III. 1: Appareillage utilisé et description du dispositif	51
III. 2: Manipulation 1 (Oscillations amorties)	52
III. 3: Manipulation II	52
TP N° : 5	54
Intitulé : Force de Laplace (Balance de Cotton)	54
I: Buts de l'expérience	54
II: Rappel théorique	54
II. 1: Loi de Lorentz	54

II. 2 : Force de Laplace .....	54
II. 3 : Description de la balance de Cotton.....	57
III. : Etude expérimentale .....	568
III. 1: Appareillage et montage de l'expérience: .....	568
III. 2 : Caractéristiques de la force de Laplace (Manipulation 1) .....	589
III. 3 : Mesure de la force de Laplace en fonction de l'intensité de courant parcourant la boucle (Manipulation 2).....	60
III. 4 : Etude de la variation de la force de Laplace en fonction de la longueur de la boucle (Manipulation 3).....	62
III. 5 : Etude de la variation de la force de Laplace en fonction de l'intensité du courant $I_M$ parcourant la bobine (Manipulation 4).....	62
TP N° : 6 .....	613
Intitulé : Etude du pendule Simple.....	613
I : Buts de l'expérience .....	613
II : Rappels théoriques .....	613
III: Etude expérimentale .....	624
III. 1: Principe de l'expérience.....	624
III. 2: Appareillage utilisé et description expérimentale.....	624
III. 3 : Variation de la période T des oscillations du pendule en fonction de la longueur L (Manipulation 1) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 5
III. 4 : Variation de lapériode T en fonction de l'angle $\theta$ Manipulation 2.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 5
Références .....	659

## Programme détaillé de module

<b>UEF 1.2</b>	<b>Type de l'UE Fondamentale</b>	<b>58h30</b> <b>1h30 Cours 1h30 TD 1h30 TP</b>
<b>5 crédits</b>	<b>Module</b> <b>Electricité Ondes et</b> <b>Electromagnétisme</b>	<b>Semestre 1</b>
<b>Objectifs :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Donner des connaissances de base, en électricité et électromagnétisme, à l'étudiant qui vont lui permettre d'affronter avec aisance les autres matières de spécialité.</li> </ul>		
<b>Enseignant responsable du module : Dr. MOKHTARI Liamine</b>		
<b>Compétences visées :</b> Être capable de : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les grandeurs physiques.</li> <li>- Comprendre et analyser Phénomènes de propagation des ondes</li> <li>- Avoir des connaissances de base en électromagnétisme pour comprendre plus tard le principe de fonctionnement des équipements et machines électriques.</li> </ul>		
<b>Prérequis :</b> Physique enseignée au lycée		
<b>Contenus et compétences associées</b>		<b>Niveau d'acquisition</b>
<b>Rappels mathématiques :</b> 1- Eléments de longueur, de surface, de volume dans des systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques, sphériques. 2- Dérivées et intégrales multiples.		3
<b>Chapitre 1 : Electrostatique :</b> 1.1. Charges et champs électrostatiques. 1.2. Potentiel électrostatique. 1.3. Dipôle électrique. 1.4. Flux du champ électrique. 1.5. Théorème de Gauss. 1.6. Conducteurs en équilibre. 1.7. Pression électrostatique. 1.8. Capacité d'un conducteur et d'un condensateur.		3
<b>Chapitre 2 : Electrocinétique :</b> 2.1. Conducteur électrique. 2.2. Loi d'Ohm. 2.3. Loi de Joule. 2.4. Les Circuits électriques. 2.5. Application de la Loi d'Ohm aux réseaux. 2.6. Lois de Kirchhoff.		3
<b>Chapitre 3 : Phénomènes de propagation à une dimension</b> 3.1. Généralités et définitions de base 3.2. Equation de propagation 3.3. Solution de l'équation de propagation 3.4. Onde progressive sinusoïdale 3.5. Superposition de deux ondes progressives sinusoïdales.		2

<b>Chapitre 4 : Cordes vibrantes</b> 4.1. Equation des ondes 4.2. Ondes progressives harmoniques 4.3. Oscillations libres d'une corde de longueur finie 4.4. Réflexion et transmission.	2
<b>Chapitre 5 : Ondes acoustiques dans les fluides</b> 5.1. Equation d'onde 5.2. Vitesse du son 5.3. Onde progressive sinusoïdale 5.4. Réflexion-Transmission.	2
<b>Chapitre 6 : Electromagnétisme :</b> 6.1. Définition d'un champ magnétique. 6.2. Force de Lorentz. 6.3. Loi de Laplace. 6.4. Loi de Faraday. 6.5. Loi de Biot et Savart. 6.6. Dipôle magnétique.	3
<b>Chapitre 7 : Compatibilité Electromagnétiques</b> 7.1. Equation d'onde 7.2. Réflexion-Transmission 7.3. Différents types d'ondes électromagnétiques.	2
<b>Modalités de mise en œuvre : Cours et TD et TP :</b> TP N 1 Loi de Kirchhoff et association des résistances TP N 2 Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance TP N3 Manipulation d'un oscilloscope TP.N4 Pendule simple TP.N5 Circuit électrique oscillant en régime libre et forcé TP N6 force de Laplace (balance de Cotton)	
<b>Référence :</b> 1. L.Thoma, Nessi. Physique, Vol. 1. 200 méthodes, 150 exercices corrigés. Ellipses. 2. L.Thoma, Nessi. Physique, Vol. 2. 200 méthodes, 70 exercices corrigés. Ellipses. 3. Christian. Frère. Physique des ondes 2° Année PC-PC* -PSI -PSI*: Exercices corrigés.Ellipses. 4. Emile Amzellag. La physique en fac ondes électromagnétiques et milieux. Dunod. 5. J. M. Brébec. Physique 1ère année MPSI PCSI PTSI : Exercices et problèmes. Hachette.	
<b>Prolongements possibles : Mécanique de point</b>	
<b>Mots clés : Charge, potentiel, dipôle, vibration, ondes, réflexion, transmission ... etc</b>	

## Grandeurs et unités

Grandeur		Unité	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
Vecteur Force	$\vec{F}$	Newton	N
Vecteur Tension de fil	$\vec{T}$	Newton	N
Poids (force de pesanteur)	$\vec{P}$	Newton	N
Ecart type	$\delta_{rms}$	Unité arbitraire	u.a.
Incertitude absolu	$\Delta x$	Unité arbitraire	u.a.
Résistance, ou rayon de la spire	R, r	Ohm, mètre	$\Omega$ , m
Infrarouge	IR		
Déphasage	radian	Radian	rad
Pulsation	$\omega$	Radian/seconde	rad/s
Inductance	L	Henry	H
Vecteur champ magnétique	$\vec{B}$	Tesla	T
Vecteur champ électrique	$\vec{E}$	Volt /mètre	$V.m^{-1}$
Vecteur vitesse	$\vec{v}$	Mètre /seconde	m/s
Section d'un fil	S	Mètre carré	$m^2$
Temps	t	Seconde	s
période	T	Seconde	s
Constante de raideur	k	Newton/mètre	N/m
Moyenne arithmétique	$\bar{x}$	Unité arbitraire	u.a.
Tension aux bornes d'un dipôle électrique	U	Volt	V
Capacité de condensateur	C	Farad	F
Tension aux bornes du condensateur	U	Volt	V
Charge électrique	q	Coulomb	C
force électromotrice d'un générateur	$E$	Volt	V
Constante de temps	$\tau$	Seconde	s
Accélération	$\vec{\gamma}$	Mètre /seconde carré	$m/s^2$
accélération angulaire	$\ddot{\theta}$	Rad/seconde carré	$rad/s^2$
vitesse angulaire	$\dot{\theta}$	Rad/seconde	rad/s
Accélération de pesanteur	g	Mètre/seconde	m/s
Fréquence	f	Hertz	Hz

## Constantes universelles

Grandeur	symbole	Valeur	Unité
Accélération de pesanteur	g	9,81	$m.s^{-2}$
Charge électrique d'un électron	e	$1,602177 \cdot 10^{-19}$	C (Coulomb)
Constante de Faraday	F	96485	C (Coulomb)
Electron-volt	eV	$1,602177 \times 10^{-19}$	J (Joule)
Constante coulombienne	k	$8,99 \cdot 10^9$	$N.m^2.C^{-2}$

## ***Introduction***

Le présent polycopié de travaux pratiques (TP) est destiné aux étudiants de première année Licence professionnalisante en protection des réseaux, faisant partie du Domaine Sciences et Technologie, Filière Electronique. Ce polycopié a pour objectif de fournir aux étudiants concernés un document de travail qui va les aider à bien assimiler aussi bien le contenu du TP que les différentes étapes de réalisation de la manipulation.

Un tel document est indispensable **pour** faire initier chaque expérimentateur à bien manipuler les différents appareillages composant le TP en question. Il touche principalement des manipulations d'électricité, d'oscillations électriques et mécaniques.

Son programme est détaillé comme suit.

TP N° 1 : Loi de Kirchhoff et association des résistances

TP N° 2 : Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance

TP N° 3 : Manipulation d'un oscilloscope

TP N° 4 : Circuit électrique oscillant en régime libre et forcé

TP N° 5 : Force de Laplace (Balance de Cotton)

TP N° 6 : Pendule simple

Afin de bien élucider son TP, l'étudiant est tenu de présenter son compte-rendu conformément au modèle proposé au TP 0 qui précède les différentes manipulations.

Dans ce TP préliminaire, (noté TP 0), l'étudiant présentera ses résultats de mesures avec un calcul d'erreur selon une formulation prédéfinie. Comme il s'agit de la rédaction d'un compte rendu de TP, l'étudiant apprendra progressivement au fil des années à rédiger tout type de rapport d'ordre technique dans l'entreprise professionnelle.

---

## Calculs d'erreur dans les mesures physiques, Modèle de compte-rendu de travaux pratiques

---

### I : Calcul d'erreur dans la mesure physique

#### I. 1 : Erreurs

Lorsqu'on fait la mesure d'une grandeur physique  $X$ , cette valeur n'est jamais exacte. L'erreur est définie par la soustraction entre la valeur mesurée  $X_m$  et la valeur  $X_v$ . La vraie valeur est inconnue (on souhaite à la déterminer). Cette erreur pourrait être positive ou négative. **Pour une grandeur physique donnée, l'erreur est inconnue et elle est définie par la relation suivante :**

$$\delta X = X_m - X_v \quad (1)$$

#### I. 2 : Différents types d'erreurs

##### a) Erreurs systématiques :

L'utilisation d'un appareillage de mesures avec un étalonnage non précis, une insuffisance de calibrage et / ou une modélisation incomplète provoque l'existence d'erreurs dites *systématiques*. Cette erreur est constante en grandeur et en signe. Une telle erreur est également corrigable en fonction de la vétusté de l'appareillage et au bon choix du montage.

##### b) Erreur aléatoire :

Lorsqu'on effectue une série de mesures d'une grandeur physique, le plus souvent, on trouve des valeurs assez proches. L'erreur aléatoire se produit généralement suite à une mauvaise précision due à un angle d'observation inadéquat ou à tout geste inapproprié. C'est une erreur inévitable. Pour atténuer ce type d'erreur, on doit répéter la mesure plusieurs fois et en prendre *la moyenne*.

#### I. 3 : Incertitudes

##### a) Incertitude absolue

On appelle incertitude absolue  $\Delta X$  la valeur maximale que pourrait prendre l'erreur  $\delta X$ , c'est la borne sup de  $\delta X$  :

$$\Delta X = \sup |\delta X|. \quad (2)$$

Elle s'exprime en unité de la grandeur mesurée et possède un signe positif.

La valeur mesurée peut prendre l'une des valeurs probables appartenant à l'intervalle

$[X_m - \Delta X, X_m + \Delta X]$ . Le résultat de mesures s'exprime par :

$$\text{Valeur mesurée} = X \pm \Delta X \quad (3)$$

Toute mesure effectuée n'appartenant pas à l'intervalle  $[X_m - \Delta X, X_m + \Delta X]$  est considérée comme une mesure erronée.

### b) Incertitudes relative :

Dans le but d'évaluer la précision d'une mesure, on s'intéresse aussi à définir l'incertitude relative. Celle-ci est définie comme étant le rapport de l'incertitude absolue et la valeur mesurée. On l'appelle aussi tolérance et elle est sans dimension.

Remarque : On considère que toute mesure est de bonne qualité si son incertitude relative est inférieure à 1%.

### Exemple :

Le tableau 1 suivant regroupe un ensemble de mesures effectuées

Exemple	Grandeur mesurée X (mm)	Incertitude absolue $\Delta X$ (mm)	Incertitude relative $\frac{\Delta X}{X}$ %	Remarque
1	4000000	1	0,000025	Mesure très précise
2	100	1	1	mesure imprécise
3	10	1	10	mesure erronée

## I. 4 : Règles de calcul des incertitudes

### a) Préambule

Lorsqu'on veut déduire l'incertitude sur la mesure d'une grandeur G qui dépend de plusieurs variables a, b, c,.... on aura recours aux calculs de dérivées et différentielles. On peut commettre sur chaque variable (qui est une grandeur physique) une incertitude absolue ( $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$ ,....).

Cette incertitude absolue est assimilable à une petite variation de la grandeur physique en question ( $\delta a = da$ ,  $\delta b = db$ ,  $\delta c = dc, \dots$ )

### b) Cas de calcul de l'incertitude absolue $\Delta G$ par utilisation des dérivées partielles

Etant donné que la grandeur  $G$  est une fonction des grandeurs  $a, b, c, \dots$  une faible variation de  $G$  peut être obtenue en différenciant la fonction  $G = f(a, b, c, \dots)$ , on obtient donc la différentielle de  $G$ :

$$dG = \frac{\partial G}{\partial a} da + \frac{\partial G}{\partial b} db + \frac{\partial G}{\partial c} dc + \dots \quad (4)$$

L'incertitude absolue  $\Delta G$  s'obtient par la relation

$$\Delta G = \left| \frac{\partial G}{\partial a} \right| \Delta a + \left| \frac{\partial G}{\partial b} \right| \Delta b + \left| \frac{\partial G}{\partial c} \right| \Delta c + \dots \quad (5)$$

### c) Cas de calcul de l'incertitude relative $\frac{\Delta G}{G}$

Il est préférable dans le cas où la grandeur  $G$  est une fonction assez compliquée (du genre  $G = 3x^2 \sqrt{y} \cdot e^z$ ) d'utiliser la différentielle logarithmique  $d(\ln G)$  de la grandeur  $G$ .

$d(\ln G)$  s'obtient selon la relation suivante

$$d(\ln G) = \frac{dG}{G} = \frac{\partial \ln G}{\partial a} da + \frac{\partial \ln G}{\partial b} db + \frac{\partial \ln G}{\partial c} dc + \dots \quad (6)$$

L'incertitude relative  $\frac{\Delta G}{G}$  s'obtient en prenant chaque terme de la somme comme étant positif, soit :

$$\frac{\Delta G}{G} = \left| \frac{\partial \ln G}{\partial a} \right| \Delta a + \left| \frac{\partial \ln G}{\partial b} \right| \Delta b + \left| \frac{\partial \ln G}{\partial c} \right| \Delta c + \dots \quad (7)$$

Après un réarrangement de la relation (6), on pourra revenir à l'expression (5) (méthode définie en (b))

$$\frac{dG}{G} = \frac{\partial f(a,b,c..)}{f(a,b,c..)} \frac{1}{\partial a} da + \frac{\partial f(a,b,c..)}{f(a,b,c..)} \frac{1}{\partial b} db + \frac{\partial f(a,b,c..)}{f(a,b,c..)} \frac{1}{\partial c} dc + \dots \quad (8)$$

$$\frac{1}{G} dG = \frac{1}{f(a,b,c..)} \left[ \frac{\partial f(a,b,c..)}{\partial a} da + \frac{\partial f(a,b,c..)}{\partial b} db + \frac{\partial f(a,b,c..)}{\partial c} dc + \dots \right] \quad (9)$$

## I. 5 : Approche statistique

### a) La moyenne arithmétique :

On définit la moyenne arithmétique par le rapport de l'addition arithmétique d'un nombre  $n$  de mesures à leur nombre (nombre de mesures). Elle s'exprime ainsi :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{k=1}^n X_k}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (10)$$

$\bar{X}$  est une valeur moyenne de mesure qui s'identifie à  $\bar{X}$  et  $X_k$  (où  $k=1, 2, 3, \dots, n$ ) est une mesure effectuée.

### b) Ecart moyen absolu :

On définit l'écart moyen absolu comme étant la valeur calculée à partir du quotient entre les écarts des valeurs mesurées et le nombre  $n$  de mesures effectuées exprimé par :

$$\overline{\Delta X} = \frac{\sum_{k=1}^n |\bar{X} - X_k|}{n} \quad (11)$$

### c) Variance :

Elle est définie comme étant la moyenne des carrés des écarts des mesures à leur nombre  $n$  qui s'exprime comme suit :

$$V = \frac{\sum_{k=1}^n (\bar{X} - X_k)^2}{n-1} \quad (12)$$

### d) Ecart type $\delta_{rms}$ :

On définit l'écart type par la valeur calculée à partir de la racine carrée de la variance.

$$\delta_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\bar{X} - X_k)^2}{n-1}} \quad (13)$$

Où l'indice *rms* est l'abréviation de l'expression en anglais de *root mean square* qui signifie la racine carrée de moyenne des carrés.

## II : Travail pratique sur un modèle de compte rendu concernant l'allongement d'un ressort auquel on suspend une masse.

### II.1 : Buts de l'expérience

- ✓ Détermination de la constante de raideur d'un ressort,
- ✓ Familiarisation avec les manipulations de laboratoire,
- ✓ Interprétation des résultats,

✓ Maîtrise de l'écriture d'un résultat de mesure en fonction du couple  $(X, \Delta X)$ .

