



جامعة سيدي محمد بن عبد الله
كلية العلوم دهر المهرار

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
كلية العلوم دهر المهرار

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences Dhar Mahraz



DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

TRAVAUX - PRATIQUES DE PHYSIQUE

Semestre 4- Module-

ELECTRICITE 2

FILIERES : SMI

Semestre 4

Année universitaire 2017-2018

Réalisé par :

Pr. A. REZZOUK

Pr. N. BENZAKOUR

Fascicule TP en ligne :

Site : <http://www.fsdmfes.ac.ma/> (voir ressources pédagogiques/filière SMI/S4)

TABLES DES MATIERES

<i>I. Circuit résonnant RLC en série avec l'interface Cobra3</i>	03
<i>(Conçu et réalisé par le Pr. N. BENZAKOUR, FSDM – FES -Dépt. Phys. En 2016/2017)</i>	

<i>II. Champ magnétique de bobines simples - Loi de Biot –Savart Avec un module de mesure Cobra3/Tesla</i>	14
<i>(Conçu et réalisé par le Pr. A. REZZOUK, FSDM – FES - Dépt. Phys. En 2016/2017)</i>	

<i>III. Charge et décharge d'un condensateur et d'une bobine avec module générateur de fonctions / Cobra3</i>	29
<i>(Conçu et réalisé par le Pr. A. REZZOUK, FSDM – FES -Dépt. Phys. En 2016/2017)</i>	

TP.1 : Circuit RLC en série avec l'interface Cobra3

(Conçu et réalisé par le Pr. N. BENZAKOUR, FSDM-FES-Dépt.Phys. En 2016/2017)



But de la manipulation :

Cette manipulation permet d'étudier le phénomène de résonance du circuit RLC (montage série et montage parallèle) avec une interface de mesure appelée Cobra3 et pilotée par un logiciel appelé '**Power Graph**'.

Le but de la manipulation est d'étudier la variation de l'impédance et du courant en fonction du temps et en fonction de la fréquence et d'en déduire la fréquence de résonance, du facteur de qualité et du déphasage courant tension en fonction de la fréquence.

Etude théorique.

Nous prenons la tension d'alimentation du circuit $u(t) = U \sin(\omega t)$ dont la phase est prise pour origine des phases. Le courant I traversant le circuit est donné par :

$i(t) = I \sin(\omega t - \varphi)$ avec φ est le déphasage entre la tension et le courant.

L'étude des circuits en courant alternatif est ramenée à la résolution d'équations différentielles de forme générale:

$$\sum \left[Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t) dt - u(t) \right] = 0 \quad (I)$$

Avec R , L , C , u sont respectivement la résistance, l'inductance, la capacité et force électromotrice du circuit.

La résolution de telles équations peut se faire avec la méthode directe analytique. On utilisera la méthode complexe (voir polycopie de cours pour les autres méthodes de résolution).

Dans cette méthode on représente chaque grandeur instantanée : $a(t) = A_m \sin(\omega t + \varphi)$ par son amplitude complexe associée définie par : $\bar{A}_m = A_m \exp(j\varphi)$. Les lois de Kirchhoff et tous les théorèmes généraux restent valables en courant alternatif avec les amplitudes complexes. Ainsi pour une résistance pure : $\bar{Z} = R$, pour un condensateur pur : $\bar{Z} = \frac{1}{jC\omega}$ et pour une inductance pure: $\bar{Z} = jL\omega$

L'impédance équivalente Z_s de plusieurs impédances Z_i en série est donnée par : $\bar{Z}_s = \sum_i \bar{Z}_i$

L'impédance équivalente Z_p pour une combinaison d'impédances Z_i en parallèles, est donnée par : $\bar{Z}_p = \left(\sum_i \frac{1}{\bar{Z}_i} \right)^{-1}$

Montage RLC en série :

On applique cette méthode au circuit RLC série, on obtient :

$\bar{Z}_s = R + j(L\omega - \frac{1}{C\omega})$ et $\bar{I} = U/\bar{Z}_s$ avec $(\bar{U} = U)$ ce qui implique :

$$I = \frac{U}{|\bar{Z}|} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}} \text{ et } \varphi = \arg(\bar{Z}) = -\arg(\bar{I}) \Rightarrow \tan(\varphi) = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \quad (2)$$

Mesure du déphasage avec la méthode de Lissajous :

Cette méthode consiste à représenter la tension en fonction du courant en éliminant le temps. On obtient la courbe de Lissajous suivante :

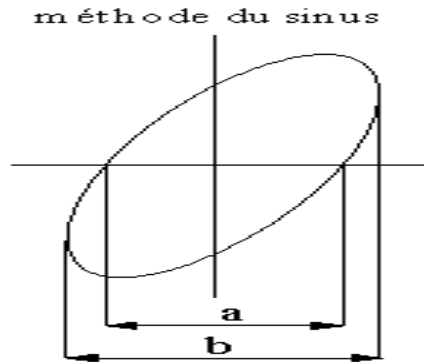


Figure 1 : Méthode de Lissajous

Le déphasage φ est donné par la formule suivante : $\sin(\varphi) = \frac{a}{b}$ (3)

Phénomène de résonance :

D'après la relation (2), on a : $i(t) = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}} \sin(\omega t - \varphi)$ (4)

La résonance est observée lorsque l'amplitude I_m en fonction de la fréquence est maximale c'est-à-dire lorsque l'impédance est minimale. Ce qui est obtenu lorsque : $\omega = \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ par conséquent $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}\right) = 0$. $f_o = \omega_o/2\pi$ est la fréquence de résonance.

La figure 2 montre la variation de l'impédance Z en fonction de la fréquence ; pour 3 résistances différentes (a) et pour 3 capacités différentes (b). Le minimum de Z correspond à la fréquence de résonance. Celle-ci ne dépend pas de R (Fig.2a), mais elle diminue lorsque C augmente (Fig.2b).

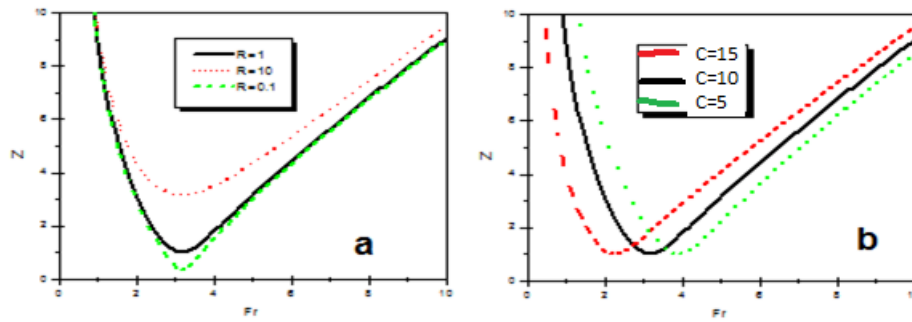


Figure 2

Facteur de qualité et bande passante:

La courbe de résonance du circuit est celle donnant les variations relatives du courant avec la fréquence soit:

$$\frac{|I|}{I} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L\omega_o}{R}\right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)^2}}$$

En introduisant le facteur de qualité Q défini par: $Q = \frac{L\omega_o}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ et en posant

$$X = \frac{\omega}{\omega_o}, \text{ on réécrit le rapport } \frac{|I|}{I_m} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(X - \frac{1}{X}\right)^2}}$$

On définit également Q en fonction de la largeur de la bande passante (Fig. 3) $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$. ω_1 , ω_2 et ω_1 sont les fréquences de coupures obtenues lorsque $I_m = \frac{I_{mMax}}{\sqrt{2}}$

$$Q_{mes} = \frac{\omega_o}{\Delta\omega} = \frac{f_o}{\Delta f} \quad (5)$$

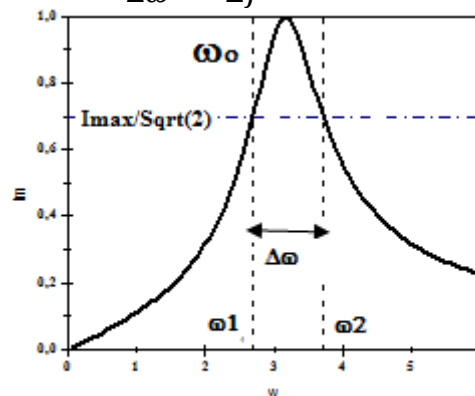


Figure 3

Remarque : La valeur de Q_{mes} est obtenue à partir de la mesure du courant en fonction de la fréquence.