## II. 2 : Rappel théorique

Calcul de la constante de raideur d'un ressort à partir de sa dilatation en fonction d'une masse. Appliquons la loi de Newton à l'état d'équilibre (voir figure 1 au paragraphe suivant) :

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{T} = \vec{0} \quad (14)$$

Si on note  $\vec{u}$  un vecteur unitaire orienté dans le sens du poids  $\vec{P}$  représenté sur la figure 1.

$$mg\vec{u} - kx\vec{u} = \vec{0} \quad (15)$$

En projetant cette relation vectorielle sur l'axe de direction  $\vec{u}$  on obtient

$$mg = kx \Rightarrow x = \frac{g}{k}m \quad (16)$$

## II. 3 : Partie expérimentale (manipulation)

### a) Calcul de la constante de raideur du ressort

Nous accrochons un ressort de longueur à vide  $l_0$  et de masse négligeable à un support. Ensuite, nous mesurons la dilatation du ressort à l'équilibre, en suspendant successivement une masse différente  $m_1 \neq m_2 \neq m_3 \neq \dots \neq m_n$  (figure 1)

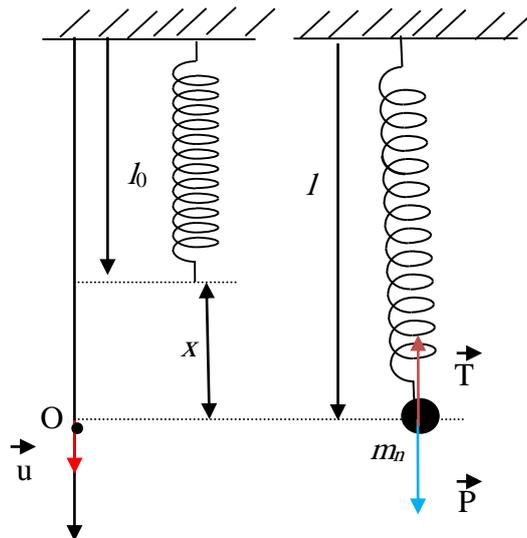


Figure 1 : Allongement d'un ressort sous l'effet d'une masse

Le tableau suivant résume l'ensemble des mesures effectuées.

Tableau 1 : Allongements du ressort en fonction des masses suspendues.

M (kg)	0	0,010	0,020	0,060	0,090	0,120	0,150	0,180	0,200	0,250	0,300
$X = \ell - \ell_0$ (m)	0	0,007	0,013	0,039	0,058	0,078	0,098	0,118	0,131	0,160	0,196

Nous traçons le graphe associé à l'allongement  $X$  en fonction de la variation de la masse  $m$  (Figure 2).

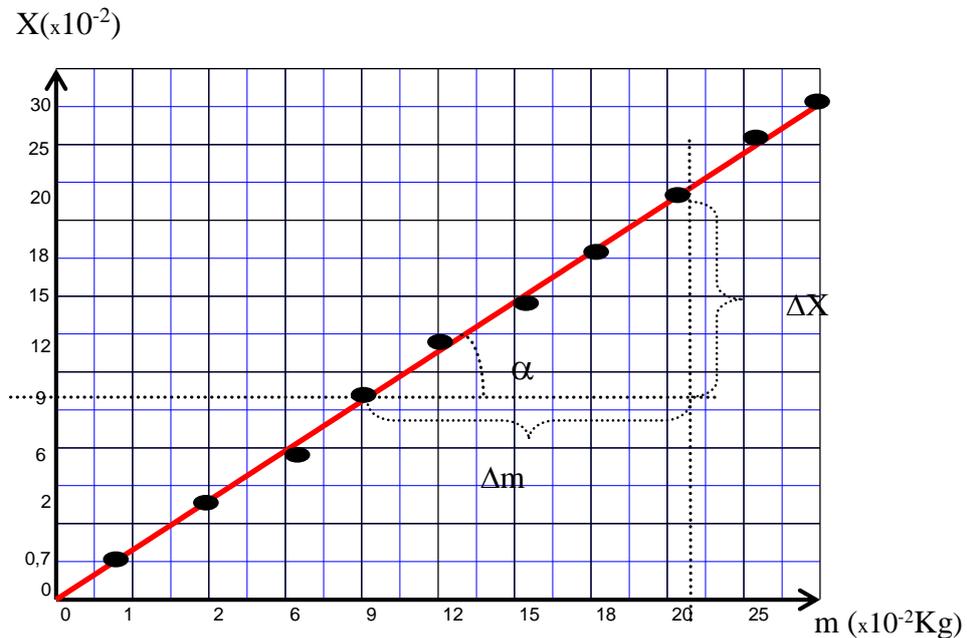


Figure 2 : L'allongement  $X$  en fonction de la masse  $m$

### b) Analyse et interprétation du graphe

Nous constatons que l'allongement  $X$  est une fonction linéaire de la masse  $m$ . Il peut être représenté par la relation

$$X = am \quad (17)$$

Où  $a$  est la pente de droite, cette pente est aisément calculée si l'on fait le choix judicieux de deux points de cette droite.

Où

$$a = \text{Tg}(\alpha) = \frac{\Delta x}{\Delta m} = \frac{x_6 - x_3}{m_6 - m_3}$$

$$a = Tg\alpha = \frac{0,118 - 0,058}{0,18 - 0,09} = 0,666 \text{ m. kg}^{-1}$$

La relation de la droite devient :  $X = 0,666m$  (18)

Par comparaison de la relation théorique (16) et la relation expérimentale (18) on obtient :

$$a = \frac{g}{k} \quad (19)$$

On en déduit  $k = \frac{g}{a} = \frac{9,8}{0,666} = 14,70 \text{ kg. s}^{-2}$

**c) Calcul de l'incertitude absolue sur la mesure de la constante de raideur**

Etant donné que  $a = \frac{X}{m}$  donc  $a$  est une grandeur qui dépend de  $X$  et de  $m$

La différentielle de  $a$  s'écrit :

$$\begin{aligned} da &= d\left(\frac{X}{m}\right) = \frac{\partial \frac{X}{m}}{\partial X} dX + \frac{\partial \frac{X}{m}}{\partial m} dm \\ &= \frac{1}{m} dX + \left(-\frac{X}{m^2}\right) dm \\ &= \frac{1}{m} dX - \frac{X}{m} \frac{dm}{m} \quad \text{avec} \quad \frac{1}{m} = \frac{a}{X} \end{aligned}$$

$$\text{Ce qui donne : } da = a \frac{dX}{X} - a \frac{dm}{m} \Rightarrow da = a \left( \frac{dX}{X} - \frac{dm}{m} \right)$$

$$\text{Donc } \Delta a = a \left( \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta m}{m} \right)$$

Les incertitudes sur la mesure de  $X$  et  $m$  conformément aux valeurs des mesures obtenues au tableau 1 sont comme suit :  $\Delta m = \pm 0,000 \text{ kg}$ ,

$$\Delta x = 0,001 \text{ m} ,$$

La valeur de  $\Delta a$  est donc :

$$\Delta a = 0,6 \left( \frac{0,001}{0,118} + \frac{0,0001}{0,18} \right) = 0,009 \text{ m. kg}^{-1}$$

$$\text{D'où } a = 0,666 \mp 0,009 \text{ m. kg}^{-1}$$

$k$  est donné par la relation

$$k = \frac{g}{a}, \text{ d'où } \Delta k = k \left( \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta a}{a} \right)$$

Si l'on admet que  $\Delta g = 0,01 \text{ m. s}^{-2}$

$$\text{Alors } \Delta k = 14,70 \left( \frac{0,01}{9,8} + \frac{0,009}{0,666} \right) = 0,21 \approx 0,2 \text{ kg. s}^{-2}$$

L'allongement est exprimé par :

$$k = 16,33 \pm 0,2 \text{ kg. s}^{-2} \quad \frac{\Delta k}{k} = 1,36\%$$

#### d) Conclusion

De l'ensemble des mesures effectuées, nous constatons que l'allongement du ressort est proportionnel à la masse suspendue. Le graphe correspondant est une droite. La constante de raideur est liée à la pente de cette droite par la relation  $k = \frac{g}{a}$

L'incertitude de mesure est relativement importante car nous avons pris des incertitudes formelles dépendant des valeurs liées à l'instrument utilisé ( $\frac{\Delta k}{k} = 1,36\%$ ).

### III : Travail pratique sur un exemple physique : la loi d'Ohm.

#### III. 1 : Buts de l'expérience

- ✓ Apprendre à utiliser les instruments de mesures électriques (ampèremètre, voltmètre et ohmmètre),
- ✓ Maîtriser le branchement du circuit électrique,
- ✓ Déterminer les erreurs rencontrées dans les mesures expérimentales d'une grandeur physique.

#### III. 2 : Manipulation et mesure

##### III. 2. 1 : Exemple : Mesure directe de résistance

###### a) Préambule :

Nous disposons d'une résistance dont on veut mesurer la valeur en utilisant un multimètre **tel qu'il est représenté** sur la figure 3.



Figure 3 : Photographie du montage de mesure directe d'une résistance  $R$  par le biais d'un multimètre.

**b) Manipulation :**

- 1) Faire une mesure directe de  $R$ ,
- 2) Répéter la procédure de mesure six fois et reporter les résultats sur le tableau 2

Tableau 2 : Différentes mesures de la résistance  $R$

N	1	2	3	4	5	6
$R$ ( $\Omega$ )						

- 3) Calculer la valeur moyenne  $\bar{R}$  ?
- 4) Calculer l'erreur moyenne  $\Delta\bar{R}$  ?
- 5) Calculer l'écart type  $\delta_{rms}$  ?
- 6) Donner l'incertitude absolue et relative  $\Delta R, \frac{\Delta R}{\bar{R}}$  ?
- 7) Ecrire les résultats finaux de la mesure ?

**c) Remarque :**

Il est préférable que chaque mesure soit effectuée par un étudiant différent du précédent.

**III. 2. 2 : Mesure indirecte d'une résistance**

**a) Préambule :**

On dispose du circuit représenté sur la figure 4 qui utilise un voltmètre, un ampèremètre et un générateur de tension continu.

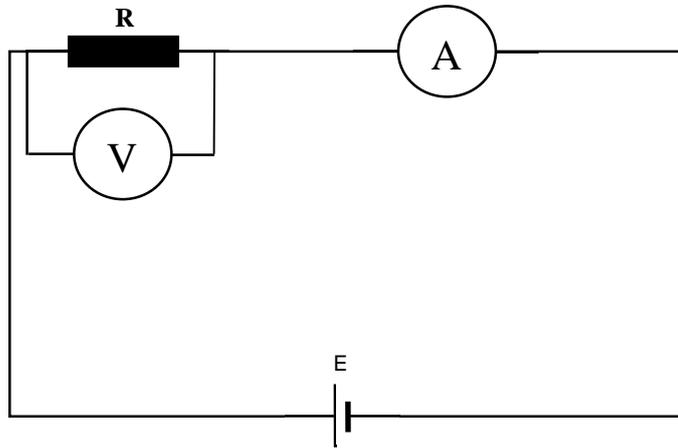


Figure 4 : Schéma du Montage de mesure indirecte d'une résistance  $R$ .  $V$  est un voltmètre,  $A$  est un ampèremètre, et  $E$  est un générateur de courant continu.

Répéter la procédure de mesure six fois et reporter les mesures sur le tableau 3.

**b) Résultats de la mesure.**

Reproduire les résultats des mesures effectuées sur le tableau 3.

Tableau 3 : Mesures indirectes de la résistance. ( $N$  étant le numéro de mesures)

$N = 1, 2 \dots 6$	1	2	3	4	5	6
U (Volt)						
I (Ampère)						
$R$ (Ohm)						
$\bar{R}$ (Ohm)						
$\delta R_i = \bar{R} - R_i$						
$\Delta \bar{R} = \max  \delta R_i $						
$\delta_{rms}$						
$\frac{\Delta R}{\bar{R}}$						
$R = \bar{R} \pm \Delta R$						

- 1) Continuer à remplir les valeurs des autres grandeurs portées sur le tableau 3
- 2) Calculer la valeur moyenne  $\bar{R}$  ?
- 3) Calculer l'incertitude moyenne  $\Delta \bar{R}$  et l'écart type  $\delta_{rms}$  ?
- 4) Donner l'incertitude absolue et relative  $\Delta R, \frac{\Delta R}{\bar{R}}$  ?
- 5) Conclure.

## TP N° : 1

---

# Intitulé : Lois de Kirchhoff et association des résistances

---

### I : Buts de l'expérience

La présente manipulation a pour buts :

- ✓ D'effectuer une mesure de l'intensité du courant électrique, de la tension et de la résistance en utilisant un multimètre (mesure directe),
- ✓ Mesure indirecte de la résistance à l'aide de la loi d'Ohm,
- ✓ Réaliser différents montages électriques (en série, en parallèle et mixte)
- ✓ Concrétiser les lois de Kirchhoff (loi de nœuds et loi des mailles)

### II : Rappel théorique

#### II.1 : Loi d'Ohm

On exploite la loi d'Ohm exprimée ci-après pour déterminer la résistance d'un dipôle ohmique :

$$U = R.I \quad (1)$$

Où  $U$  est la différence de potentiel ( $ddp$ ) appliquée à la résistance et  $I$  l'intensité du courant la parcourant.

#### II.2 : Association de résistances

La résistance équivalente à plusieurs résistances reliées en série s'obtient en additionnant la valeur résistive de chacune des résistances. Un groupe de résistances  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  en série possède une résistance équivalente qui vaut :

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^{i=n} R_i \quad (2)$$

Par contre, le montage en parallèle possède une résistance équivalente dont l'inverse est égal à la somme des inverses des résistances du circuit :

$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_i} \quad (3)$$

#### II.3 : Lois de Kirchhoff

##### a) Loi des nœuds (1<sup>ère</sup> loi de Kirchhoff)

On définit un nœud comme étant une connexion qui relie au moins trois fils d'un même circuit. Il ne peut y avoir d'accumulation de charges électriques dans un nœud :

$$\sum_{i=1}^{i=n} I(i) = 0 \quad (4)$$

La relation (4) exprime la somme des intensités des courants entrants est égale à la somme des intensités des courants sortants (Figure 1).

$$\sum_1^n I_{i(\text{sortant})} = \sum_1^n I_{i(\text{entrant})} \quad (5)$$

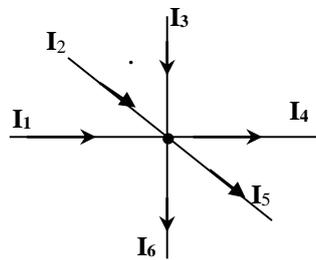


Figure 1 : Courants électriques formant un nœud.

Dans l'exemple ci-contre, la loi des nœuds donne la relation :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6 \quad (6)$$

**b) Loi des mailles (2<sup>ème</sup> loi de Kirchhoff)**

Une maille est constituée de plusieurs dipôles électriques formant un circuit fermé (Figure 2). On choisit un sens positif arbitraire de parcours :

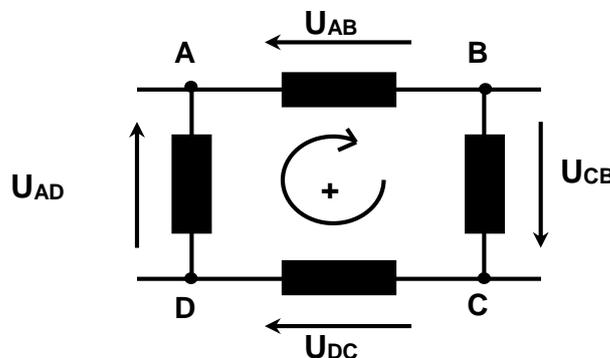


Figure 2 : Circuit électrique formé de résistances.

La loi des mailles s'énonce comme suit : La somme des tensions ayant le même sens que celui choisi est égale à la somme des tensions ayant un sens opposé.

Cette loi s'exprime dans le cas de la figure 2 par la relation suivante :

$$U_{AB} = U_{AD} + U_{DC} + U_{CB}. \quad (7)$$

**Exercice 1 :** Calcul de la résistance équivalente d'une association mixte de résistance

Pour le schéma de la figure 3 ci-dessous, on donne :

$$R_1 = 6 \, \Omega, \quad R_2 = 12 \, \Omega,$$

$$R_3 = 34 \, \Omega, \quad R_4 = 40 \, \Omega,$$

$$R_5 = 8 \, \Omega, \quad R_6 = 36 \, \Omega,$$

$$R_7 = 72 \, \Omega,$$

Calculer la résistance équivalente  $R_{AB}$

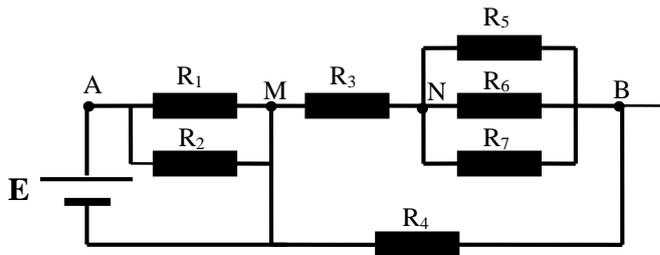


Figure 3 : Branchement mixte de résistances

**Exercice 2 :** Application de la loi de Kirchhoff

On considère le circuit de la figure 4 ci-dessous :

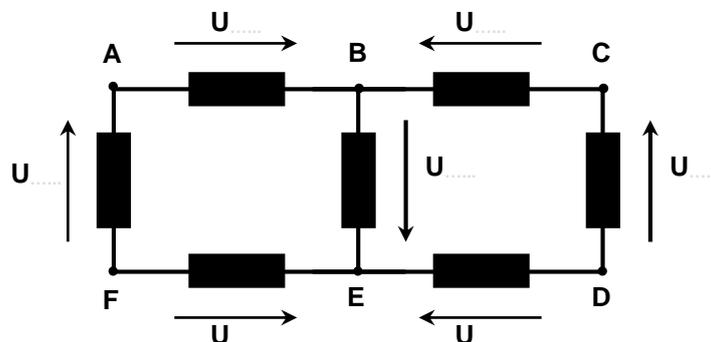


Figure 4 : Circuit électrique formé par 3 mailles

- 1- Désigner les différentes tensions (compléter les " U " ) ?
- 2- Ecrire la loi des mailles pour les mailles *ABEFA*, *BCDEB* et *ABCDEF* ?

- 3- Additionner les deux équations pour les deux premières mailles ?
- 6- Comparer le résultat obtenu avec ceux de la troisième maille ?

## II. 4 : Exploitation des appareils de mesures

Dans le cas d'une mesure de tension, il est impérativement nécessaire de placer les bornes du voltmètre sur les deux pôles de la résistance (Figure 2).

Il est bien à noter de brancher le voltmètre **en parallèle** à la branche contenant le dipôle.

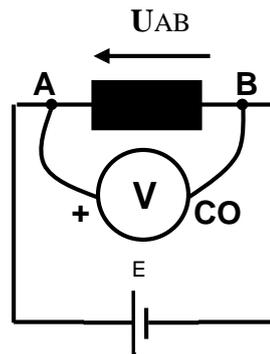


Figure 5 : Mesure de tension électrique aux bornes d'une résistance

Dans le cas du placement d'un ampèremètre, veuillez le placer **en série** avec le dipôle (Figure 6)

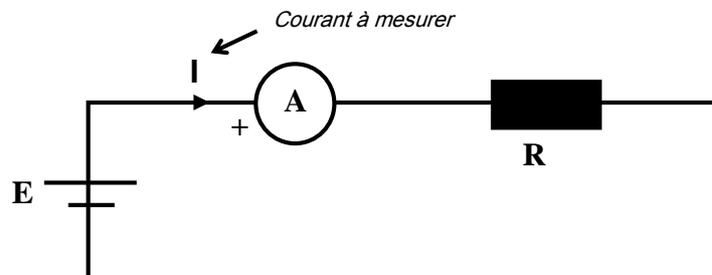


Figure 6 : Mesure de l'intensité d'un courant à l'aide d'un ampèremètre

## II. 5 : Détermination des valeurs des résistances par utilisation du code des couleurs

Chaque résistance possède des anneaux de couleurs différentes. Chaque couleur correspond à un chiffre (Tableau 4). La correspondance entre les chiffres et les couleurs des anneaux constitue ce qu'on appelle le code des couleurs. Il permet de déterminer la valeur en Ohms d'une résistance.

Pour lire cette valeur, on doit d'abord placer la résistance dans le bon sens : en général, la résistance a un anneau doré, ou argenté qu'il faut placer à droite.

On distingue quatre types de résistances : résistance à trois, quatre, cinq et six anneaux de couleurs.

**a) Résistances à 3 et 4 anneaux**

Les deux premiers anneaux indiquent les chiffres significatifs, le premier marque la dizaine et le second l'unité. Le troisième anneau indique un facteur multiplicateur c.-à-d une puissance de dix qui doit factoriser les deux premiers chiffres.

Le dernier anneau (quatrième) indique la précision de la valeur calculée. Cet anneau est parfois davantage espacé des précédents. Il n'est pas toujours présent, son absence signifiant la tolérance la plus grande : 0, 20.

**b) Résistances à cinq anneaux**

Les trois premiers anneaux indiquent les chiffres significatifs, le quatrième représente la multiplication (puissance de dix), le quatrième et le cinquième ont les mêmes significations que le troisième et le quatrième anneau relatif à la résistance à quatre anneaux. Le cinquième donne la précision de la valeur calculée.

**c) Résistances à six anneaux**

Les quatre premiers anneaux ont la même signification que les résistances à 5 anneaux.

Par conséquent, le sixième est un facteur de température, c.-à-d., la variation de la conductivité électrique en fonction de la température.

Tableau 1 : Tableau des Codes couleur d'une résistance.

						
Couleurs	Bandes à gauche de la résistance			Bandes à droite de la résistance		
	Chiffres significatifs			Multiplicateur	Tolérance	Coefficient de température (ppm/c°)
	1 <sup>er</sup> bande	2 <sup>eme</sup> bande	3 <sup>eme</sup> bande			
Noir	0	0	0	10 <sup>0</sup>		
Brun/Marron	1	1	1	10 <sup>1</sup>	±1,00%	100
Rouge	2	2	2	10 <sup>2</sup>	±2,00%	50
Orange	3	3	3	10 <sup>3</sup>		15
Jaune	4	4	4	10 <sup>4</sup>		25
Vert	5	5	5	10 <sup>5</sup>	±0,50%	
Bleu	6	6	6	10 <sup>6</sup>	±0,25%	10
Violet	7	7	7	10 <sup>7</sup>	±0,10%	5
Gris	8	8	8	10 <sup>8</sup>	±0,05%	
Blanc	9	9	9	10 <sup>9</sup>		1
Or				10 <sup>-1</sup>	±5,00%	
Argent				10 <sup>-2</sup>	±10,00%	

**Exemple :**

Relevez la valeur de R, sa précision (tolérance) et déduire son incertitude.

Résistance à 4 anneaux : Brun, noir, Argent

D'après le code des couleurs, cette résistance a une valeur :  $(10) \times 10^0 \Omega = 10 \Omega$  avec une incertitude de  $\Delta R \pm 5\%$ .

La lecture complète de la valeur de la résistance est :  $R = 10 \pm 0,05 \Omega$

**III : Etude expérimentale du TP 1**

**III. 1 : Manipulation 1 (mesure d'une résistance)**

**III. 1. 1 : Buts de la manipulation**

- Mesure directe d'une résistance par utilisation d'un ohmmètre
- Mesure indirecte d'une résistance en utilisant la loi d'Ohm

**III. 1. 2 : Equipements requis pour l'expérience**

- Générateur de tension continue
- Ohmmètre
- Dipôle résistif (Résistance) R
- Fils de connexion
- Multimètre
- Plaque de connexion.
- Voltmètre
- Tableau du code couleur

### a) Mesure directe de la résistance à l'aide d'un multimètre

On branche les deux pôles de la résistance au multimètre par deux fils de connexion :

Le premier relie une extrémité à la borne « **Com** » et le deuxième relie l'autre extrémité à la borne «  $\Omega$  ». L'afficheur du multimètre affiche la valeur de la résistance après avoir choisi le calibre approprié.

### b) Mesure indirecte de la résistance

Au moyen du circuit électrique représenté sur le schéma de la figure 7 ci-dessous représentée, nous effectuons la mesure indirecte de  $R$ . Cette méthode nécessite l'emploi d'un générateur, d'un voltmètre et d'un ampèremètre.

- 1) Réaliser le montage présenté sur la figure 7,
- 2) Mesurer la différence de potentiel  $U_{AB}$  aux bornes de la résistance  $R$ ,
- 3) Répéter le travail de mesure en remplaçant  $R_1$  par  $R_2$  et  $R_3$  successivement,
- 4) Remplir le tableau 2 et calculer les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  au moyen de la formule (1) citée au § II. 1.

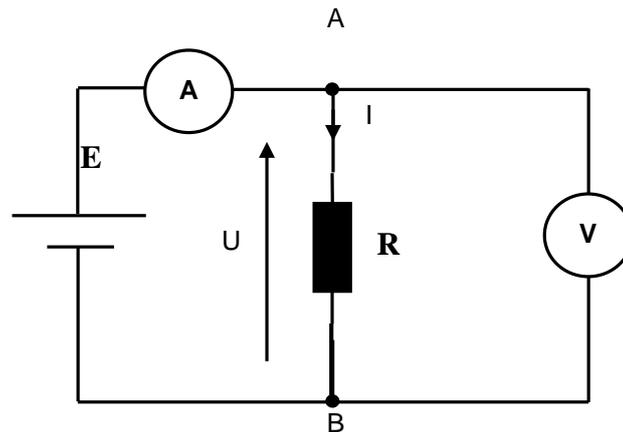


Figure 7 : Schéma du montage de mesure indirecte de la résistance :  $R$  est une résistance  $V$  est un Voltmètre,  $A$  un Ampèremètre et  $E$  le générateur de tension continue

Tableau 2 : Mesure indirecte de la résistance

	$I$ (A)	$U$ (V)	$R_{mes}$ (mesure indirecte)	$R$ (mesures effectuées par code de couleur)
$\Delta R_1$	$R_{1mes1}$			
	$R_{1mes2}$			
	$R_{1mes3}$			
	$\overline{R_1}$			
	$\Delta R_1^-$			
$\Delta R_2$	$R_{2mes1}$			
	$R_{2mes2}$			
	$R_{2mes3}$			
	$\overline{R_2}$			
	$\Delta R_2^-$			
$\Delta R_3$	$R_{3mes1}$			
	$R_{3mes2}$			
	$R_{3mes3}$			
	$\overline{R_3}$			
	$\Delta R_3^-$			

### III. 2 : Manipulation 2 Association de résistances en série

#### III. 2. 1 : Buts de la manipulation

- Mesure de la résistance équivalente à une association en série

#### III. 2. 2 : Manipulation

On désire faire la mesure indirecte de l'association de deux résistances montées en série (Figure 8)

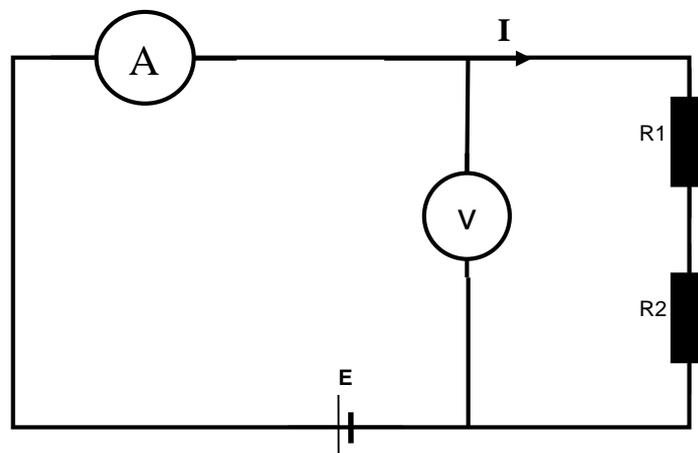


Figure 8 : Schéma du montage de mesure en série de deux résistances

- 1) Mesurer la différence de potentiel  $U$  et l'Intensité de courant  $I$
- 2) Répéter cette mesure pour les résistances  $R_1, R_3$  ensuite  $R_2, R_3$  montées en série
- 3) Remplir le tableau 3.
- 4) Commenter les résultats obtenus.

La résistance calculée est obtenue à partir des valeurs mesurées et enregistrées sur le tableau 2.

Tableau 3 : Mesures de résistance en utilisant l'association en série

Résistance en série	$I_{(A)}$	$U_{(V)}$	$R_{mes} = \frac{U}{I}$	$R_{cal} = R_1 + R_2$
$R_1, R_2$				
$R_1, R_3$				
$R_2, R_3$				

$R_{cal}$  est la résistance calculée à partir du tableau

### III. 3 : Manipulation 3 (Association en parallèle)

#### III. 3. 1 : Buts de la manipulation

- Mesure de la résistance équivalente à une association en série

#### III. 3. 2 : Manipulation

Réaliser le montage suivant où  $R_1$  et  $R_2$  sont montées en parallèle (Figure 9)

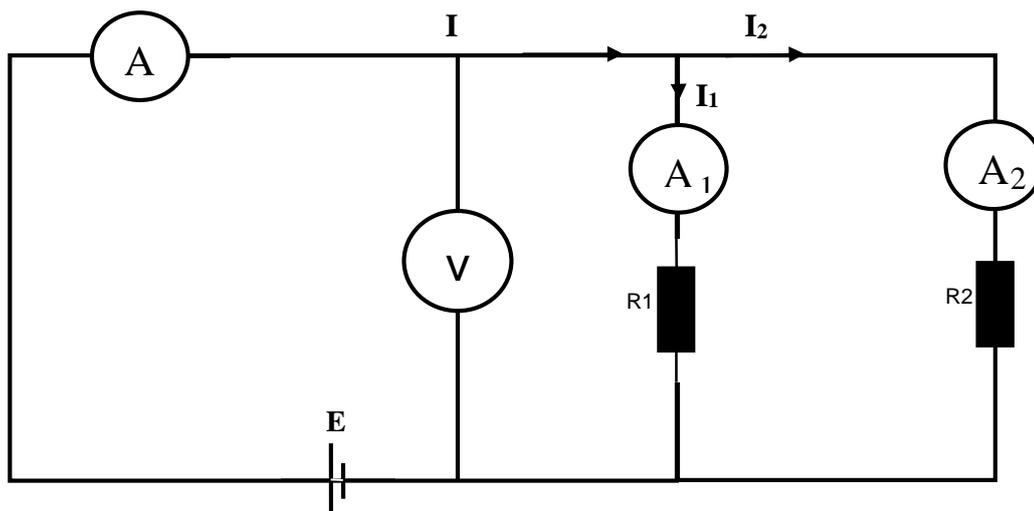


Figure 9 : Association de résistances en parallèle.

- ✓ Remplir les cases du tableau 4
- ✓ Commenter les résultats obtenus par comparaison entre résultats expérimentaux et calculés

✓ Que peut-on dire des deux dernières lignes du tableau 4

Remarque : les valeurs de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  sont toujours relevées à partir du tableau

Tableau 4 : Mesures de résistance dans l'association en parallèle.

	$R_1 // R_2$	$R_1 // R_3$	$R_2 // R_3$
$I_{(A)}$			
$V_{(Volts)}$			
$\frac{1}{R_{\acute{e}q}} = \frac{I}{U}$			
$\frac{1}{R_{\acute{e}q}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$			

### III. 4 : Manipulation 4 Loi des mailles

#### III. 4. 1 : Buts de la manipulation

- Utilisation de la loi des mailles

#### III. 4. 2 : Manipulation

Réaliser le montage ci-dessous et compléter le tableau correspondant à ce travail.

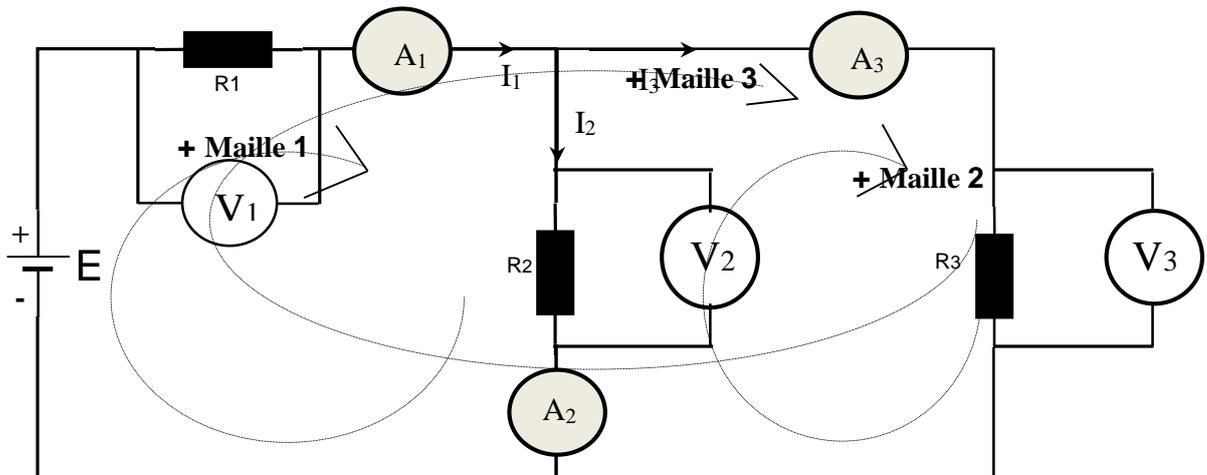


Figure 10 : Association mixte de résistances.

Tableau. 5 : Mesures correspondant à la loi de maille.

	$U_{1(R1)}$ (volt)	$U_{2(R2)}$ (volt)	$U_{3(R3)}$ (volt)	E (volt)
$U_{i(i=1, 2, 3)}$ Volt				
$E_1 - U_1 - U_2$ (Maille 1)				
$E_1 - U_1 - U_3$ (Maille 2)				
$U_1 - U_3$ (Maille 3)				

Commenter les résultats obtenus sur le tableau 5, et que peut-on dire sur la loi des tensions ?

### III. 4 : Manipulation 5 Loi des nœuds

#### III. 5. 1 : Buts de la manipulation

- Utilisation de la loi des nœuds

#### III. 5. 2 : Manipulation

Compléter le tableau 6 ci-après en exploitant le montage de la figure 10.

Comparer les valeurs des deux dernières colonnes.

Tableau 6 : Mesures correspondant à la loi des nœuds

	$R_1$	$R_2$	$R_3$
$I_i (=1, 2, 3) \text{ Volt}$			
$I_2 + I_3$			
$I_1$			

Commenter les résultats obtenus sur le tableau 6, et que peut-on dire sur la loi des Nœuds.

---

# Intitulé : Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance

---

## I. Buts de l'expérience :

- ✓ Mesurer le courant de charge d'un condensateur à travers une résistance,
- ✓ Etudier la charge et la décharge d'un condensateur,
- ✓ Déterminer la constante de temps  $\tau$  pour différentes valeurs de  $R$  et de  $C$ .