Montage RLC en Parallèle :

$$\text{Pour le montage RLC parallèle : } \bar{Z} = \frac{R[L^2\omega^2 + jRL\omega(1-LC\omega^2)]}{R^2(1-LC\omega^2)^2 + L^2\omega^2}$$

La variation du courant dans ce montage passe par un minimum on parle alors de phénomène d'antirésonance.

Manipulation:

1. Matériels :

- Cobra3 Basic-Unit : C'est une interface de mesure qui dispose de modules enfichables : trois entrées analogiques, connecteur 25pin pour le module générateur de tension, 2 ports capteurs analogiques (Analog In1 et Analog In2) et 2 modules chronomètre/compteur. (Fig.4)
- Générateur de fonction : C'est un générateur de tension ou de courant de forme sinusoïdale, triangulaire ou carré.
- Un jeu de résistances ($R_D = 100\ \Omega$, $220\ \Omega$, et $470\ \Omega$).
- Un jeu de condensateurs de capacité : $C\ 1\ \mu F$, $2.2\ \mu F$ et $4.7\ \mu F$
- Une bobine : $L=0.3\ H$ avec une résistance interne $R_L=150\ \Omega$
- Boitier de connexion
- PC avec le logiciel PowerGraph. C'est un logiciel qui permet la capture, la visualisation, le traitement et l'évaluation des données mesurées. Les données peuvent être capturées via un ou plusieurs canaux et être évaluées au même temps



Fig. 4 Interface de mesure Cobra 3



Fig.5. Générateur de fonction

Procédure expérimentale

- ✓ Réaliser le circuit RLC en série comme c'est schématisé à la figure 6.

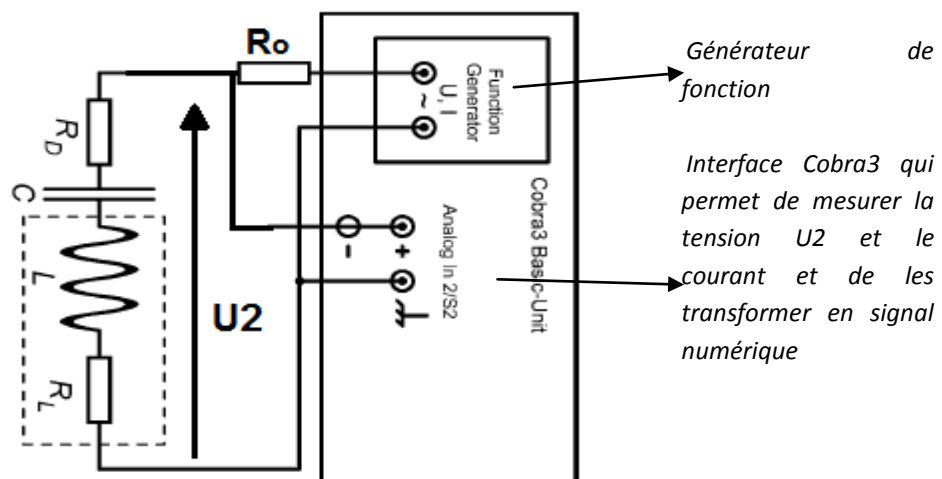
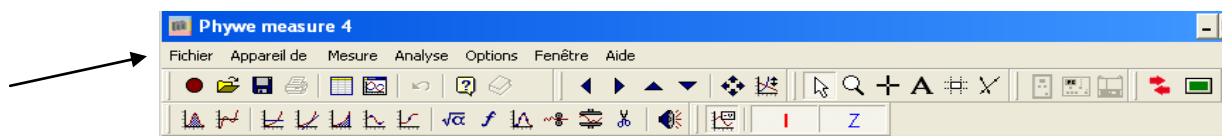


Figure 6 : Montage RLC en série. $R_0 = 100\ \Omega$; $R_D = 470\ \Omega$, $C = 2.2\ \mu F$, $L = 0.3\ H$.

$R_0=100\Omega$ est une résistance pour minimiser les interférences possibles entre la mesure de U_2 et U .

- ✓ Connecter le générateur de fonction à l'interface (module)
- ✓ Connecter les pôles du circuit RLC sur l'entrée Analog In2/S2 de l'interface pour mesurer U_2 .
- ✓ Connecter l'interface au PC (Port USB)
- ✓ Lancer le programme 'Circuit RLC'. On obtient l'écran suivant.



- ✓ Mettre sous tension vos appareils. Après sélectionner Appareil de mesure/PowerGraph/. On obtient la figure suivante(Fig.7). Sur cet écran il y'a une barre de menu et 3 interfaces actives à utiliser.
- ✓ La première interface permet de paramétrer la tension d'alimentation U (forme, amplitude, etc...). Cliquer sur l'interface du 'générateur' et définir les paramètres comme à la figure 8a (ces paramètres sont déjà réglés).
- ✓ La 2^{ème} interface 'Analog S2' permet de paramétrer la tension à mesurer (U_2) dans ce canal. (Cliquer sur l'interface et définir les paramètres comme à la figure 8b (ces paramètres sont déjà réglés).
- ✓ Cliquer sur l'interface 'Canal 1' de la partie 'Appareil de mesure Virtuel' et définir les paramètres comme à la figure 9

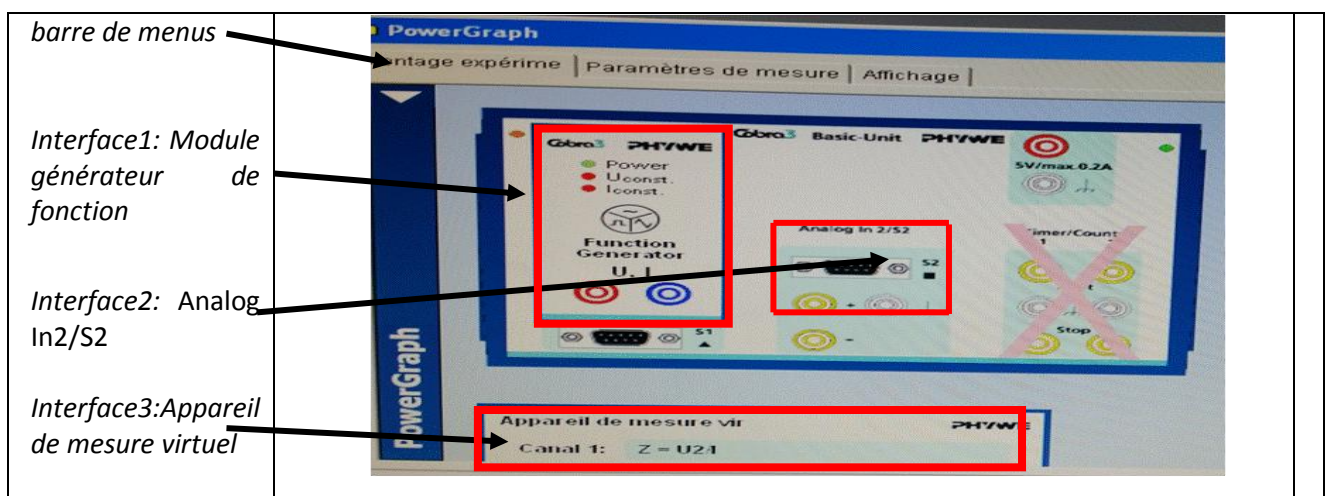


Figure 7 : Schéma de l'interface appareil de mesure 'PowerGraph'.

(a)

Module: Générateur de fonction (12111.0)

Paramètres de module

Mode de fonctionnement: Rampe de fréquence

Paramètres du signal

Type de signal: Tension

Forme du signal: Sinus

Amplitude: 9000 mV

Fréquence: 100 Hz

DC-Offset: 0 mV

Canal de mesure Intensité

Appellation: I

☐ Moyenne

☒ Affichage digital

Amplitude canal

Appellation: U

☐ Affichage digital

Fréquence canal

Appellation: frq

☒ Affichage digital

Rampeneinstellungen

Commencement: 20 Hz

Fin: 800 Hz

Pas: 20 Hz

Délai: 0 s

Canal trigger

Appellation: FG

(b)

Cobra3 Unité de base - Entrée analogique 2 / S2

Module / Capteur: Mesure Burst

Paramètres du canal

Appellation: U2

Mode: Amplitude

Nombre d'échantillo: 256

Fréquence d'échan: Durée d'échantillonna

Durée d'échantillo: 10,000 ms

Domaine de mesure: 10V

Unité: mV

☐ Moyenne

☒ Affichage digital

OK

Figure 8 : (a) Paramètres du générateur de fonction. (b) Paramètres de l'entrée Analog 2.

Appareil virtuel - Canal1

Mode: Canal calculé

Fonction:

Fonction: U2/I

Canal source1: Intensité I Variable = I

Canal source2: Tension U2 Variable = U2

Canal source3: éteint

Canal source4: éteint

Paramètres du canal

Titre: Impedance

Grandeur mesurée: Z

Unité: Ohm

Chiffres significatifs: 2

☒ Affichage digital

OK Inter

Figure 9 : Ce menu permet calculer l'impédance à partir des mesures de U_2 et de I en fonction de la fréquence.

- ✓ Dans la barre de menu, le tableau des Paramètres de mesure de 'PowerGraph' devrait ressembler à la Fig. 10.

m PowerGraph

Montage expérim Paramètres de mesure Affichage

Canaux à enregistrer

- ☒ Intensité I
- ☐ Tension U
- ☒ Fréquence frq
- ☐ Trigger FG
- ☐ Tension U1
- ☐ Tension U2
- ☒ Impedance Z

Données X

Fréquence frq

Condition de départ

Pression sur les

Condition de fin

Nombre de valeurs n 42

Saisie des données

Automatique 630 msec

Autres paramètres

☒ Trier les données X

Continuer

Figure 10 : Paramètres de mesures de Z et du courant I en fonction de la fréquence.

- ✓ Configurer le tableau d’Affichage en cliquant sur ‘Affichage’ et choisir les diagrammes à voir lors de la mesure comme la fréquence, les tensions et le courant (Fig.11.et Fig.12).

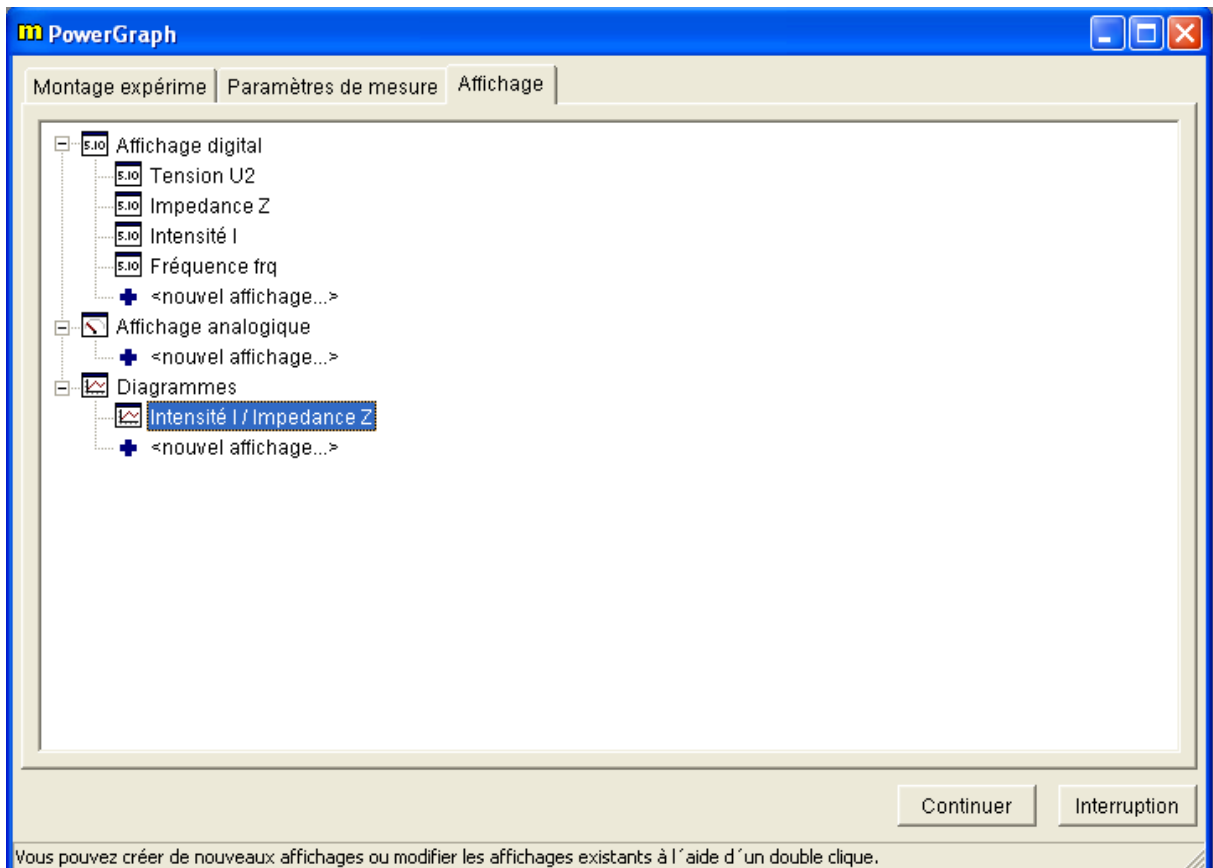


Figure 11 : Paramètres d’affichage

On obtient l’écran suivant (Figure 12).

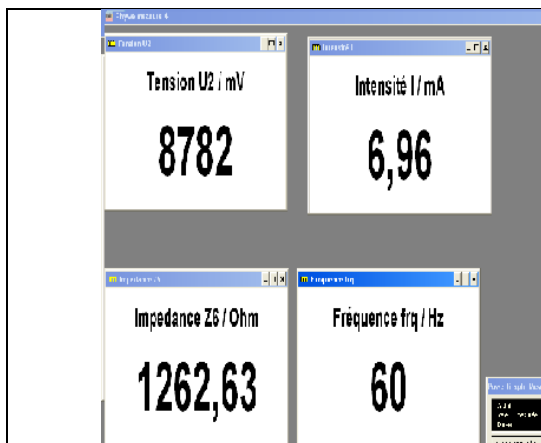


Figure 12 : affichage des variables souhaitées

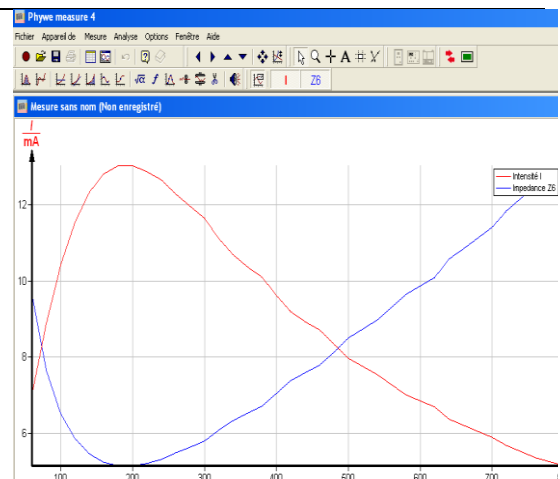


Figure 13 : Courbes obtenues de I et de l’impédance Z en fonction de la fréquence.

Le déclenchement de la mesure est effectué en cliquant sur **Continuer**. A la fin de la mesure, on obtient l’enregistrement des 2 courbes Z(f) et I(f). Voir figure 13.

Travail demandé :

2. Mesure en fonction de la fréquence:

Montage RLC en série (Fig.6):

Effet de la résistance R_D sur la fréquence de résonance

- a. Montage RLC en série. $R_o = 100 \Omega$; $R_D = 470 \Omega$, $C = 2.2 \mu F$, $L = 0.3 H$

Cliquer sur Continue pour commencer la 1^{ère} mesure. A la fin de la mesure, on obtient l'enregistrement de 2 courbes $Z(f)$ et $I(f)$. Appeler vos courbes $Z1$ et $I1$ en cliquant sur la courbe et enregistrer votre mesure (Data1).

- b. Cliquer sur nouvelle mesure (Point Rouge) avec cette fois $R_D = 220 \Omega$ (Enregistrer la mesure Data2) puis avec $R_D = 0 \Omega$ (Enregistrer la mesure Data3).
- c. Mettre les courbes d'impédance $Z(f)$ des 3 mesures sur le même graphe (Voir Figure 2a). Ouvrir les mesures Data1, Data2 et Data3 et utiliser « Menu/Mesure/Adopter canal de mesure ».
- d. Utiliser la touche Lisser dans le menu Analyse pour moyenniser les données mesurées du courant et de l'impédance. Déterminer la fréquence de résonance et le courant maximum pour chaque mesure. Utiliser les touches 'Analyse de peak' et 'Mesure' situés sur la barre de menus.
- e. Remplir le tableau suivant. Les valeurs de f_o (mes) et Q (mes) sont déterminées à partir des enregistrements (Data). Pour le facteur de qualité Q , déterminer les fréquences de coupure à partir de la courbe du courant I (Voir la remarque en page 3).