## II. Rappel théorique

### II. 1 : Charge d'un condensateur

La figure 1 ci-dessous représente le schéma de montage utilisant un condensateur qui se charge puis se décharge à travers une résistance. Ce montage se compose dans sa maille de décharge d'un condensateur chargé d'un ampèremètre et d'une résistance. Tous ces éléments sont disposés en série. Dans sa maille de charge, ce montage inclue un générateur électrique en plus des éléments de la maille précédente.

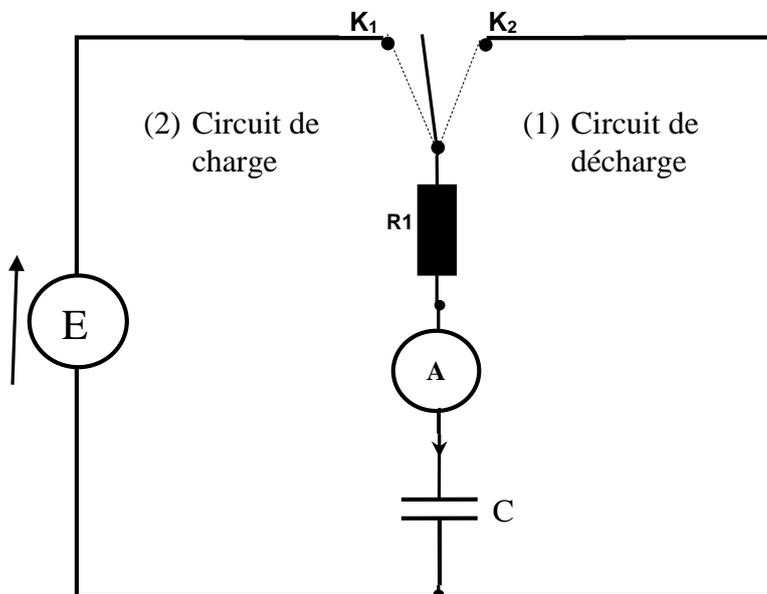


Figure 1 : Schéma de montage utilisant un condensateur qui se charge puis se décharge à travers une résistance.

D'après la loi des mailles, lors de la charge du condensateur :

La maille (1) de charge du condensateur donne comme loi d'additivité de tension :

$$E = U_R + U_C \quad (1)$$

Sachant que  $U_R$  et  $U_C$  sont respectivement la **ddp** (tension) aux bornes du dipôle **R** et du condensateur **C** qui s'expriment par les relations :

$$U_R = Ri \quad (2)$$

$$U_C = \frac{q}{C} \quad (3)$$

Les relations (1), (2) et (3) engendrent la relation (4) suivante :

$$E - Ri + \frac{q}{C} = 0 \quad (4)$$

Au cours de la charge du condensateur, le courant de charge a pour intensité :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CU_C)}{dt} = C \frac{dU_C}{dt} \quad (5)$$

Lorsqu'on remplace (i) par sa valeur dans (4), on obtient l'équation différentielle dont  $U_C(t)$  est solution :

$$E - RC \frac{dU_C}{dt} - U_C = 0$$

Cette relation peut être exprimée sous la forme :

$$\frac{dU_C}{dt} - \frac{1}{RC} U_C = \frac{E}{RC} \quad (6)$$

La relation (6) étant une équation différentielle du premier ordre en  $U_C$ . Elle admet comme solution :

$$U_C(t) = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (7)$$

De la relation (5) et (7), on peut tirer la relation  $i(t)$  suivante :

$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (8)$$

De même, nous pouvons écrire les équations différentielles en  $q(t)$

D'après les relations (2), (3) et (4) :

$$\frac{dq}{dt} - \frac{q}{RC} = \frac{E}{R} \quad (9)$$

Cette équation admet une solution particulière :

$$\frac{dq}{dt} = \frac{dt}{RC} \quad (10)$$

La solution générale est :

$$q = Ae^{\frac{-t}{RC}} + EC \quad (11)$$

Où A est la constante d'intégration

Et d'après les conditions initiales ( $t=0, q=0$ ), la charge  $q(t)$  et l'intensité du courant électrique  $i(t)$  seront données respectivement par :

$$q(t) = CE(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \quad (12)$$

$$i(t) = \frac{E}{R}(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \quad (13)$$

Les relations de  $U_C(t)$ ,  $q(t)$  et  $i(t)$  sont représentées graphiquement sur les figures 2 (a), (b) et (c)

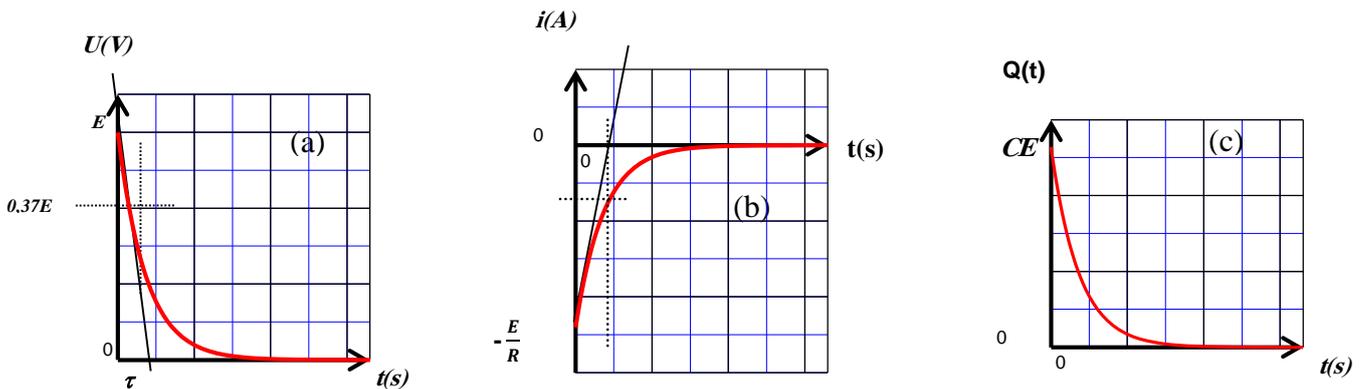


Figure 2 : (a) Variation de la tension  $U_C(t)$  aux bornes du condensateur lors de la charge,  
 (b) Evolution de l'intensité  $i(t)$  lors de la charge du condensateur,  
 (c) Evolution de la charge  $q(t)$  du condensateur au cours du temps

## II. 2 : Décharge d'un condensateur

D'après la loi d'additivité des tensions, lors de la décharge d'un condensateur :

$$U_C + U_R = 0 \quad (14)$$

$$\text{Or } i(t) = \frac{dq}{dt} \text{ et } q = C \cdot U_C \quad (15)$$

$$\text{Donc } i(t) = \frac{C \, dU_C}{dt} \quad (16)$$

$$\text{Alors } U_R = R \cdot i = R \cdot C \cdot \frac{dU_C}{dt} \quad (17)$$

On obtient ainsi l'équation différentielle dont  $U_C(t)$  est la solution :

$$U_C + RC \cdot \frac{dU_C}{dt} = 0 \quad (18)$$

Cette équation différentielle admet comme solution, la fonction :

$$U_C(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (19)$$

$$\text{Avec } \tau = RC. \quad (20)$$

$$q(t) = C \cdot E e^{-\frac{t}{RC}} \quad (21)$$

$$\text{Donc } i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (22)$$

$q(t)$  et  $i(t)$  sont respectivement représentées par les graphes (a), (b) et (c) de la figure 2.

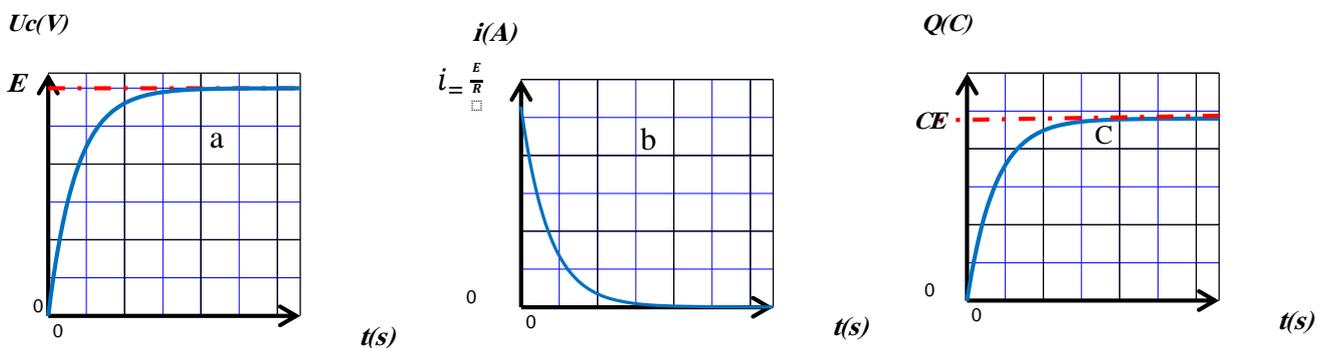


Figure 3 : (a) Variation de la tension  $U_C(t)$  aux bornes du condensateur lors de la décharge, (b) Evolution de l'intensité  $i(t)$  lors de la décharge du condensateur

(c) Evolution de la charge  $q(t)$  du condensateur au cours du temps.

### III : Appareillage utilisé et photographie du montage de la figure 2

- Boîte de connexion
- Interrupteur (commutateur)
- Condensateur
- Résistance
- Fiche de connexion
- Chronomètre numérique
- Multimètre digital
- Fil de connexion



Figure 4 : Photographie du Montage : Charge et décharge d'un condensateur

#### IV. 1: Manipulation

##### IV. 1: Manipulation 1 Charge d'un condensateur

##### IV. 1 : Buts de la manipulation

- Etude de la charge d'un condensateur et détermination de la constante de temps

##### IV. 2 : Manipulation

En utilisant le montage de la figure 1 précédente lorsque l'interrupteur K est sur la position 1, on est dans le cas de charge d'un condensateur.

**Etude de la variation de l'intensité de courant  $i(t)$  en fonction du temps.**

- 1) Tracer la courbe  $i(t)$  et préciser l'allure de celle-ci
- 2) Quelle est la valeur de la tension et du courant aux bornes du condensateur lorsqu'il est complètement chargé
- 3) Relever l'intensité maximale du courant  $I_0$

Tableau 1 : Charge d'un condensateur

$I_0$ ( $\mu A$ )																	
$i$ ( $mA$ )																	
$t$ ( $s$ )																	
$Ln(i_0/i)$																	
$R.C$																	

- 4) Remplir le tableau ci-dessus
- 5) Tracer la courbe  $\ln(\frac{I_0}{I})$  en fonction du temps
- 6) Désigner graphiquement la constante  $\tau$
- 7) Calculer la résistance  $R$

**IV.2 : Manipulation 2 Décharge d'un condensateur**

**IV. 2. 1 : Buts de la manipulation**

- Etude de la décharge d'un condensateur à travers une résistance

**IV. 2. 2 : Manipulation**

Mettre l'interrupteur en position (2) sur le montage de décharge du condensateur présenté sur la figure 1. Ceci provoque la décharge du condensateur. Dans ce cas, le condensateur se décharge en délivrant un courant qui circule dans le circuit électrique 2 (circuit de décharge).

- 1) Tracer la courbe  $I(t)$  et donner son allure.
- 2) Relever la valeur de la tension et du courant aux bornes du condensateur lorsqu'il est chargé complètement.
- 3) Tracer la tangente de la courbe à l'origine et déterminer la constante du temps  $\tau = RC$ .
- 4) Relever l'intensité maximale du courant  $I_0$ .
- 5) Remplir le tableau ci-dessous.
- 6) Tracer la courbe  $Ln(I_0/I)$  en fonction du temps.
- 7) Calculer la résistance  $R$ .
- 8) Commenter les résultats obtenus.

Tableau 2 : Décharge d'un condensateur

$i_0$ ( $\mu A$ )																	
$i$ ( $mA$ )																	
$t$ ( $s$ )																	
$Ln(i_0/i)$																	

## Intitulé : Manipulation d'un Oscilloscope

### I : Buts de l'expérience

- ✓ Apprendre à utiliser un oscilloscope pour visualiser et mesurer des tensions au cours temps.
- ✓ Exploiter un générateur de basses fréquences GBF.
- ✓ observer et calculer différentes tensions et déphasages.
- ✓ Se familiariser avec l'Oscilloscope.

### II : Rappel théorique

#### II. 1 : Description de l'oscilloscope

L'oscilloscope est un appareil fondamental pour l'étude des signaux électriques. Il permet de visualiser, soit deux tensions en fonction du temps (voies  $Y_1$  et  $Y_2$ ) soit d'étudier une tension en fonction d'une autre (utilisation en mode XY). La figure 1 ci-dessous montre brièvement le schéma du tube cathodique d'oscilloscope et le principe de la déviation horizontale et verticale du faisceau électronique.

Les plaques de déviation verticale produisent un champ électrique horizontal  $E_x$  proportionnel à la tension  $V_x$  appliquée aux plaques. Pour la visualisation en mode  $Y(t)$ , la tension  $V_x$  est interne à l'oscilloscope et provoque le déplacement du spot de gauche à droite de l'écran (c'est la base de temps). De la même façon, les plaques de déflexion horizontale produisent une déviation verticale du faisceau d'électrons proportionnelle à la tension  $V_y$  qui sera la tension à mesurer.

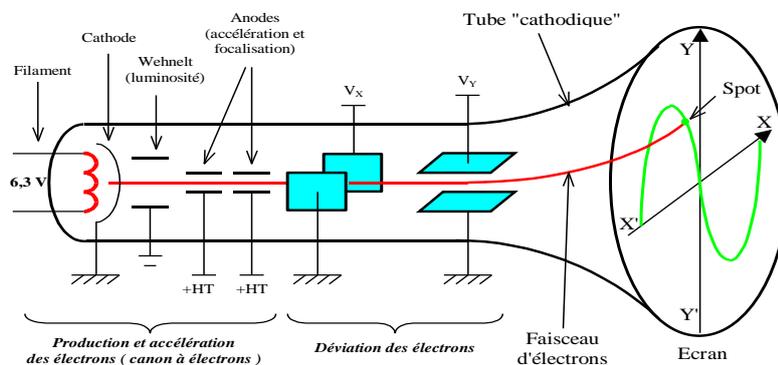


Figure 1 : Schéma du tube cathodique d'un oscilloscope

En général l'oscilloscope est composé par les principaux éléments suivants :

Alimentation électrique stabilisée, tube cathodique, deux amplificateurs (modifier le calibre les voies d'entrée du signal), générateur de tension (assurer le balayage horizontal), dispositif de synchronisation (trigger),

## II. 2 : Principe de fonctionnement de l'oscilloscope.

- 1) Déviation verticale et horizontale d'un faisceau électronique. Si on applique une tension aux bornes des plaques horizontale Y et Y', ceci engendre la déviation du spot vers le haut ou vers le bas. On observe sur l'écran se trouvant à l'avant du tube cathodique la tension électriques subies par ces deux plaques
- 2) Si on applique une tension aux bornes des plaques verticales X et X' une déviation du spot se produit de gauche à droite. Ceci génère la base du temps.
- 3) Visualisation d'une tension périodique. Si l'on applique une tension alternative sinusoïdale entre les plaques de déviation verticale, le spot oscille alternativement. La composition des deux déviations, horizontale (tension de signal triangulaire) et verticale (tension à étudier) donne sur l'écran une courbe qui représente, la variation de la tension au cours du temps que l'on souhaite visualiser (Figure 2).

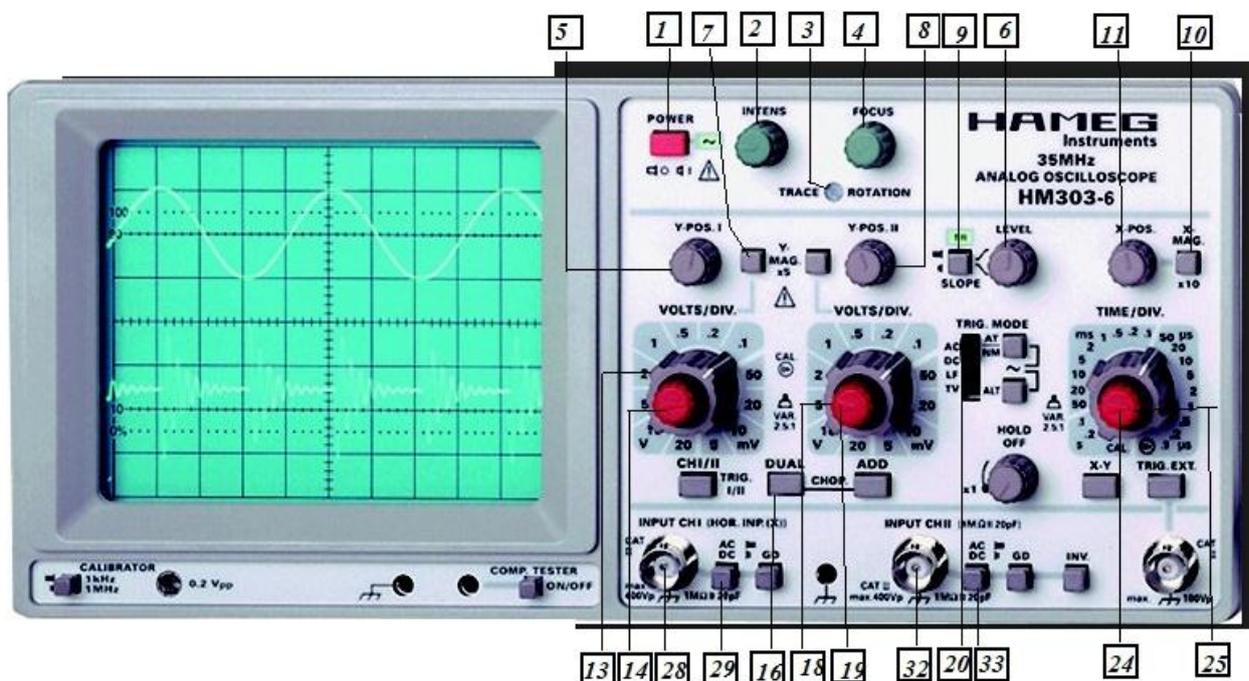


Figure 2 : Photographie d'un Oscilloscope de marque HAMEG 303 – 6

### II. 3 : Mesure de tension.

Lorsqu'on veut mesurer une tension  $V$  entre deux bornes d'un dipôle électrique quelconque à l'aide d'un oscilloscope et pour ne pas avoir un signal inversé, on doit tout d'abord bien fixer les bornes du dipôle à l'oscilloscope. Ensuite on choisit le bon calibre. Ce choix permet de visualiser le signal à plein écran pour autant que les positions crêtes et creux du signal dépassant le cadrage de l'oscilloscope et ce pour minimiser les erreurs de lecture.

### II. 4 : Mesure de fréquence

Lorsqu'on désire obtenir la fréquence d'un signal, généralement, on fait apparaître une seule période sur la quasi-totalité de l'écran.

### II. 5 : Mesure du déphasage entre deux signaux

#### a) Méthode directe

Soient deux signaux électriques  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$

$$U_1(t) = U_{m1} \cos(\omega t) \text{ et } u_2(t) = U_{m2} \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

Ils ont la même fréquence avec un déphasage  $\varphi$  entre eux (Figure 3) :

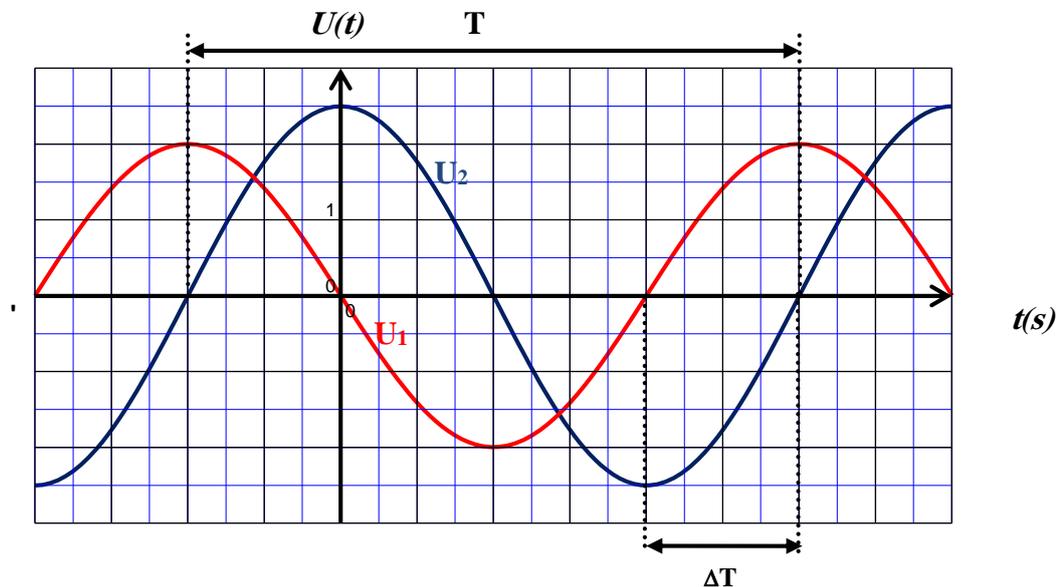


Figure 3 : Déphasage temporel entre deux signaux

$$\varphi = \frac{2\pi\delta t}{T} \text{ (en radians)} \quad (2)$$

$$\text{Où} \quad \varphi = \frac{360\delta t}{T} \text{ (en degrés)} \quad (3)$$

### b) Méthode de Lissajous

En choisissant le mode **X-Y** de l'oscilloscope, nous obtenons sur l'écran le signal  $U_2$  en fonction du signal  $U_1$ .

$U_2 + U_1$  a la forme d'une ellipse, appelée courbe de Lissajous au moyen de la relation (4) ci-dessus.

$$\sin \varphi = \frac{2ON}{2b} \quad (4)$$

Où  $\varphi$  représente,  $O$

À partir de cette ellipse, on peut extraire le déphasage  $\varphi$  entre les deux signaux  $U_2, U_1$ .

Les points  $O$  et  $N$  sont représentés sur la figure 4 respectivement le centre de Lissajous (ellipse) et le point d'intersection entre l'axe de l'ordonnée et Lissajous (ellipse).

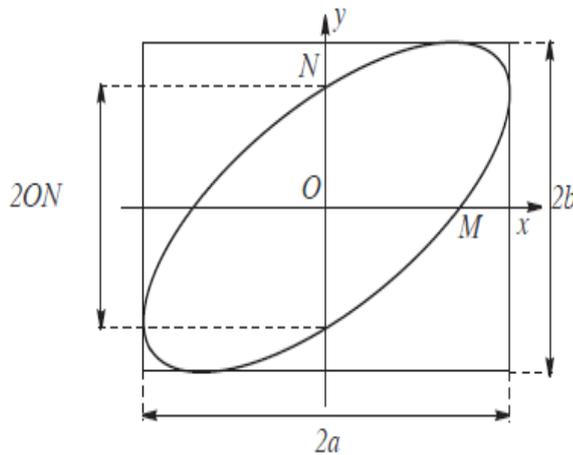


Figure.4 : Déphasage par la méthode Lissajous.

## III : Etude expérimentale

### III. 1 : Appareillage utilisé

- Un oscilloscope *HAMEG 303 – 6*
- Générateur basse fréquence (GBF)
- Générateur de tension continue (GTC)
- Boîte de connexion
- Interrupteur
- Condensateurs
- Résistances
- Multimètre digital et numérique
- Fil de connexion

### III. 2 : Détail des commandes de l'oscilloscope

Nous décrivons ci-après la dénomination et la fonction des principaux boutons de l'oscilloscope utilisé (Figure 2, 6).

L'oscilloscope se branche en parallèle sur le dipôle aux bornes duquel on souhaite visualiser la tension. Les différentes tensions sont entrées sur deux bornes dont une la masse, est commune à toutes les voies.

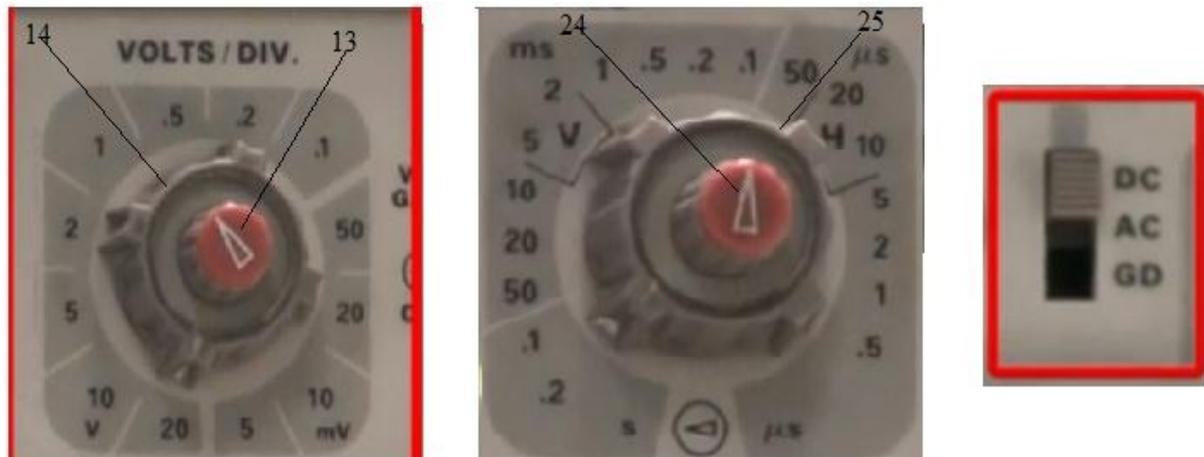


Figure 6 : Boutons de réglage de l'oscilloscope

- 1) Brancher et mettre en marche l'oscilloscope : touche 1 (MARCHE ou POWER) : la lampe LED s'allume.
- 2) Toutes les touches de l'oscilloscope doivent être en position non poussées.
- 3) Tourner les boutons 14, 19 et 25 complètement sur la droite en butée (sens horaire).
- 4) Basculer le commutateur 20 (TRIG, MODE ou MODE DECL) en position haute.
- 5) Ajuster les boutons 13 et 18 sur (1 V/div), et le bouton 24 sur 0,1 ms/ div.
- 6) Centrer la position spot associée à Y1 en appuyant sur le bouton GD et on le remet sur la position 0 (abscisse) avec les boutons 5 (Y POS, 1) et 11. (POS .X).
- 7) Régler l'intensité et le focus du spot avec les boutons 2 (INTENS) et 4 (FOCUS) pour obtenir un spot fin et peu lumineux.
- 8) Agir sur les commandes (Y-POS 2) avec le bouton 8 et 11 X-POS pour déplacer et centrer le spot.
- 9) Si on veut voir en même temps la voie associée à Y2, appuyer sur la touche 16 (DUAL) et utiliser le bouton 8 (Y POS 2).
- 10) Appuyer sur les touches 29 (AC/DC) et 33 (AC/DC) position DC.

11) On visualise la voie Y1 sur l'entrée 28 (INPUT CH1 OU ENTRRE Y1) et la voie Y2 sur l'entrée 32 (INPUT CH2 ou ENTRRE Y2).

### III. 3 : Manipulation mesure de tensions et période

Nous proposons et présentons à l'étudiant le signal présenté sur figure 5 comme exemple pratique de mesure de la tension qui montre un signal sinusoïdal

Nous illustrons l'exemple pratique 5 suivante qui montre un signal sinusoïdal. On tient compte des notations et appellations suivantes :

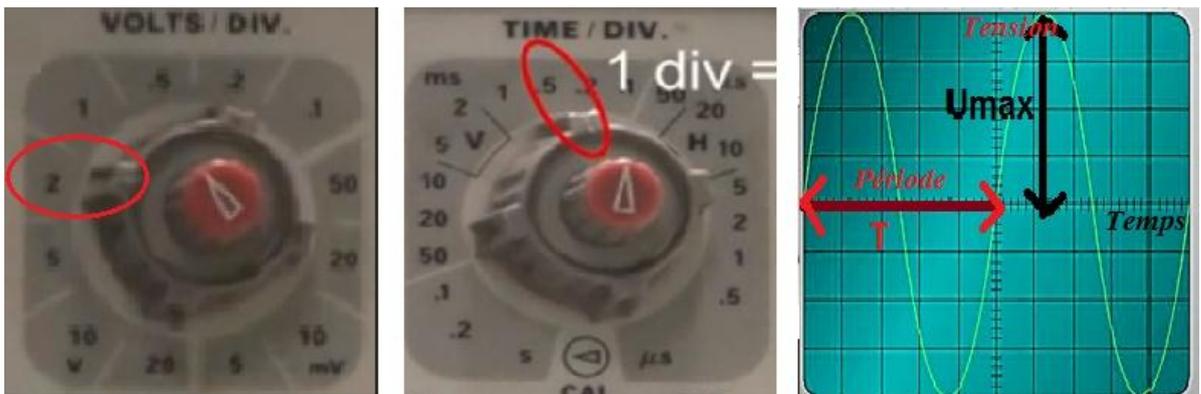


Figure 5 Photographies d'oscilloscope lors d'une mesure d'un signal

$N_t$ : nombre de divisions horizontales

$N_U$ : nombre de divisions verticales.

$K_t$ : calibre du temps.

$K_U$ : calibre de la tension.

Alors la période  $T$  de la tension s'écrit :  $T = k_t \cdot N_t$

$k_t = 0,5 \text{ ms / div}$ ,  $N_t = 5,0$  carreaux.

La mesure de la période du signal est donc  $T = 0,5 \times 5,0 = 2,50 \text{ ms}$ .

La fréquence  $f$  est alors :  $f = 1 / T = 400 \text{ Hz}$ .

L'amplitude  $U_{\max}$  se calcule entre le centre de l'écran et le sommet de la tension:

$U_{\max} = k_U \times N_U$

$k_U = 2 \text{ V / div}$ .  $N_U = 4$  carreaux.

$U_{\max} = 2 \times 4 = 8 \text{ V}$ .

#### III. 3. 1 : Mesure de tensions continues

1) Brancher les sorties du générateur de tension contenue (GTC) sur la voie **Y1**.

- 2) Vérifier que la voie **Y1** est réglée en position **DC**, avec la fiche **28** BNC-entrée de la tension à visualiser
- 3) Mettre l'amplitude du signal au maximum.
- 4) Ajuster la sensibilité verticale de la voie **Y1** pour observer un signal le plus grand possible.
- 5) Mesurer les valeurs maximales de la tension observée.
- 6) Faire varier la tension et remplir le tableau 1 ci-après.

Tableau 1 : Mesure de tensions continues.

Générateur (piles)	$U$ (volt)	1,5	4,5	6	9	12
Oscilloscope	Calibre V/Div					
	Nb de carreau					
	$U$ (Volt)					
Voltmètre	$U$ (Volt)					

### III. 3. 2 : Mesure d'une tension alternative

Dans cette partie, nous allons utiliser un générateur basse fréquence (GBF). Celui-ci peut délivrer diverses fréquences et des signaux de tension sous forme carré, triangulaire et sinusoïdale (Figure 6) ci-dessous.

Nous branchons le GBF en parallèle avec l'oscilloscope en utilisant la voie **Y1**, on désire effectuer une série de mesures de tension à l'aide de l'oscilloscope à cet effet, nous allons effectuer une série de variation de la tension via le GBF.

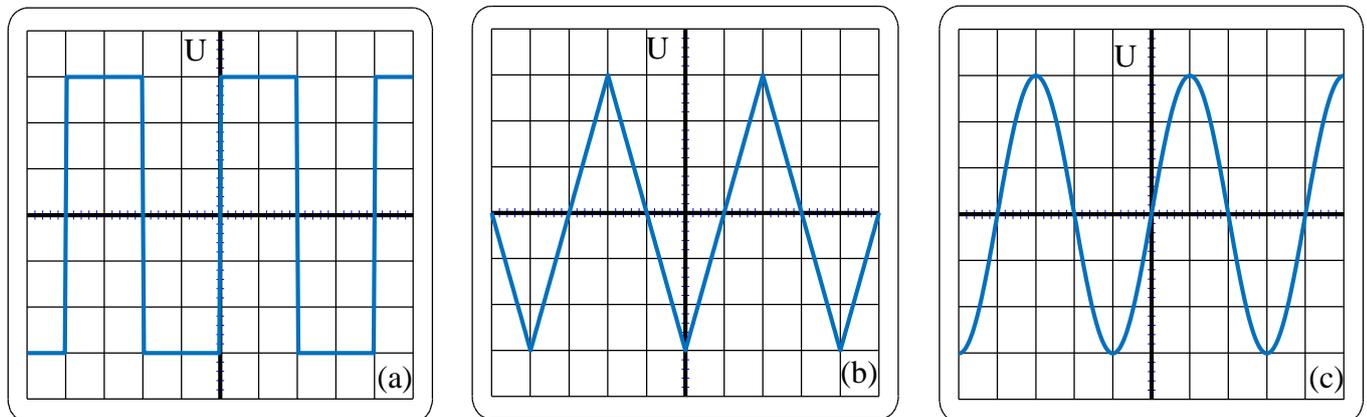


Figure 6 : Signaux (a) carré, (b) triangulaire, (c) sinusoïdale de mesure de tension alternative.

En utilisant un type donné de signal (carré, triangle, sinusoïdal). Remplir les rubriques du tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Mesure d'une tension alternative

Signal	Carré			Triangulaire			Sinusoïdal		
$K_U$ Calibre V/Div									
$N_U$ de carreaux crête à crête									
$U_{CC} = K_i * N_U$									
$U_{max} = U_{CC}/2$									
$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$									
$U$ (volt) voltmètre									

- 1) Mettre CH1 de l'oscilloscope sur GD.
- 2) Connecter le GBF à la fiche BNC de la voie CH1 de l'oscilloscope.
- 3) Régler le GBF pour qu'il délivre un signal carré de fréquence suivi du signal, triangulaire puis Sinusoïdal.
- 4) Actionner le mode DC de la voie CH1 de l'oscilloscope.
- 5) Régler la "base de temps" et le calibre V/DIV. afin d'obtenir un signal visible en entier sur l'écran et contenant au moins 2 périodes.
- 6) Relever l'amplitude  $U_m$  (Volt) de ce signal.
- 7) Relever l'amplitude crête à crête  $U_{CC}$  (Volt).
- 8) Mesurer cette tension par le biais d'un voltmètre.
- 9) Comparer  $U_{eff}$  avec celle mesurée via le voltmètre, que peut-on dire ?
- 10) Refaire les mêmes procédés pour les signaux triangulaires et sinusoïdaux.

### III. 3. 4 : Mesure de fréquences

- 1) Relever la période  $T$  du signal, en déduire sa fréquence  $f$  ( $f = 1/T$ ). Comparer cette fréquence avec celle que vous avez sélectionnée sur le *GBF*.
- 2) Refaire les mêmes procédés pour un signal triangulaire puis signal sinusoïdal.
- 3) Remplir les cases du tableau 3 ci-après.

Tableau 3 : Mesure de la fréquence et la période.