$R_D (\Omega)$	$C (\mu F)$	$f_o / Hz (mes)$	$f_o / Hz (theo)$	$\Delta f = f_2 - f_1$	$Q (mes)$	$Q (The)$
470	2.2					
220	2.2					
0	2.2					
0	1					
0	4.7					

- f. Remplir le tableau suivant. Les valeurs de f_o (mes) et Q (mes) sont déterminées à partir des enregistrements (Data).
- g. Discuter les résultats obtenus en particulier l'effet de la résistance sur la fréquence de coupure et le facteur de qualité Q .

Effet de la capacité C sur la fréquence de résonance

- h. Cliquer sur nouvelle mesure (Point Rouge) avec cette fois $R_o = 100 \Omega$; $R_D = 0 \Omega$, $L = 0.3 H$ et $C = 1 \mu F$. Enregistrer la mesure (Data4). Refaire la mesure avec cette fois ci

$C=4.7\mu F$ et enregistrer la mesure (Data5). Refaire les mêmes questions c, d (voir Figure 2b).

- i. Compléter le tableau précédent.
- j. Discuter les résultats obtenus en particulier l'effet de la capacité du condensateur sur la fréquence de coupure et le facteur de qualité Q.

Mesure en fonction du temps

- a. Réaliser le montage RLC série (Fig.6) avec $R_D = 0\Omega$ et $C=2.2\mu F$.
- b. Sélectionner 'Appareil de /Cobra3 Transcripteur univers' (Figure 14), puis sélectionner les paramètres comme c'est montré à la figure 15.

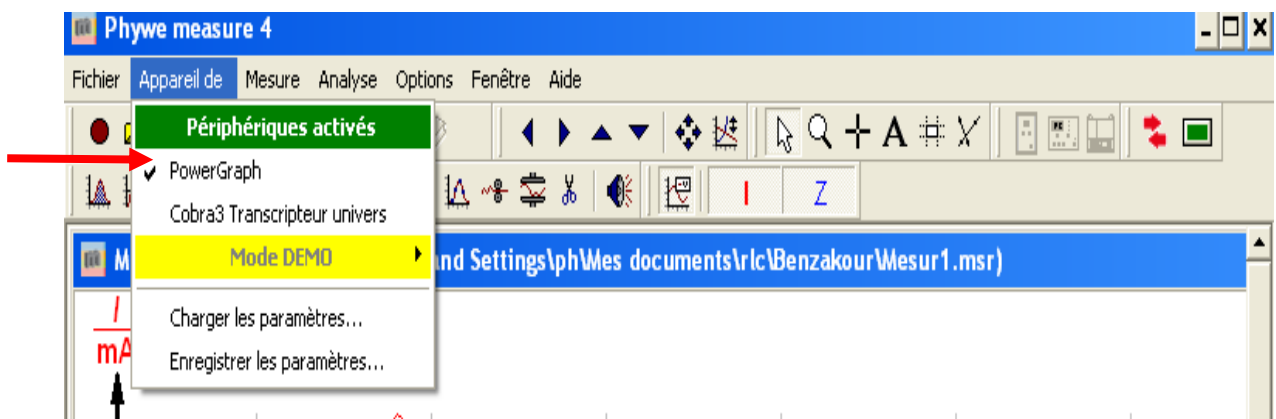
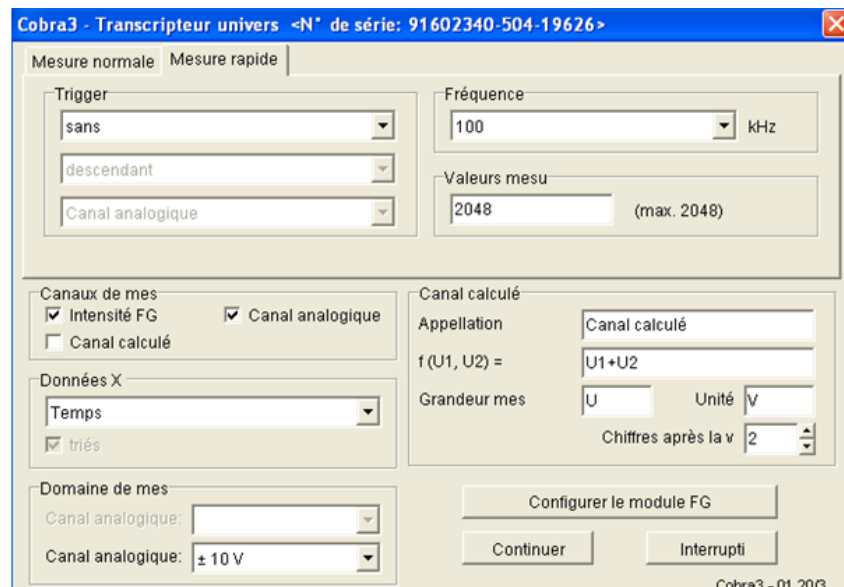


Figure 14 : Menu 'Transcripteur univers' permettant d'avoir la variation du U_2 et du courant en fonction du temps.



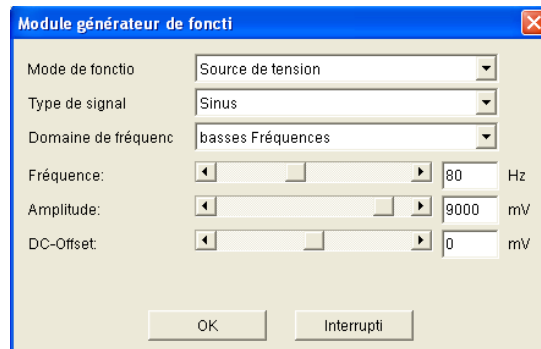


Figure 15 : Paramètres de mesure

- c. Enregistrer la courbe de variation du courant et de la tension en fonction du temps pour la fréquence $f = 80 \text{ Hz}$. Utiliser la touche Lisser dans le menu Analyse pour moyenner les données mesurées du courant et de la tension.
- d. Utiliser la touche '**Manager canal de mesure**' dans le menu **Mesure** pour éliminer le temps entre le courant et la tension (Fig. 16). On obtient la courbe de Lissajous U_2 en fonction du courant I en cliquant sur la case '**Garder la mesure en mode relation**'. Déterminer le déphasage ϕ (Fig.1). Remplir le tableau suivant (Noter que I est en avance de phase pour les faibles fréquences et en retard de phase pour les hautes fréquences).

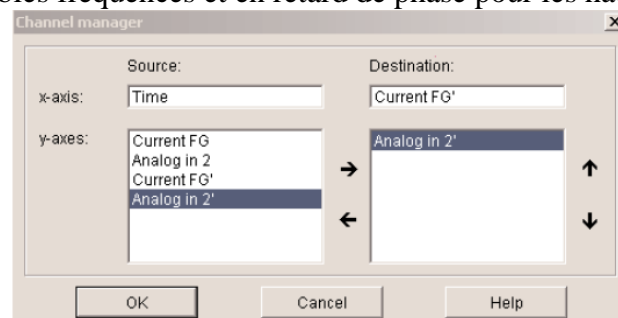


Figure 16 : Procédure pour tracer le courant en fonction de la tension

- e. Répéter les étapes b et c pour différentes fréquences f entre 80 Hz et 360 Hz . (pour $f > 200 \text{ Hz}$ changer l'intervalle en cliquant sur '**Configure FG module**') et remplir le tableau ci-dessous :

$f \text{ (Hz)}$	$b = \Delta I_{max}$	$a = \Delta I$	$\sin(\phi)$	$\phi \text{ (degré)}$
80				
120				
160				
180				
195				
210				
230				
260				
300				

- f. Tracer le déphasage ϕ (voir Eq 3) en fonction de la fréquence. (Entrer les valeurs manuellement en utilisant la touche '**Saisir les valeurs mesurées**' du menu **Mesure**').

TP.2. : Champ magnétique de bobines simples - Loi de Biot –Savart

Avec un module de mesure Cobra3/Tesla

(Conçu et réalisé par le **Pr. A. REZZOUK**, FSDM – FES - Dépt. Phys. En 2016/2017)

1. Principe de l'expérience:

- Le champ magnétique le long de l'axe de bobines de différentes dimensions est mesuré avec un ***module de mesure Cobra3 tesla*** et une sonde de Hall. La relation entre l'intensité maximale du champ et les dimensions est étudiée et une comparaison est établie entre les effets mesurés et théoriques de la position.

Le *module de mesurage Tesla* sera raccordé à l'interface *Cobra3 unité de base* qui est relié à un ordinateur. Le logiciel "***mesure***" permet de tracer les courbes et de déterminer leurs caractéristiques. ***L'exploitation des résultats se fait donc sur des courbes fournies par l'ordinateur.***

Mots clés

Loi de Biot-Savart, effet Hall, champ magnétique, induction, densité de flux magnétique.

2. Objectifs de la manipulation:

Le but de cette manipulation est la détermination expérimentale du champ magnétique le long de l'axe de bobines de différentes dimensions et la comparaison des résultats obtenus avec ceux prévus par la théorie de l'électromagnétisme. L'étude comprend trois parties :

- 1.** Mesurer, à l'aide de la sonde de Hall, la densité du flux magnétique au milieu de plusieurs bobines et étudier sa dépendance vis-à-vis du diamètre et du nombre de spires.
- 2.** Déterminer la constante du champ magnétique μ_0 (perméabilité magnétique).
- 3.** Mesurer la densité du flux magnétique le long de l'axe de différentes bobines et la comparer aux valeurs théoriques.

Ce qu'il vous faut comme équipement

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Alimentation universelle DC: 0..18V, 0..5A / AC: 2/4/6/8/10/12/15 V, 5 A • Capteur de mouvement avec câble • Cobra3 unité de base, USB • Module tesla • Cobra3 capteur de courant 6A • Sonde Hall, axiale • Plateforme élévatrice 200 x 230 mm • Bobine inductrice, 300 spires, d 32 mm • Bobine inductrice, 100 spires, d 40 mm • Bobine inductrice, 200 spires, d 40 mm • Bobine inductrice, 150 spires, d 25 mm • Bobine inductrice, 75 spires, d 25 mm • Bobine inductrice, 300 spires, d 40 mm • Bobine inductrice, 300 spires, d 25 mm • Alimentation 12V / 2 • Embase | <ul style="list-style-type: none"> • Pince de table • Porte-plaque ouverture 0 - 10 mm • Règle graduée, l=1000 mm • Noix double • Tige carrée, l 250mm • Adaptateur, douille BNC/fiche 4mm • Adaptateur douille BNC/2x fiches 4 mm • Porte-poids pour poids à fente • Pince de table • Fil de connexion, 32 A, 1000 mm, bleu • Fil de connexion, 32 A, 1000 mm, rouge • Adaptateur fiche 4 mm / douille 2 mm, • Fil de soie, l = 200 m • Logiciel Cobra3 force / tesla |
|---|--|

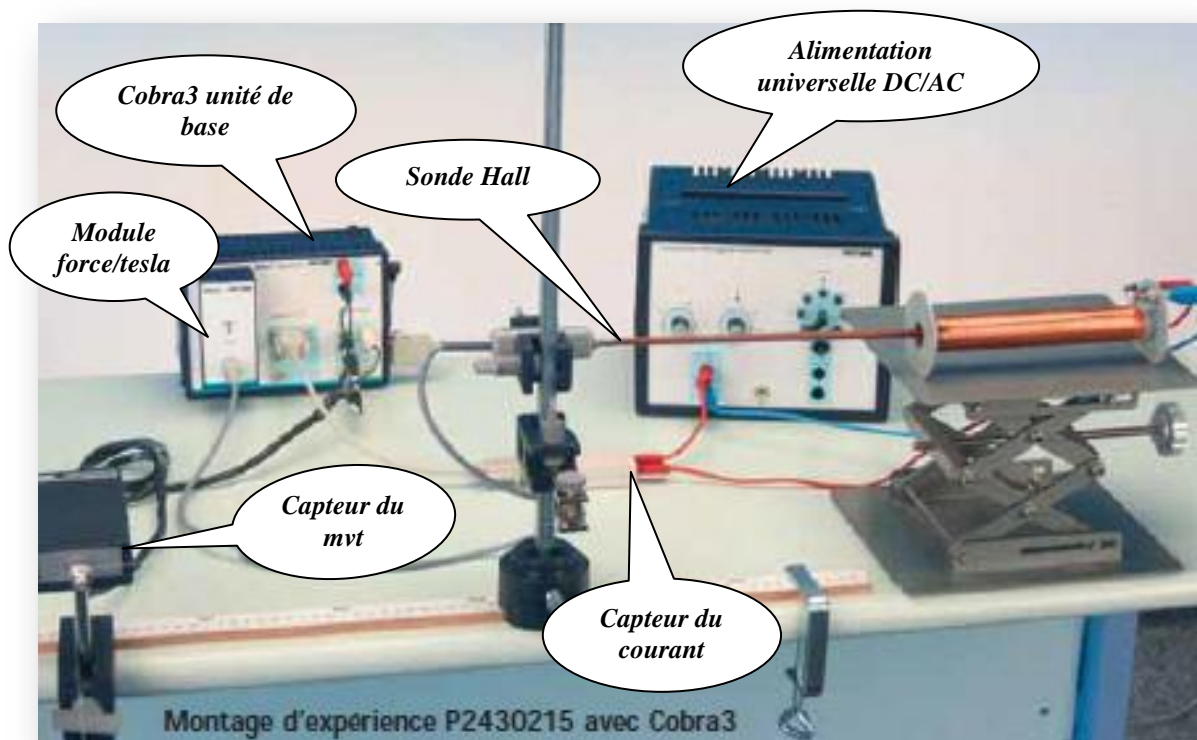


Figure. 1 : Montage expérimental pour mesurer un champ magnétique

3. Réglage de l'unité de base Cobra3/Tesla et mesure

- Connectez le module "*Tesla*" au port "*Module*" de l'unité Cobra3 et à la sonde Hall. Connectez le "*capteur 6 A*" au port "*Analog In 2 / S2*" de l'unité Cobra3. Connectez "*l'enregistreur, le capteur, du mouvement*" "Movement recorder" à l'unité Cobra3 conformément à la *Fig. 2*.
- Pour une bonne distance de précision, faites rouler le fil de soie une fois autour de l'axe de l'enregistreur de mouvement. Vous pouvez utiliser un poids légèrement plus lourd pour la tension du fil dans cette expérience si le poids fourni est insuffisant pour avoir une bonne lecture de l'enregistreur.

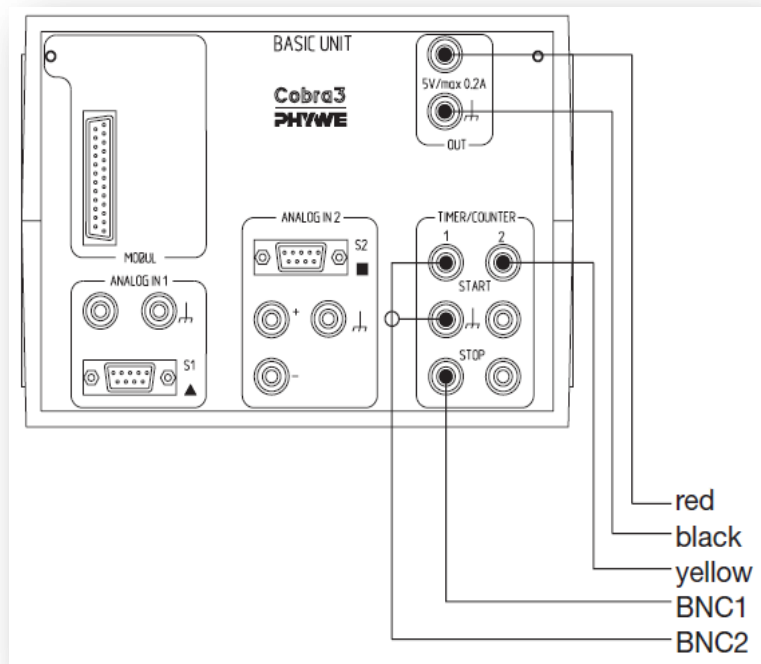
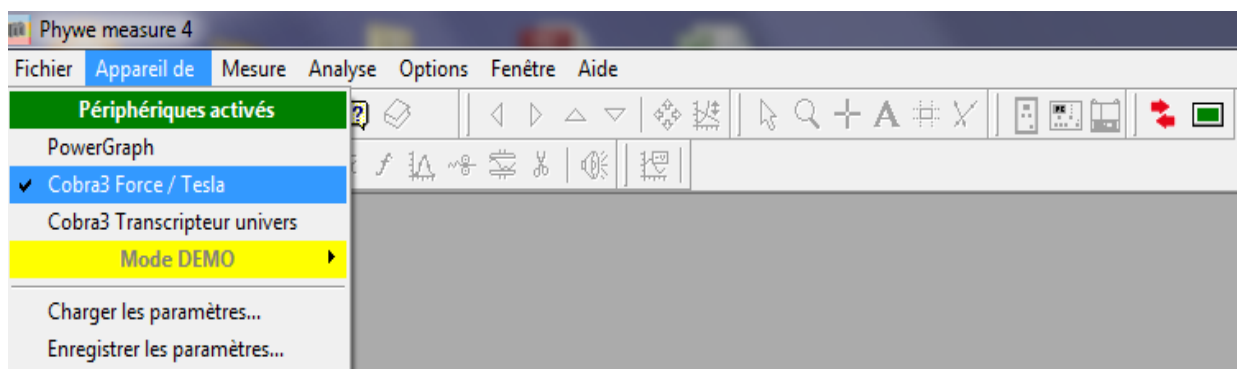