Signal	Carré			Triangulaire			Sinusoïdal		
$f$ (Hz) Lecture sur GBF									
$N$ (nombre de carreaux)									
$K_t$ (Calibre de temps)									
$T$ (s)									
$f=1/T$ (Hz)									

### III. 3. 5 : Mesure de déphasage

#### Méthode 1 : Mode temporel

Chaque mesure doit être effectuée par trois étudiants (Tableau 3), ceci a pour but de minimiser l'erreur.

Réaliser le montage sur la figure.7 en remplaçant successivement le dipôle  $R_2$  par un condensateur. en premier lieu, puis par une bobine en second lieu.

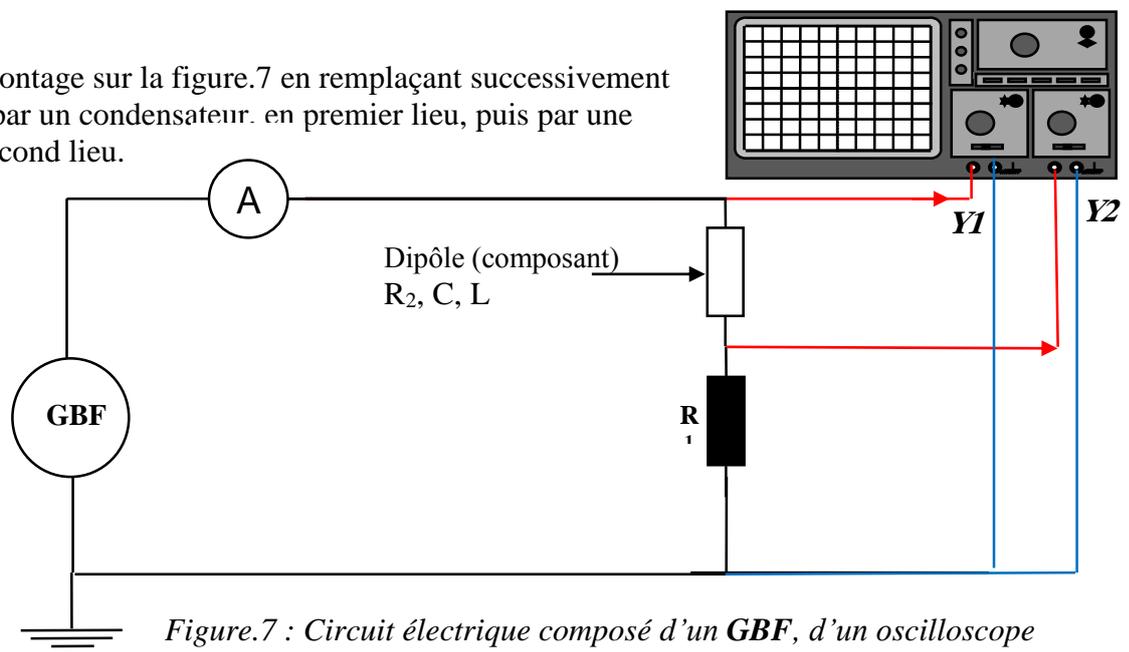


Figure.7 : Circuit électrique composé d'un *GBF*, d'un oscilloscope et Résistance et dipôles électrique comportant le composant (résistance  $R_2$  ou condensateur  $C$  ou inductance  $L$ ) en série

Les mesures relevées sont à porter sur le tableau 4 suivant :

Tableau 4 : Mesure de déphasage mode temporel

<i>Signal</i>	<i>Sinusoidal</i>					
<i>Circuit</i>	<i>Circuit R1, R2</i>		<i>Circuit R1, C</i>		<i>Circuit R1, L</i>	
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R1</i>	<i>C</i>	<i>R1</i>	<i>L</i>
<i>N<sub>t</sub> : Nombre de carreaux sur l'axe temporel</i>						
<i>K<sub>t</sub> : Calibre de temps</i>						
<i>T (s) = N<sub>t</sub> . K<sub>t</sub></i>						
<i>N<sub>t</sub> : Nombre de carreaux pour δt</i>						
<i>δt (s)</i>						
$\varphi = \frac{2\pi\delta t}{T}$ (rad)						

- 1) Ajuster le GBF sur 2 kHz,
- 2) A l'aide de câbles à fiches **BNC**, reliez les points **E** et **F** respectivement aux voies **Y1** et **Y2**.  
Le point **G** sera relié à la masse de l'une des deux voies de l'oscilloscope (l'autre sera relié automatiquement, car les masses des deux voies sont reliées entre elles).
- 3) On appellera **U<sub>EG</sub>** la tension aux bornes de (R<sub>1</sub> + R<sub>2</sub>), visualisée par **Y1**, et **U<sub>FG</sub>** la tension aux bornes de R<sub>2</sub>, visualisée par **Y2**.
- 4) Représenter les signaux recueillis par **Y1** et par **Y2** sur un papier millimétrique.
- 5) Qu'observez-vous en **DUAL**, Quel est le déphasage d'après la méthode directe ?

## Méthode 2 : Mode XY (Lissajous) :

On souhaite effectuer une mesure de déphasage par un oscilloscope, en choisissant le mode XY sur les mêmes circuits que précédemment. Les mesures relevées sont à porter sur le tableau 5 suivant :

Tableau 5: Mesure de déphasage en mode X-Y via méthode Lissajous

Signal	Sinusoïdal					
	Circuit R1, R2		Circuit R1, C		Circuit R1, L	
	R1	R2	R1	C	R1	L
ON (cm)						
2b (cm)						
$\sin(\varphi) = \frac{2ON}{2b}$						
$\varphi$ en degré						
$\delta t = \frac{\varphi T}{2\pi}$						

- 1) Régler le **GBF** sur **2kHz**, le bouton **Ampl** sur max.
- 2) Refaire la même procédure que précédemment : On appellera **U<sub>EG</sub>** la tension aux bornes des dipôles électriques [(R1, R2), (R1, C), (R1, L)] recueillie par **Y1**; et **U<sub>FG</sub>** la tension aux bornes de (R1, C, L) recueillie par **Y2**.
- 3) Visualiser les deux tensions en mode **XY** : calculer par cette méthode le déphasage.

## TP N° :4

---

### Intitulé : Circuit Electrique RLC En Régime Libre Et Forcé

---

#### I : Buts de l'expérience.

- ✓ Etude des oscillations électriques du circuit RLC en régime libre,
- ✓ Etude de la courbe de résonance en régime forcé,
- ✓ Détermination du coefficient de qualité du circuit,
- ✓ Résonance en courant avec résistance d'amortissement.

#### II : Rappel théorique.

##### II. 1 : Principe de l'expérience

En disposant d'un générateur, qui peut délivrer un signal carré  $e(t)$  et en mettant le condensateur en charge pendant une demi-période, ce condensateur se décharge à travers la résistance  $R$ . On visualise la courbe de  $U_c(t)$  en fonction du temps.

##### II. 2 : Circuit RLC en régime libre.

Lorsqu'on fait une étude d'un circuit RLC, on tient à ce que le condensateur soit préalablement chargé avant d'entamer l'étude de sa décharge à travers la résistance du circuit.

D'après la loi d'additivité des tensions dans la maille représentée sur la figure 1 ci-dessous, on obtient :

$$U_R + U_L + U_C = 0 \quad (1)$$

Telle que  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$  sont respectivement la tension aux bornes de la résistance, de la bobine et du condensateur.

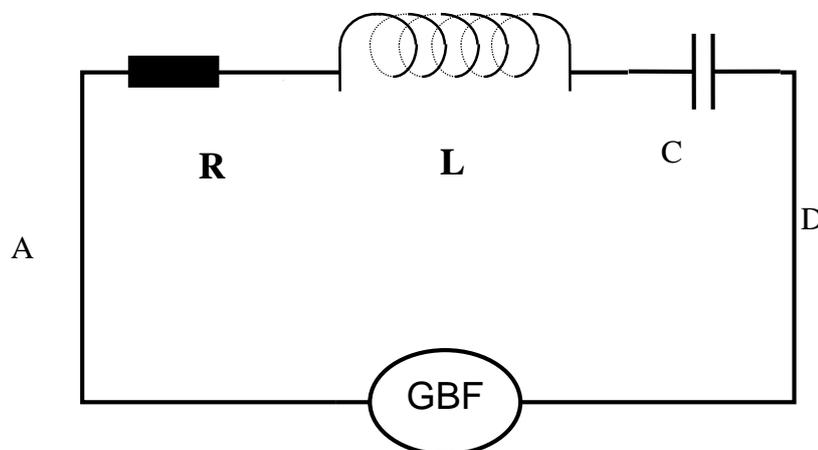


Figure 1 Circuit RLC avec décharge du condensateur dans la bobine

Et d'après les lois de tension d'un condensateur

$$U_C = \frac{q}{C} \quad (2)$$

$$Ri + \frac{Ldi}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (3)$$

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{CdU_C}{dt} \quad (4)$$

Ce qui permet d'exprimer l'équation (3) sous la forme (5) suivante :

$$L.C. \frac{d^2U_C}{dt^2} + RC \frac{dU_C}{dt} + U_C = 0 \quad (5)$$

La relation (5) est une équation différentielle du second ordre.

La solution est du type

$$U_C = Ae^{rt} \quad (6)$$

Avec A une constante. En éliminant la solution  $U_C = 0$  qui n'a pas de sens physique,

Si on substitue (6) dans (5) on obtient (7).

$$L.C.r^2 + R.C.r + 1 = 0 \quad (7)$$

On appelle cette équation « polynôme caractéristique de l'équation différentielle ».

Les solutions de ce polynôme permettent d'obtenir les solutions de l'équation différentielle (5).

#### a) Solution de l'équation différentielle (différents régimes)

$$\Delta = (R.C)^2 - 4L.C \quad (8)$$

✓ **Régime critique : Si  $\Delta = 0$**

Le polynôme admet une racine double négative, on a :

$$r_{1,2} = \frac{-R}{2L} \quad (9)$$

$$U_C(t) = (A_3t + A_4).e^{\frac{-R}{2L}t} \quad (10)$$

Où  $A_3, A_4$  sont des constantes d'intégration

On détermine les constantes  $A_3$  et  $A_4$  en utilisant les mêmes conditions que précédemment :

$$U_C(t=0) = E \Leftrightarrow A_4 = E \quad (11)$$

$$i.(t=0) = A_3 - (R/2L).A_4 = 0 \quad (12)$$

$$A_3 = \frac{R}{2L}A_4 = \frac{RE}{2L} \quad (13)$$

La solution s'écrit donc :

$$U_C = E \left( \frac{R}{2L}t + 1 \right) e^{\frac{-Rt}{2L}} \quad (14)$$

Signifiant l'absence d'oscillation électrique

✓ **Régime apériodique  $\Delta > 0$**

*Si  $\Delta > 0$  alors  $(RC)^2 > 4LC$*

Le polynôme admet deux racines négatives  $r_1, r_2$

$$r_{1,2} = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{\Delta}}{2LC} \quad (15)$$

La solution de l'équation différentielle s'écrit donc :

$$U_C(t) = A_1 e^{\left(\frac{-R}{2L} + \frac{\sqrt{\Delta}}{2LC}\right)t} + A_2 e^{\left(\frac{-R}{2L} - \frac{\sqrt{\Delta}}{2LC}\right)t} \quad (16)$$

Les racines étant toutes les deux négatives, on s'assure que la solution  $u(t)$  ne tend pas vers l'infini, cela n'aurait pas de signification physique.  $A_1, A_2$  sont des constantes

$$A_1 = \frac{r_2 E}{r_2 - r_1} \quad (17)$$

$$A_2 = \frac{-r_1 E}{r_2 - r_1} \quad (18)$$

$$U_C(t) = \frac{r_2}{r_2 - r_1} E e^{\left(\frac{-R}{2L} + \frac{\sqrt{\Delta}}{2LC}\right)t} - \frac{r_1}{r_2 - r_1} E e^{\left(\frac{-R}{2L} - \frac{\sqrt{\Delta}}{2LC}\right)t} \quad (19)$$

Dans ce cas, l'absence d'oscillation électrique provoque le retour à l'équilibre. C'est-à-dire que la lenteur est inversement proportionnelle à  $\lambda$ .

✓ Régime pseudopériodique : Si  $\Delta < 0$

$$U_C(t) = U_{C0} e^{\frac{-R}{2L}t} \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (20)$$

Avec 
$$\omega^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}$$

$U_{C0}$  et  $\varphi$  sont respectivement la tension et la phase initiale.

Ce qui est équivalent aussi à l'expression suivante :

$$U_C(t) = (A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t) e^{-\frac{Rt}{2L}} \quad (21)$$

On pose  $\lambda = \frac{R}{2L}$ , alors  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \lambda^2}$ ,  $E$  est la tension initiale aux borne du condensateur.

Cette solution est composée de deux parties, une partie oscillante à la pulsation  $\omega$  et l'autre représente la décroissance de l'amplitude  $U_C$  de manière exponentielle (Figure 2).

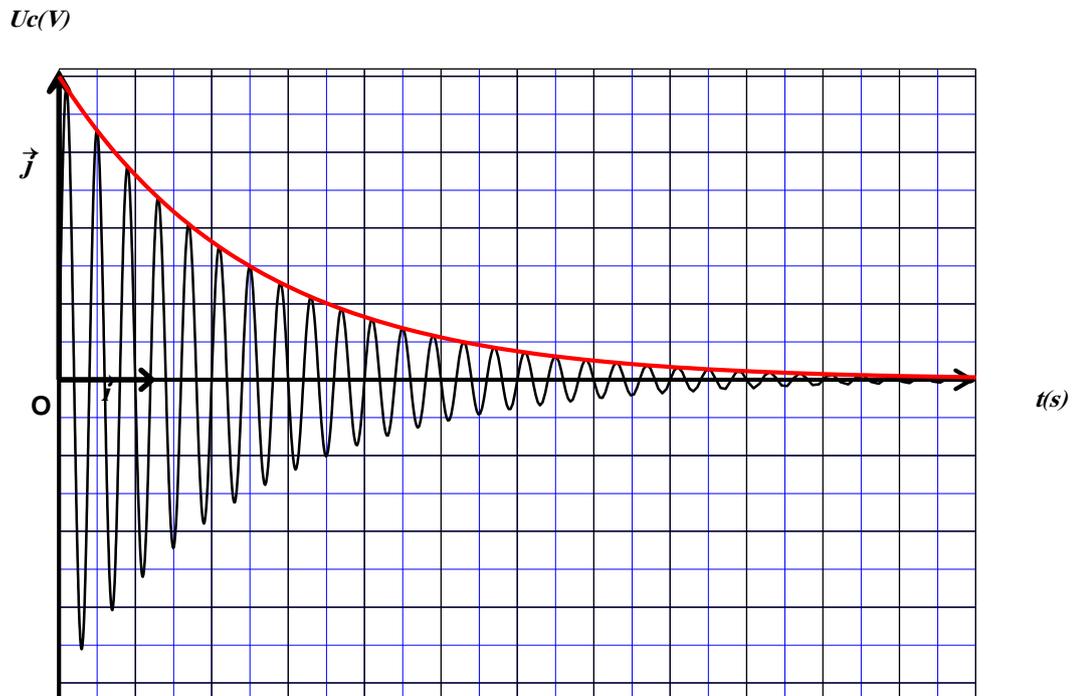


Figure 2 : Allure de la tension aux bornes du condensateur dans le régime pseudopériodique

b) Le décrément logarithmique du système  $\delta$  prend l'expression suivante.

$$\delta = \ln\left(\frac{U_C(t)}{U_C(t+T)}\right) = \lambda \cdot T \quad (22)$$

$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$  est la pulsation propre du circuit et  $T$  représente la pseudo période de  $U_C(t)$ .

c) Le facteur de qualité s'exprime par la relation suivante :

$$q = \frac{\omega_0}{2\lambda} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (23)$$

- ✓  $Q > \frac{1}{2}$  on a un régime pseudopériodique
- ✓  $Q = \frac{1}{2}$  on a un régime critique
- ✓  $Q < \frac{1}{2}$  on a un régime apériodique

## II. 2 : Circuit RLC en régime forcé.

Le montage de la figure 3 ci-après est alimenté par un générateur de tension alternative de pulsation  $\Omega$ :  $e(t) = e_0 \cdot \cos(\Omega t)$

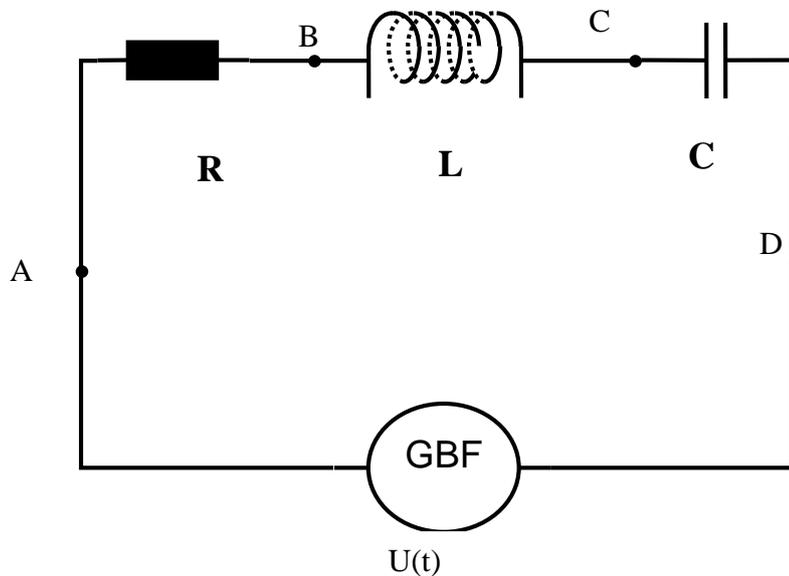


Figure 3 : Circuit RLC dans un régime forcé

Appliquons la loi d'additivité des tensions :

$$\frac{Ldi}{dt} + Ri + \frac{q}{C} = e(t) \quad (24)$$

$q$  et  $i$  sont la charge et l'intensité de courant passant respectivement à travers le circuit.