Figure. 2 : Raccordement du capteur de mouvement à l'unité de base Cobra3

Connectez l'unité Cobra3 à votre ordinateur au port COM1, COM2 ou au port USB (pour le port USB de l'ordinateur, utilisez le convertisseur USB vers RS232 14602.10). Configurez l'expérience selon la *Fig. 1* et lancez le programme "*mesure*" sur votre ordinateur et *sélectionnez* «Appareil de» «Cobra3 force / tesla» :



- Régler les paramètres selon *Fig. 3*.

Module

Modul: **Densité de flu B** S1: **Pas de module / capteur** S2: **Capteur courant 6A**

Canaux de mes

Densité de flu B
Intensité I
Distance

Chronomètre / Compteur

Enregistreur de mouve Distance

Données X

Distance

☒ triés

Mesure normale | Mesure rapide

Début de la mesure

☒ par pression sur I

Heure 16:50:04

si Densité de flu B

☒ plus gr ☐ plus pet 0

Fin de la mesure

☒ par pression sur I

Heure 16:50:04

☐ après 0 Valeurs mesur

si Densité de flu B

☒ plus gr ☐ plus pet 0

Affichage

☒ Affichage digital 1 ☒ Affichage digital 2

☒ Affichage digital 3 ☐ Affichage digital 4

☐ Affichage analogiq ☐ Affichage analogiq

☒ Diagramme 1 ☐ Diagramme 2

Options...

Mesure haute précision

☐ Effectuer une mesure haute préci

Effectuer la mesure

☐ par pression sur I

☒ toutes automatiques 1 100 ms

Continuer Interrupti

Cobra3 - 01.20/3

Options

Angle / Distance | Donnée manuelle | Calibrage

Force | Densité de flu | Tension / Intensité

Paramètres Tension

Domaine de mesu Tension U auto

Unité de mesure Tension U V

Paramètres Intensité

Résistance 100,00 Ω

Domaine de mesu Intensité I ± 6 A

Unité de mesure Intensité I mA

pas de moyenne

OK Interrupti

*Figure. 3 : Paramétrage du réglage de la jauge **Force / Tesla**.*

- Cliquez sur le bouton "**Options**" et exécutez les étalonnages sur le diagramme "**Angle/Distance**". selon la *Fig. 4* et "**Calibrage**" selon la *Fig. 5*

Options

Force	Densité de flu	Tension / Intensit
Angle / Distance	Donnée manuelle	Calibrage

Paramètres Angle

Unité de mesure Angle: °

Angle de calibrage: 360 °

Paramètres Distance

Unité de mesure Distance: cm

Distance de calibra: 10,00 cm

Calibrage à partir du montage: Commencer Stop

pas de moyenne

OK Interrupti

Figure. 4 : Les paramètres du réglage de la fonction " Angle/Distance ".

NB. IL faut impérativement appuyer sur commencer. Une fois le trépied portant la sonde est déplacer de 10 cm, appuyez sur stop puis sur OK

Options

Force	Densité de flu	Tension / Intensit
Angle / Distance	Donnée manuelle	Calibrage

Paramètres Calibrage

Modul: ☒ Densité de flu B est calibré

S1: ☐ pas connecté

S2: ☐ impossible

Calibrer

Reset

pas de moyenne

OK Interrupti

Figure. 5 : Les paramètres du réglage de la fonction "Calibrage"

NB. Appuyer sur "Reset" puis placer la sonde, avec soin, au milieu de la bobine. Ensuite cocher la case "Densité de flux B" puis cliquez sur le bouton "Calibrer". Une fois vous voyez le mot "est calibré" comme indiquez sur la figure 5. Régler les paramètres indiqués sur la figure 6.

- Les réglages du diagramme "**Densité de flux**" et "**Tension / Courant**" doivent ressembler, respectivement, à la Fig. 6.et à la Fig. 7.

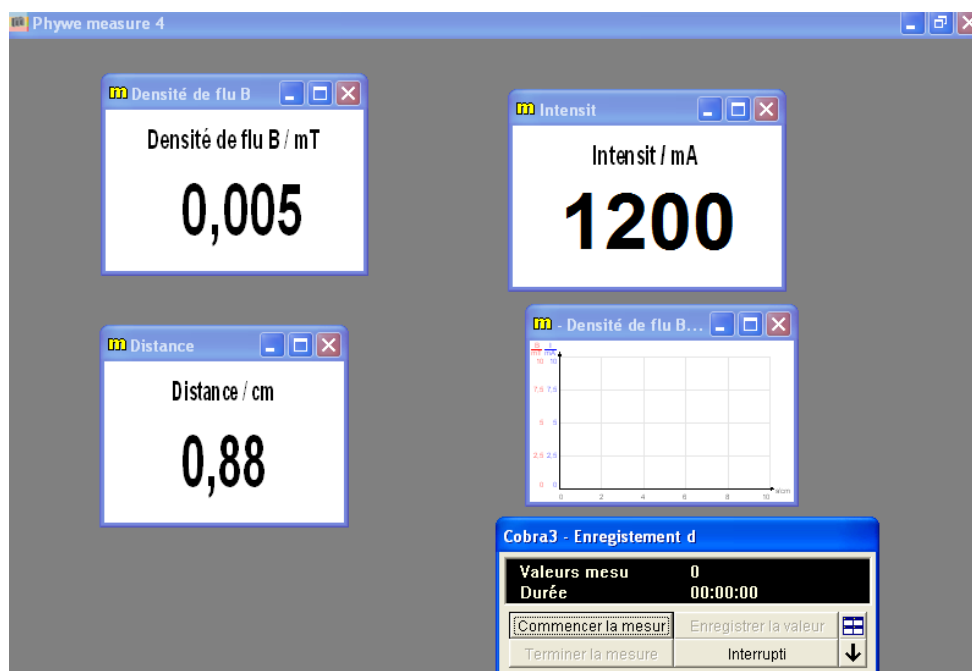
The screenshot shows the 'Options' dialog box with the 'Densité de flu' tab selected. The 'Paramètres Densité de flu' section includes three 'Domaine de mesu Densité de flu' (B, B1, B2) dropdowns, all set to 'auto'. There are checkboxes for 'Champ magnétiq' (magnetic field) for each, all of which are unchecked. Below these are three 'Unité de mesure Densité de flu' (B, B1, B2) dropdowns, with B set to 'mT' and B1/B2 set to 'T'. At the bottom, there is a 'pas de moyenne' (no average) checkbox, a slider, and 'OK' and 'Interruption' buttons.

*Figure. 6 : Les paramètres du réglage de la fonction "**Densité de flux**"*

The screenshot shows the 'Options' dialog box with the 'Tension / Intensit' tab selected. The 'Paramètres Tension' section includes a 'Domaine de mesu Tension U' dropdown set to 'auto' and a 'Unité de mesure Tension U' dropdown set to 'V'. The 'Paramètres Intensit' section includes a 'Résistance' text box with '100,00' and a unit icon, a 'Domaine de mesu Intensit I' dropdown set to '± 6 A', and a 'Unité de mesure Intensit I' dropdown set to 'mA'. At the bottom, there is a 'pas de moyenne' (no average) checkbox, a slider, and 'OK' and 'Interruption' buttons.

*Figure. 7 : Les paramètres du réglage de la fonction "**Tension / Courant**"*

- Avec le bouton "**Continuer**" (voir *Fig. 3*), la mesure peut alors être lancée. Sélectionnez un courant approprié (**1200 mA**), par exemple le courant maximum indiqué sur les bobines en utilisant l'alimentation en courant constant. L'alimentation est en mode courant constant lorsque la LED rouge au-dessus de la commande de courant est allumée.
- On voit l'image ci dessous:



- Régler le contrôle de tension ($V = 5V$) suffisamment élevé pour atteindre cet objectif. Sinon, l'alimentation électrique est en mode tension constante et le courant diminue avec le réchauffement des bobines, ce qui peut perturber votre mesure.
- **1200 mA** peut être choisi pour toutes les bobines de solénoïde. Une fois que vous avez réglé le courant, vous pouvez laisser le contrôle actuel intact afin de mesurer toutes les bobines avec le même courant.
- L'enregistrement des données est alors démarré soit avec la touche "**Espace**" ou en cliquant sur le bouton "**commencer la mesure**".
- Mesurer la force du champ magnétique au centre des bobines. L'asymétrie dans les champs de configuration et d'interférence peut être éliminée en mesurant les variations de l'intensité du champ lors de la mise sous tension avec les deux polarisations de courant et en prenant la valeur moyenne de la variation pour chaque polarisation.
- Mesurer la force du champ magnétique le long de l'axe z des bobines solénoïdes, en glissant la sonde Hall montée sur "**l'embase pass**" le long de la règle graduée, et enregistrer la position avec le capteur de mouvement.
- Si vous maintenez la base du canon glissant sur un seul bord de la règle graduée, vous pouvez obtenir un mouvement assez droit par le centre des bobines.
- Tracer les résultats pour les cas suivants :
 - o même diamètre et densité de spires n/l , mais différentes longueurs de bobine (*Fig. 8*)
 - o même densité de spires et longueur mais diamètre différent (*Fig. 9*)
 - o même longueur et diamètre mais densité de spires différente (*Fig. 10*)

- Les courbes obtenues peuvent ressembler à ceci:

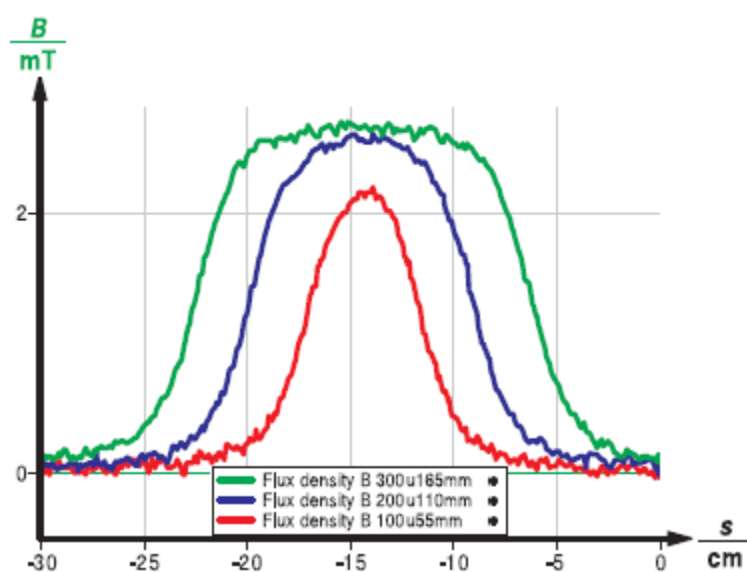


Figure. 8: Dépendance sur la longueur ($l_1=55$ mm, $l_2=110$ mm et $l_3=165$ mm) du champ magnétique pour bobines de densité de spires constante n/l , courant de **1200 mA** et diamètre de bobine de **41 mm**

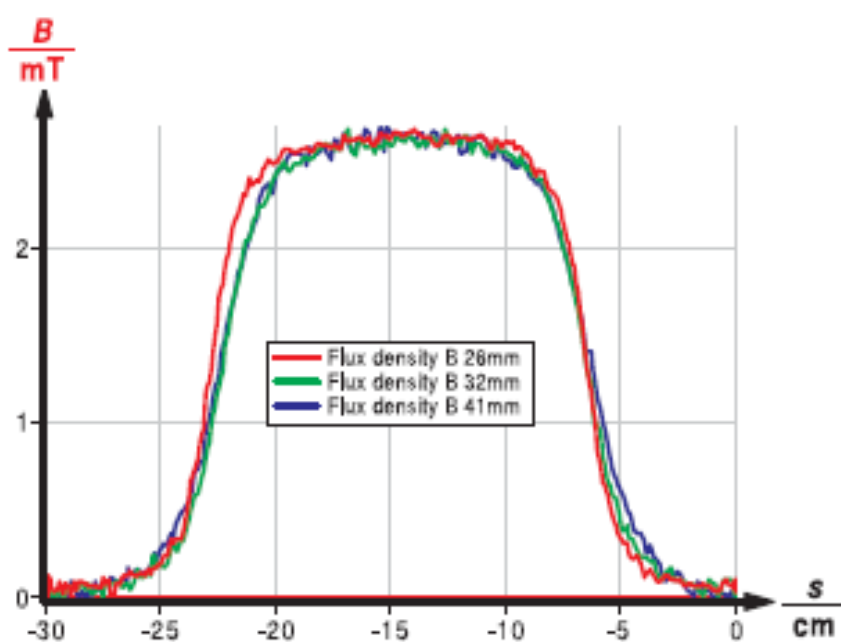


Figure. 9 : Dépendance sur le diamètre ($d_1=26$ mm, $d_2=32$ mm et $d_3=41$ mm) du champ magnétique pour bobines de densité de spires constante n/l , courant de **1200 mA** et longueur de bobine de **165 mm**

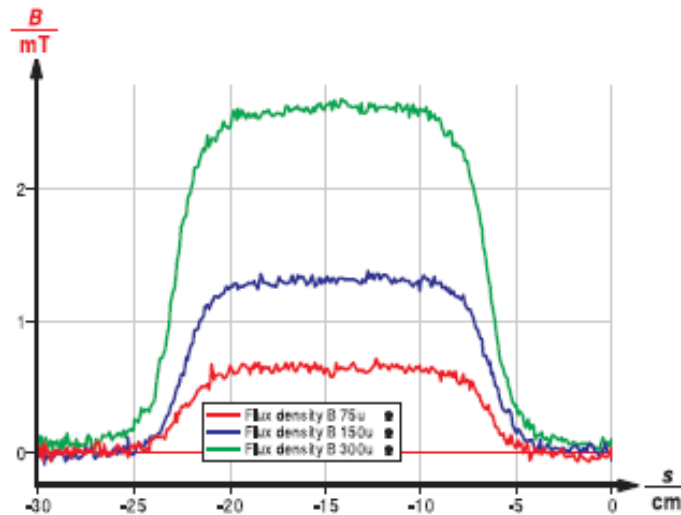


Figure. 10 : Dépendance linéaire sur nombre de spires du champ magnétique pour bobines de longueur de **165 mm**, courant de **1200 mA** et diamètre de bobine de **26 mm**

4. Théorie et évaluation

4.1. Champ magnétique créé par, une boucle de courant, une spire circulaire en un point de son axe

- La loi de Biot-Savart est l'analogue magnétostatique à la loi de Coulomb en électrostatique.
- La loi de Coulomb (1) détermine les intensités de champ électrique $\vec{E}(\vec{r})$ (quantité et direction) à un certain point d'émission \vec{r} quand une charge ponctuelle (Q) et sa position \vec{r}_Q sont données :
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} Q \frac{\vec{r}-\vec{r}_Q}{|\vec{r}-\vec{r}_Q|^3} \quad (1)$$
- La loi de Biot-Savart (2) détermine les intensités du champ magnétique (quantité et direction) à un certain point d'émission \vec{r} lorsqu'une charge ponctuelle (Q) se déplace au point \vec{r}_Q avec une vitesse \vec{v} .