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{C \cdot dU_C}{dt} \quad (25)$$

En remplaçant (25) dans (24), on obtient l'équation différentielle linéaire homogène du second ordre dont  $U_c(t)$  est la solution.

$$\frac{d^2 U_c}{dt^2} - \frac{R \cdot dU_c}{L \cdot dt} + \frac{U_c}{L \cdot C} = e_0 \cos(\Omega t) \quad (26)$$

La solution générale de cette équation est égale à la somme de la solution de l'équation homogène (sans second membre) et de la solution particulière de l'équation générale (24) avec le second membre. Du moment qu'après un certain temps, l'équation homogène va s'annuler, il ne restera que la solution particulière qui prend la forme.

$$U_c = u_0 \cdot \cos(\Omega t + \varphi) \quad (27)$$

$$\text{Où} \quad U_0 = \frac{e_0}{\sqrt{(R \Omega C)^2 + (1 - L C \Omega^2)^2}} \quad (28)$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{R \cdot C}{1 - L \cdot C \cdot \Omega^2} \Omega\right) \quad (29)$$

On dérive  $U_{c0}$  par rapport  $\Omega$  et -on constate que  $U_{c0}$  atteint une valeur maximale (résonance) lorsque

$$\Omega_{\text{résonance}} = \sqrt{\left[\frac{-R^2 \cdot C^2 + 2L \cdot C}{2L^2 \cdot C^2}\right]} \quad (30)$$

Le coefficient de qualité du circuit est défini comme suit :

$$Q = \frac{U_{c0}}{U_0} \cdot \Omega_{\text{résonance}} = \frac{U_{c0 \text{ MAX}}}{e_0} \quad (31)$$

Si  $R^2 \cdot C^2$  est très petit devant  $L \cdot C$  alors

$$\Omega_{\text{résonance}} \approx \sqrt{\left[\frac{1}{L C}\right]} = \omega_0 \quad (32)$$

$\omega_0$  est la pulsation propre du circuit électrique contenant notamment la bobine et le condensateur.

Le maximum de  $U_{c0}$ ,  $U_{c0 \text{ max}}$  est donné avec une approximation via l'équation :

$$U_{c0 \text{ MAX}} = e_0 \cdot \sqrt{\frac{L}{C} \cdot \frac{1}{R C}} = \frac{L \omega_0}{R} e_0 \quad (33)$$

$$\text{D'où} \quad Q = L \omega_0 / R \quad (34)$$

La bande passante des fréquences dans laquelle

$$U_{C0} > \frac{1}{\sqrt{2} \cdot U_{C0 \text{ MAX}}}$$

Si les fréquences limitent pour lesquelles on a

$$U_{C0} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot U_{C0 \text{ MAX}}}$$

La bande passante est définie par l'expression littérale suivante :

$$B = \Omega_2 - \Omega_1$$

Si  $R^2 \cdot C^2$  est très petit devant  $L \cdot C$ , on peut démontrer à partir de l'équation (26) que  $B$  est approximativement égal à  $\frac{R}{L}$  et donc  $Q$  vaut :

$$Q = L \frac{1}{R \omega_0} = \frac{2\pi \cdot f_0}{B} \quad (35)$$

Où  $\omega_0, f_0$  sont respectivement la pulsation et la fréquence au moment de la résonance

### III : Etude expérimentale

#### III. 1 : Appareillage utilisé et description du dispositif

Pour étudier les oscillations amorties à travers un circuit RLC (figure 4), on a besoin du montage décrit par la figure 4 ci-dessous. Il est composé des éléments suivants :

- Oscilloscope
- Générateur (GBF) d'un signal carré
- Bobine (L)
- Condensateur (C)
- Fils de connexions.

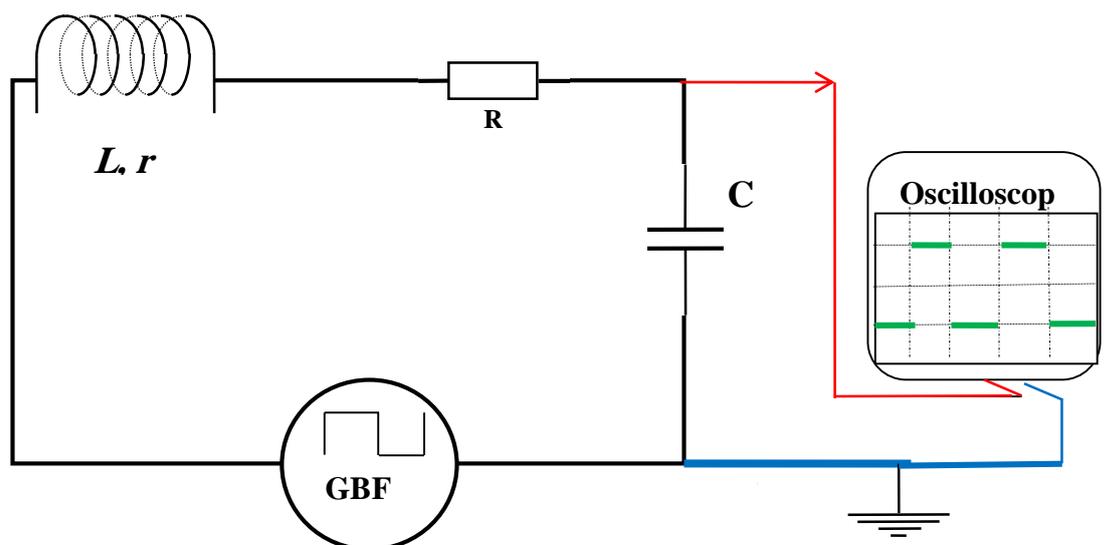


Figure 4 : Montage du circuit RLC dans un régime forcé, composé d'une résistance résultante ( $R+r$ ), d'un Condensateur  $C$  et d'une Bobine d'inductance  $L$  et un GBF qui applique un signal carré sous la forme  $e(t) = E_0$

### III. 2 : Manipulation 1 (Oscillations amorties)

#### III. 2. 1 : Buts de la manipulation

- Mesure de la pseudo-période d'oscillation
- Détermination du décrétement logarithmique

#### III. 2. 2 : Manipulation

A l'aide d'un GBF qui sert à délivrer un signal du type carré, le condensateur se charge durant une demi-période et durant l'autre demi-période il va se décharger.

- 1) Connecter l'entrée  $Y_I$  de l'oscilloscope aux bornes d'entrée du condensateur
- 2) Relever les valeurs visualisées à l'oscillogramme et dessiner le signal qui apparaît sur un papier millimétrique.
- 3) Mesurer la pseudo-période  $T_0$  en tenant compte des cinq premières pseudo-périodes successives qui apparaissent sur l'oscillogramme et relever les valeurs maximales des tensions entre les bornes du condensateur.
- 4) Faire varier la capacité du condensateur  $C$  dans le circuit et déterminer la pseudo-période correspondante  $T_0$ .
- 5) Remplir le tableau 1 ci-dessous.
- 6) Déterminer le décrétement logarithmique  $\delta$  et déterminer la résultante de la résistance  $R_T$ .

Tableau 1 : Mesure des tensions dans le cas d'un signal carré pour différentes capacités

$N$	1	2	3	4	5
$C_1(F)$					
$U_C(V)$					
$C_2(F)$					
$U_C(V)$					
$C_3(F)$					
$U_C(V)$					

### III. 3 : Manipulation 2

#### III. 3. 1 : Buts de la manipulation

- Détermination de la fréquence de résonance
- Détermination du coefficient de qualité  $Q$  du circuit oscillant

#### III. 2. 2 : Manipulation

#### Oscillations forcées

On reprend le montage précédent tout en changeant le signal carré par un signal sinusoïdal. On remplit les rubriques du tableau 2 suivant :

Tableau 2 : Détermination des amplitudes de tensions alternatives en fonction de la fréquence du signal

$f_{ex}(Hz)$									
$U_{co}(Volt)$									

- 1) Relever à l'aide de l'oscilloscope les valeurs de l'amplitude de la tension aux bornes du condensateur,  $U_{co}$  en fonction de la fréquence d'excitation  $f_{ex}$ .
- 2) Tracer  $U_{co}$  en fonction de la fréquence  $f_{ex}$ .
- 3) Déterminer la fréquence de résonance  $\Omega_{résonance}$ .
- 4) Déterminer graphiquement le coefficient de qualité  $Q$  du circuit oscillant.
- 5) Comparer cette valeur à celle déterminée théoriquement via l'expression (37).
- 6) Déduire la valeur de la résistance  $R_T$  du circuit à partir de coefficient de qualité  $Q$ .
- 7) Relever le déphasage entre les tensions du générateur  $e(t)$  et celle entre les bornes du condensateur.

## TP N° : 5

---

### Intitulé : Force de Laplace (Balance de Cotton)

---

#### I: Buts de l'expérience

- ✓ Détermination de la direction de la force de Laplace en fonction du sens du courant et de la direction du champ magnétique
- ✓ Pour un champ magnétique constant  $\vec{B}$ , on mesure la force de Laplace  $\vec{F}$  pour des boucles porteuses de courant de différentes dimensions  $L$  en fonction de la variation de l'intensité du courant  $I_L$  dans la boucle conductrice.
- ✓
- ✓ Détermination de la force de Laplace en faisant varier l'intensité du courant  $I_M$  parcourant la bobine de l'électro-aimant pour une boucle donnée  $L$

#### II : Rappel théorique

##### II. 1 : Loi de Lorentz

Une particule électrique de charge  $q$  se mouvant avec une vitesse  $\vec{v}$  et soumise à un champ magnétique  $\vec{B}$  subit une force  $\vec{f}$  appelée force de Lorentz qui s'écrit comme suit :

$$\vec{f} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} \quad (1)$$

##### II. 2 : Force de Laplace

Lorsqu' on dispose d'un segment conducteur parcouru par un courant d'intensité  $I$  et soumis à un champ magnétique  $\vec{B}$ , il subira l'action d'une force appelée force de Laplace qui s'écrit :

$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \wedge \vec{B} \quad (2)$$

Où  $\vec{L}$  est un vecteur de longueur  $L$ , parallèle au conducteur et orienté dans le sens du courant. Cette force de Laplace n'est autre que la résultante de l'ensemble des forces de Lorentz appliquée sur les charges composant le courant électrique (Figure 1).

Dans le cas où le champ magnétique  $\vec{B}$  est perpendiculaire à la direction du courant  $I$  le module de la force s'exprime par la relation :

$$F = I \cdot L \cdot B \quad (3)$$

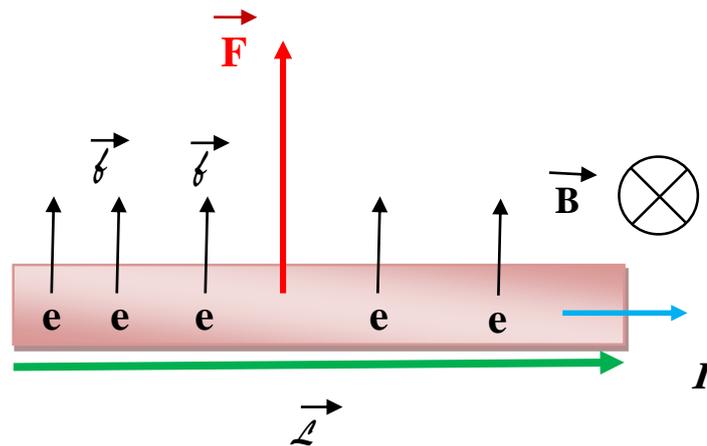


Figure 1 : Force s'exerçant sur un conducteur soumis à un champ magnétique

### II. 3 : Description de la balance de Cotton

La balance de Cotton, mise au point par le physicien français Cotton (1869 – 1951) est un outil de mesure du champ magnétique en utilisant la force de Laplace (précédemment décrite) qui s'exerce sur la branche horizontale d'un cadre métallique parcouru par un courant qu'on peut soumettre à un champ magnétique (Figure 2). Ce cadre fait l'objet de l'un des deux bras de la balance.

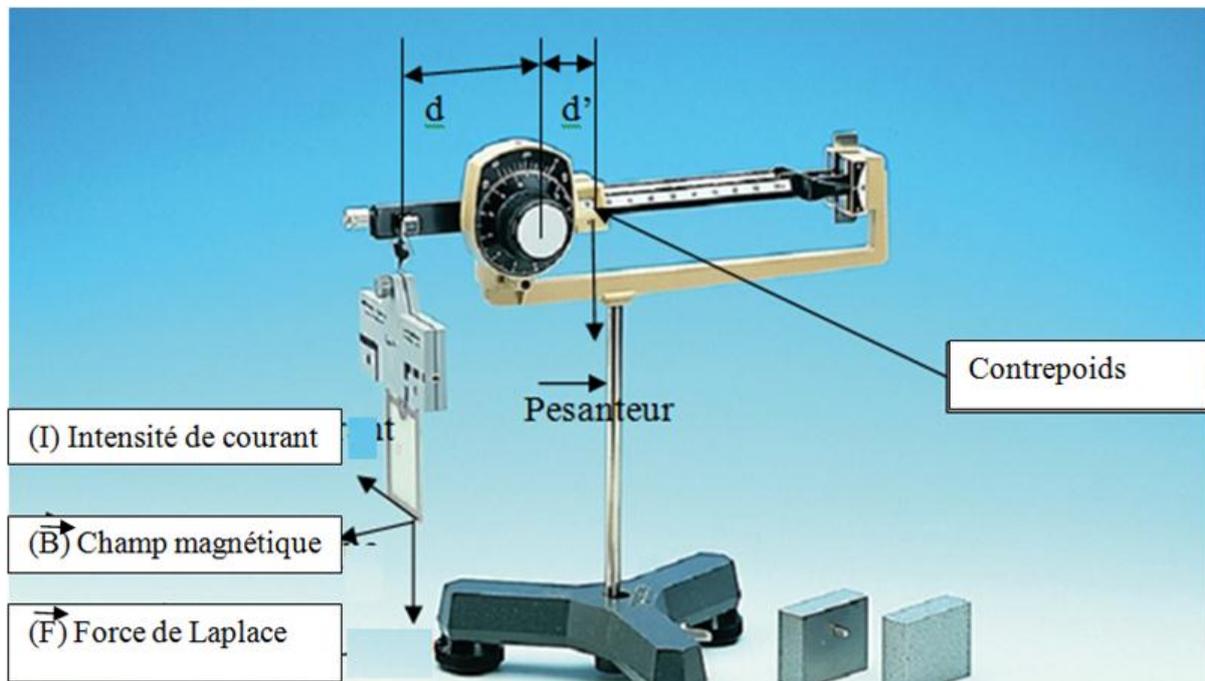


Figure 2 : Photographie de la balance de Cotton et illustration de la force de Laplace.

Lorsque la force est nulle, on ajuste la balance de telle manière qu'elle soit horizontale. En présence de la force de Laplace  $F$  (présence d'un courant au sein du cadre), un déséquilibre se produit dans cette balance.

On la rééquilibre avec un contre poids (Figure 2) qui permet de mesurer la force de Laplace.

L'équilibre de la balance s'établit lorsque la somme des moments des forces est nulle. Dans ce cas, on obtient :

$F.d = P.d'$  (se référer à la figure 2)

En remplaçant F par sa valeur, on écrit :

$$F.d = I_1 L B.d = \Delta m.g.d' \quad (4)$$

D'où :

$$B = \frac{\Delta m.g}{I_1.L} \cdot \frac{d'}{d} \text{ avec } d=d'$$

Cette expression devient :

$$B = \frac{(m-m_0).g}{I_1.L} \quad (5)$$

### III : Etude expérimentale

#### III. 1 : Appareillage et montage de l'expérience :

Le montage sur la figure 3 utilise le matériel suivant :

- Ampèremètre
- Trépied
- Tige carrée  $l = 1000$  mm
- Balance
- Pièces polaires, rectangulaires,
- Jeu de boucles de fil,  $L = 12.5, 25, 50$  une seule spire et  $50$  mm avec  $2$  spires,
- Noyau en U, feuilleté
- Base pour noyau
- Bobine,  $900$  spires
- Ruban métallique alimentant la boucle
- Distributeur
- Redresseur en pont,  $30$  VAC/1 ADC
- Interrupteur On / Off
- Alimentation universelle
- Jeu de fils de connexion,
- Support base, variable
- Tige de support, acier inoxydable 18/8,  $l = 1000$  mm



Figure 3 : Photographie de la manipulation de balance de Cotton

### III. 2 : Caractéristiques de la force de Laplace (Manipulation 1)

#### III. 2. 1 : Buts de la manipulation

- Détermination du sens de la force de Laplace en fonction du sens du courant et celle du champ magnétique appliqué

#### III. 2. 2 : Manipulation

On désire déterminer le sens de la force de Laplace en fonction du sens du courant et celle du champ magnétique appliqué.

- 1) Ajuster la branche  $AD=L$  de la boucle de courant entre l'entrefer des deux bobines de sorte que le champ magnétique soit perpendiculaire au plan de la boucle.
- 2) Régler l'aiguille de la balance jusqu'à ce que la graduation soit **0** côté contrepoids coulissant sur la figure 2
- 3) Noter la masse  $m_0$  associée à l'état d'équilibre horizontal des bras de la balance.
- 4) Appliquer au montage une tension électrique :
  - a) Faire circuler un courant d'intensité  $I$  dans la boucle. Que se passe-t-il ?

- b) Même question si l'on change le sens du courant ?  
 c) Il est en de même dans le cas où l'on change les dipôles de la bobine. Qu'observez-vous ?

### III. 3 : Manipulation 2

#### III. 3. 1 : But de la manipulation

- Mesure de la force de Laplace en fonction de l'intensité de courant parcourant la boucle

#### III. 3. 2 : Manipulation

On procède à une série de mesures de la force de Laplace en changeant à chaque fois l'intensité du courant parcourant la boucle ABCD. On maintient la longueur  $L = CD$  de la branche introduite entre les deux entrefers.

Remplir les différentes rubriques du tableau 1

On refait les mêmes mesures que précédemment en changeant la longueur de la boucle du courant.

- 1) Remplir les tableaux 1, 2, 3 et 4 correspondants aux longueurs des boucles  $L = 0,0125$  m,  $0,025$  m,  $0,05$  m et  $0,100$  m respectivement.
- 2) Calculer les valeurs des champs magnétiques  $\mathbf{B}$  de chaque branche  $L$  et l'enregistrer dans les cases des tableaux correspondant.

Tableau 1 : Mesure de  $B$  au moyen de la détermination de  $F$  (force de Laplace) pour différentes valeurs de  $I_L$  dans le cas où  $L = 0,0125$  m

$L(m)$	0,0125 ±0,001 m									
$g (ms^{-2})$	9,80 ±0,01 $ms^{-2}$									
$I_m (A)$	Intensité de courant parcourant la bobine $I = 0,870$ A									
$m_0 (Kg)$	.....kg				$\Delta m =$ .....					
$I_L (A)$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$\Delta I_L = \frac{\text{calibre} \times \text{classe}}{100}$										
$m (Kg)$										
$\Delta m = m - m_0 (Kg)$										
$F(N) = \Delta m . g$										
$B = \frac{(m - m_0) . g}{I_L . L}$										

Tableau 2 : Mesure de B au moyen de la détermination de F (force de Laplace) pour différentes valeurs de  $I_L$  dans le cas où  $L=0,025$  m

$L(m)$	0,025 ±0,001 m									
$g (ms^{-2})$	9,80 ±0,01 $ms^{-2}$									
$I_m(A)$	Intensité de courant parcourant la bobine = 0,870 A									
$m_0(Kg)$	.....kg					$\Delta m =$ .....				
$I(A)$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$\Delta I_L = \frac{\text{calibre} \times \text{classe}}{100}$										
$m (Kg)$										
$\Delta m = m - m_0 (Kg)$										
$F(N) = \Delta m \cdot g$										
$B = \frac{(m - m_0) \cdot g}{I_L \cdot L}$										

Tableau 3 : Mesure de B au moyen de la détermination de F (force de Laplace) pour différentes valeurs de  $I_L$  dans le cas où  $L=0,05$  m

$L(m)$	0,05 ±0,001 m									
$g (ms^{-2})$	9,80 ±0,01 $ms^{-2}$									
$I_m(A)$	Intensité de courant parcourant la bobine = 0,870 A									
$m_0(Kg)$	.....kg					$\Delta m =$ .....				
$I(A)$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$\Delta I_L = \frac{\text{calibre} \times \text{classe}}{100}$										
$m (Kg)$										
$\Delta m = m - m_0 (Kg)$										
$F(N) = \Delta m \cdot g$										
$B = \frac{(m - m_0) \cdot g}{I_L \cdot L}$										

Tableau 4 : Mesure de B au moyen de la détermination de F (force de Laplace) pour différentes valeurs de  $I_L$  dans le cas où  $L=0,1$  m

$L(m)$	0,10 ±0,001 m									
$g (ms^{-2})$	9,80 ±0,01 $ms^{-2}$									
$I_m(A)$	Intensité de courant parcourant la bobine = 0,870 A									
$m_0(Kg)$	.....kg					$\Delta m =$ .....kg.				
$I(A)$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$\Delta I_L = \frac{\text{calibre} \times \text{classe}}{100}$										
$m (Kg)$										
$\Delta m = m - m_0 (Kg)$										
$F(N) = \Delta m \cdot g$										
$B = \frac{(m - m_0) \cdot g}{I_L \cdot L}$										

3) Commenter les valeurs de champs magnétiques écrits  $B \pm \Delta B$  pour chaque tableau

### III. 4 : Manipulation 3

#### III. 4. 1 : But de la manipulation

- Etude de la variation de la force de Laplace en fonction de la longueur de la boucle

#### III. 4. 2 : Manipulation

- 1) Dresser un tableau contenant les valeurs calculées des champs magnétiques et les longueurs des boucles **L**

Tableau 5 : Variation de la force en fonction de la longueur de la boucle

$I_L$ (Ampère)	$I_L = 5 A \pm \dots\dots\dots$		$\Delta I_L = \frac{\text{calibre} \times \text{classe}}{100} \dots\dots\dots A.$	
$L$ (mètre)	0,0125	0,025	0,050	0,10
$B$ (Tesla)				

Exploiter les tableaux précédents afin de pouvoir répondre aux questions ci-après

- 1) Tracer le graphe de la force de Laplace en fonction de la longueur de la branche (**CD = L**).
- 2) Quel est l'allure de cette variation.
- 3) Commenter les résultats obtenus.

### III. 5 : Manipulation 4

#### III. 4. 1 : But de la manipulation

- Etude de la variation de la force de Laplace en fonction de l'intensité du courant **IM** parcourant la bobine

#### III. 4. 2 : Manipulation

En maintenant la boucle ( $L = 100 \text{ mm}$ ) et en procédant à une série de mesures de la force de Laplace pour chaque valeur de l'intensité du courant parcourant la bobine, remplir les rubriques du tableau 6 suivant :

Tableau 6 : Variation de la force de Laplace en fonction du courant parcourant la bobine

$I_L$ (A)	$I_L = 5 A$			$\Delta I_M = \dots\dots\dots(A)$		
$L$ (m)	$L = 100 \text{ mm}$			$\Delta L = \dots\dots\dots(m)$		
$I_M$ (mA)	100	160	400	600	750	900
$\Delta I_M = \frac{\text{calibre} \times \text{classe}}{100}$						
$F = \Delta m \cdot g$						

- 1) Tracer le graphe de la force de Laplace en fonction de l'intensité du courant parcourant la bobine  $F = f(I_M)$
- 2) Déterminer la relation de proportionnalité entre la densité de flux magnétique (**B**) et l'intensité de courant qui traverse la bobine.
- 3) Dédire la constante de proportionnalité.
- 4) Quel est votre commentaire ?

## TP N° : 6

### Intitulé : Etude du pendule Simple

#### I : Buts de l'expérience

Dans le présent travail pratique (TP) on cherche à caractériser le mouvement d'un pendule simple, en étudiant l'influence des paramètres physiques tels que la longueur du fil et l'angle de déviation sur la mesure de sa période propre.

On se fixe comme but

- ✓ Déterminer, pour les petites déviations par rapport à la position d'équilibre, la période d'oscillation en fonction de la longueur du fil.
- ✓ Trouver l'accélération due à la pesanteur.

#### II : Rappels théoriques

On réalise le montage présenté sur la figure 1

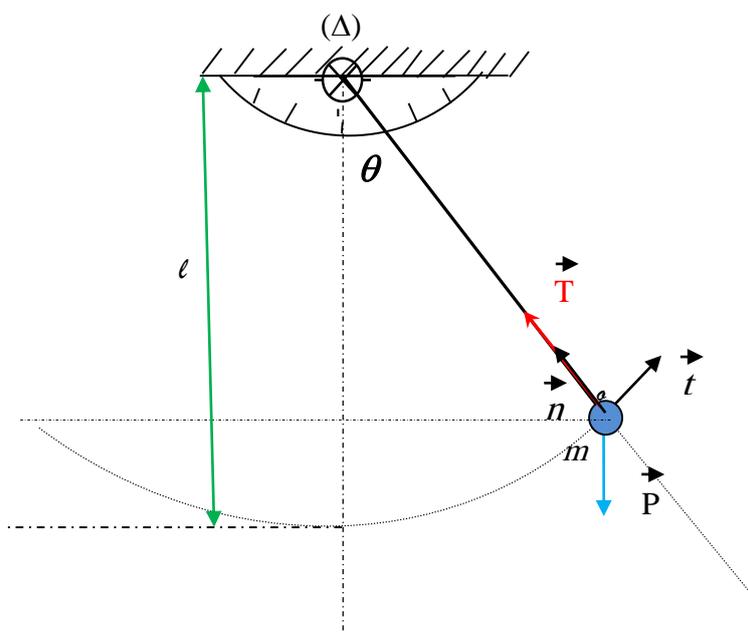


Figure 1 : Schéma du principe de fonctionnement du pendule simple.

En négligeant, la masse du fil, les seules forces extérieures appliquées à la masse sont son poids  $\vec{P}$  et la tension  $\vec{T}$  du fil.

En appliquant la deuxième loi de Newton au mouvement de la masse, on exprime les relations suivantes :

$$\sum M_{\vec{F}_{ext}}(\Delta) = I_{(\Delta)}\ddot{\theta}(t) \quad (1)$$

Où :

$M_{\vec{F}_{ext}}(\Delta)$  est le moment de chacune des forces extérieures exercées sur la masse par rapport à l'axe de rotation ( $\Delta$ )

$I(\Delta)$  est le moment d'inertie du pendule par rapport à l'axe de rotation ( $\Delta$ ).

$\ddot{\theta}$  est l'accélération angulaire du mouvement,

En projetant sur la composante tangentielle, on obtient donc :

$$ml^2\ddot{\theta} = -mgl\sin\theta \quad (2)$$

Qu'on peut arranger sous la forme :

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \sin\theta = 0 \quad (3)$$

Ou encore sous la forme suivante dans le cas de faibles oscillations :

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta(t) = 0 \quad (4)$$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$  est la pulsation propre du pendule

La période  $T_0$  des faibles oscillations est alors donnée par :

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (5)$$

Dans le cas d'oscillations de grands angles  $\theta$ , la période  $T$  s'obtient par la relation suivante :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1}{16} \sin^2 \frac{\theta}{2} + \dots\right) \quad (6)$$

### III : Etude expérimentale

#### III. 1 : Principe de l'expérience

On écarte une masse de faible taille attachée à un fil inextensible et soumise à l'action de la force de pesanteur de sa position au repos d'un angle  $\theta_0$ . La période des oscillations ainsi produites est mesurée en fonction de la longueur du fil  $L$  et de l'angle de déviation  $\theta$  et l'accélération de la pesanteur  $g$ .

#### III. 2 : Appareillage utilisé et description expérimentale

Le montage expérimental est composé de (Figure 2) :

- Barrière optique avec compteur
- Alimentation 5 V DC/2,4 A
  - Bille en acier avec œillet,  $d = 25.4$  mm
  - Bille en acier avec œillet,  $d = 32$  mm
- Mètre de démonstration,  $L = 1000 \times 27$
- Curseur pour mètre,
- Fil de pêche,  $d = 0,5$  mm,
- Noix double PASS
- Plaques de serrage sur tige
- Tige de support carrée PASS,  $L = 1250$  mm
- Trépied
- Rapporteur



Figure 2 : Photographie du montage de pendule simple

### III. 3 : Manipulation 1

#### III. 3. 1 : But de la manipulation

- Variation de la période  $T$  des oscillations du pendule en fonction de la longueur  $L$

#### III. 3. 2 : Manipulation

La bille est écartée de sa position d'équilibre d'un angle  $\theta$  faible puis abandonnée à elle seule sous l'effet de son poids.

Si on veut mesurer une demi-période  $\frac{T}{2}$  de ce pendule en exploitant le compteur à quatre décades, la bille du pendule doit passer deux fois devant la barrière optique infrarouge (**IR**). La mesure du temps commence lors du premier passage du fil, et s'arrête lors du deuxième passage de fil.

A l'aide du rapporteur, on choisit un angle  $\theta$  initial assez faible ( $\theta = 6^\circ$ ), dans le cas d'une longueur  $L$  donnée du pendule. On fait une mesure de  $\frac{T}{2}$  qu'on répète trois fois. On note la

moyenne des demi-périodes  $\frac{T}{2}$  sur le tableau 1. L'étape suivante consiste à changer la longueur du fil et refaire la même série de mesures.

Du moment que la bille a une taille appréciable, la longueur  $L$  du pendule est la somme de la longueur  $l$  du fil et le rayon de la bille  $\mathcal{R}$ .

Etant donné que le fil utilisé n'est pas parfaitement inextensible lors de son utilisation, il est conseillé de mesurer sa longueur avant et après chaque mesure, La valeur de la longueur du fil introduite dans le tableau est la moyenne des deux.

Tableau 1 : Variation de la période  $T$  en fonction de la longueur  $L$  du pendule.  $T_m$  étant la valeur mesurée de la période

Mesurer le diamètre de la bille et Estimer l'incertitude commise	$\mathcal{R}$ .....(m)	$\Delta\mathcal{R} = \pm \dots$ (m)
Estimer l'incertitude sur les longueurs fils :	$\Delta l = \pm \dots$ (m)	$\Delta L = \pm \dots$ (m)
L'angle $\theta$ (rad) $\leq 6^\circ$	$\theta = \dots$ (rad)	$\Delta\theta = \pm \dots$ (rad)
$l$ (m)		
$L = (l + \mathcal{R})$ en(m)		
$X = \ln(L)$		
$\frac{T_1}{2}$ (s)		
$\frac{T_2}{2}$ (s)		
$\frac{T_3}{2}$ (s)		
$T_m$ (s)		
$T_m^2$ (s)		
$Y = \ln(T_m)$		
$\Delta T$		
$T_0(\theta) = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$		
$T_1(\theta) = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}\left(1 + \frac{\theta^2}{16}\right)}$		

**Remarque :**  $T_1$  est la période des oscillations faibles lorsqu'on tient compte du second ordre de développement de  $T$

- 1) Représenter graphiquement les variations de  $\ln(T_m) = f(\ln(L))$  c'est-à dire  $Y = f(X)$ .
- 2) Commenter le graphe obtenu.

- 3) A partir du graphe, en déduire la pente ( $a$ ) et l'ordonnée à l'origine ( $b$ ), de cette droite.
- 4) Modéliser le nuage des points (l'équation de la courbe)
- 5) Déduire l'équation de  $T_m = f(L)$
- 6) Tracer la courbe représentative de  $T_m = f(\sqrt{L})$ . Quelle est l'allure de ce graphe ?
- 7) Ecrire l'équation T en fonction de  $\sqrt{L}$ .
- 8) Déduire la pente ( $a'$ ) et l'ordonnée à l'origine ( $b'$ ).
- 9) Comparer la valeur de l'ordonnée ( $b$ ) (graphe 1) avec la valeur  $\ln(a')$  (graphe 2), commenter.
- 10) A partir du tableau 1, distinguer l'expression de la période (c.-à-d.  $T_0$  ou  $T_1$ ). Quel est la valeur la plus en accord avec la valeur expérimentale obtenue  $T_m$ . Argumenter votre choix.
- 11) En utilisant le modèle approprié de la période, déterminer l'accélération de la pesanteur au sein du laboratoire et comparer la avec la valeur bien connue de  $= 9,8 \text{ ms}^{-2}$ .
- 12) Présenter la valeur calculée sous la forme  $g \pm \Delta g$ .

### III. 4 : Manipulation 2

#### III. 4. 1 : But de la manipulation

- Variation de la période T en fonction de l'angle  $\theta$   $\square$

#### III. 4. 2 : Manipulation

Si l'on fixe la longueur  $L$  du pendule pour différentes valeurs de  $\theta$ ,

- 1) Mesurer  $\frac{T}{T_0}$  et remplir le tableau 2 ci-après.
- 2) Tracer les variations de  $\frac{T}{T_0} = f(\sin^2(\frac{\theta}{2}))$ .
- 3) A partir du graphe, en déduire la pente  $a$  et l'ordonnée à l'origine  $b$  de cette droite.
- 4) Modéliser le nuage des points.
- 5) Comparer l'expression obtenue graphiquement avec celle connue à partir du tableau 2.
- 6) Quel sera l'impact de la masse suspendue au fil (influence sur la période) ?
- 7) Exprimer votre commentaire sur l'influence des amplitudes angulaires qui dépassent  $6^\circ$  sur la période.

Tableau 2 : Variation de la période  $T$  en fonction de l'angle  $\theta$

Longueur de pendule (m)	L = .....			$\Delta L = \dots\dots\dots$				
Amplitude angulaire $\theta$ (rad)								
$\frac{T_1}{2}$ (s)								
$\frac{T_2}{2}$ (s)								
$\frac{T_3}{2}$ (s)								
$T_m$ (s)								
$\Delta T$ (s)								
$X = \text{Sin}^2(\theta/2)$								
$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$								
$Y = \frac{T_m}{T_0}$								
$T_1(\theta) = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{\theta}{2}\right)$								

## Références

- [1] J. Taylor, Incertitudes et analyse des erreurs dans les mesures physique, traduit par Lionel et P. Raynaud, Paris 2000.
- [2] Catalogues PHYWE physique Systeme GmbH et Co. KGD-37070 Göttingen Allemagne.
- [3] J. M. Brébec, T. Chaboud, Thierry. Desmarais, A. Favier, M. Ménétrier, Physique 1ère année MPSI PCSI PTSI : Hachette. Supérieur 2010.
- [4] C.K. Alexander, M. N. O. Sadiku, États-Unis d'Amérique 2013
- [5] H. El Bahi, Travaux Pratiques de Physique 3 TCT 2<sup>ème</sup> année ondes et Vibration Université Badji Mokhtar 2011.
- [6] N. H. Baakek Yettou Travaux Pratiques d'électricité LMD : tronc commun GBM Université Abou-Bakr-Belkaid Tlemcen 2018.
- [7] M. Nicolas, Onde et électromagnétisme, Parcoure Ingénieur, Dunod, Paris, 2009.