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} Q \frac{\vec{v} \wedge (\vec{r}-\vec{r}_Q)}{|\vec{r}-\vec{r}_Q|^3} \quad (2)$$

- Pour plusieurs charges ponctuelles, les intensités de champ (électrique et magnétique) au point d'émission sont la superposition des contributions des différentes charges ponctuelles.
- (1) et (2) peuvent être dérivés directement des équations de Maxwell et peuvent être étendus respectivement à la densité de charge ou à la distribution de la densité de courant.
- Pour l'application de (2) à la présente expérience, les contraintes expérimentales suivantes doivent être considérées:
 - 1. La géométrie de l'expérience, comme le montre la Fig. 11.
 - 2. L'élément du courant $I \cdot d\vec{r}_Q = dQ \cdot \vec{v}$ crée au point \vec{r}_Q , le champ élémentaire $d\vec{B}$ perpendiculaire à \vec{p} du module : $dB = \frac{\mu_0 I \cdot dl}{4\pi \rho^2} \sin \frac{\pi}{2}$ (Fig. 11)
 - 1. $d\vec{r}_Q = I \cdot d\vec{l}$ désigne le vecteur élément du courant.
 - 3. Dans l'expérience, seul le champ magnétique le long de l'axe z est intéressant.

- La formule (2) peut être exprimée sous la forme:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \wedge \vec{\rho}}{\rho^3} \quad (3)$$

- Par raison de symétrie, et puisque $\vec{\rho}$ est perpendiculaire $d\vec{l}$, le champ résultant sera porté par l'axe horizontal z. La composante utile sera :

$$dB_z = dB \cdot \sin\gamma = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot dl}{4\pi \rho^2} \cdot \sin\gamma \quad (4)$$

$$\text{et } dB_r = dB \cdot \cos\gamma = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot dl}{4\pi \rho^2} \cdot \cos\gamma \quad (5)$$

- Pour tous les éléments $I \cdot dl$, l'angle γ et ρ sont les mêmes. L'intégration de dB_z sur toute la spire donne le module du champ résultant ($\sin\gamma = \frac{R}{\sqrt{R^2+z^2}}$ et $\rho = \sqrt{R^2+z^2}$)

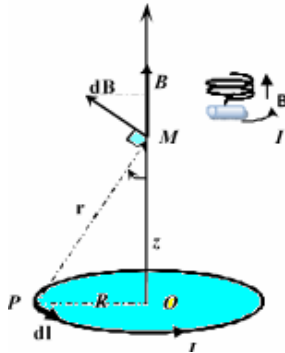
$$B_z(z) = \int_0^{2\pi r} dB_z \leftrightarrow B_z = \frac{\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R^2}{(R^2+z^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{2R} \cdot \sin^3\gamma \quad (6)$$

- Si n spires identiques sont rapprochées la densité de flux magnétique est obtenue en multipliant l'équation (6) par le nombre de tours n (voir figure 11).
- Au centre de la, boucle, spire ($z = 0$ ou $\gamma = \frac{\pi}{2}$) :

$$B_z(0) = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{2R} = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{d} \quad (7)$$

- En résumé l'élément de courant $I d\vec{l}$ placé en P crée en M le champ magnétique $d\vec{B}$, perpendiculaire à PM (Fig. 11-a): $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}} \cdot \vec{z}$

(a)



(b)

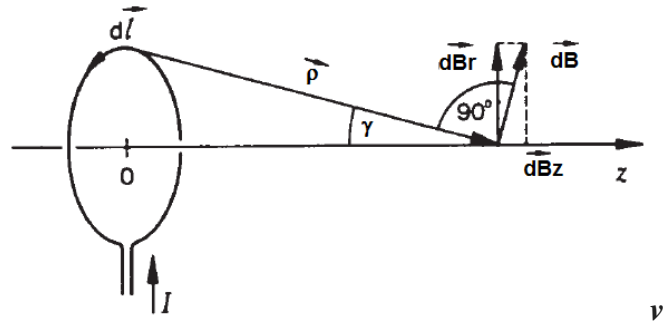


Figure. 11 : Dessin pour le calcul du champ magnétique le long de l'axe d'une spire circulaire

- Pour vérifier la dépendance linéaire de $B(0)$ sur n et $\frac{1}{R}$, de l'expérience, on a :

$$B = A_1 \cdot n^1 \quad (8)$$

$$B = A_2 \cdot R^{-1} \quad (9)$$

- La droite de régression pour les valeurs mesurées de la Fig. 12 donne pour n une pente :

$$\circ A_1 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2R} = 53,3 \cdot 10^{-6}$$

- Et la droite de régression de la Fig. 13 pour la dépendance en R donne une pente :

$$\circ A_2 = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{2} = 3,2 \cdot 10^{-6}.$$

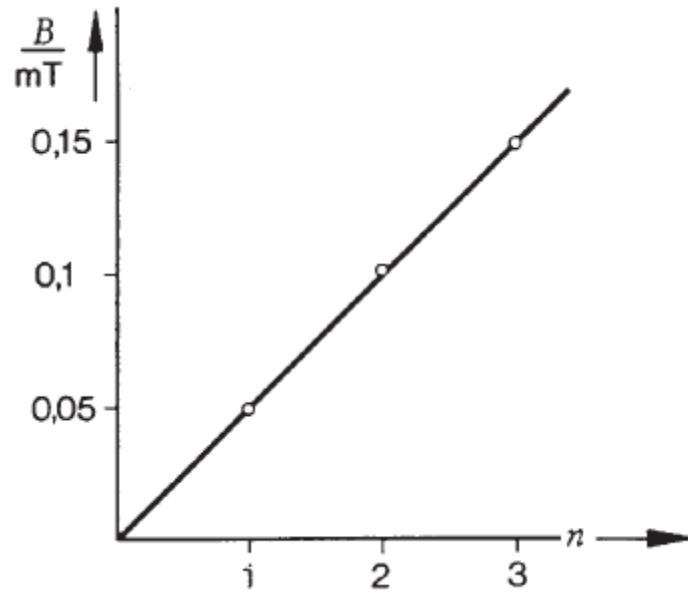


Figure. 12 : Densité de flux magnétique au centre d'une boucle à n spires, en fonction du nombre de spires (rayon 6 cm, courant 5 A).

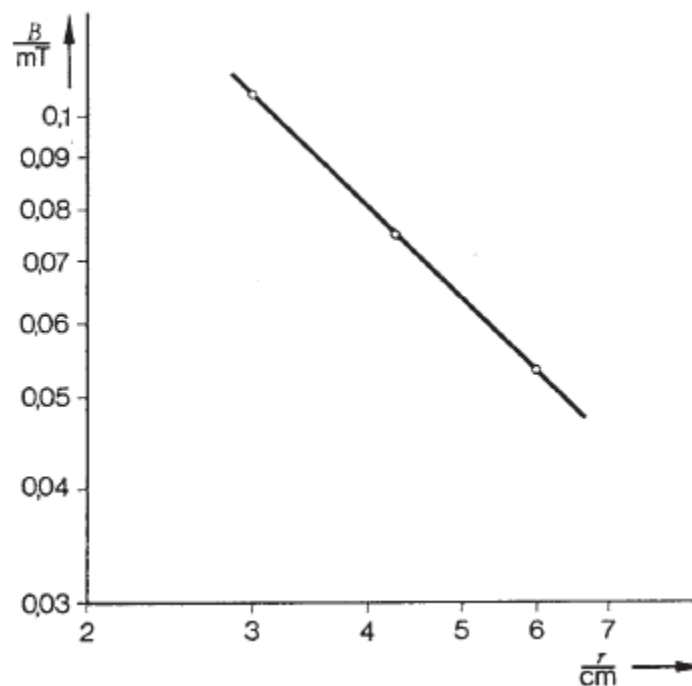
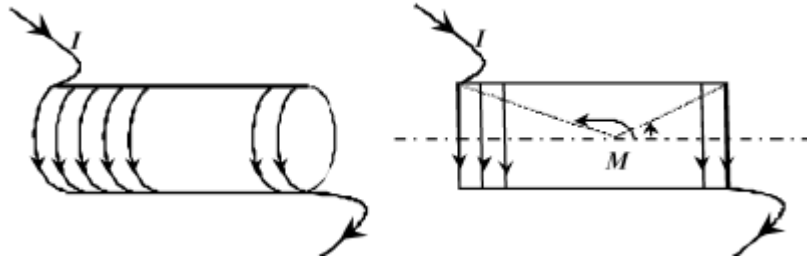


Figure. 13 : Densité de flux magnétique au centre d'une seule spire circulaire, comme une fonction du rayon (courant 5 A).

- Les données expérimentales confirment la forme théorique attendue d'une dépendance linéaire. La pente de la dépendance linéaire peut être utilisée pour déterminer la constante de champ magnétique.
- Cette valeur en littérature vaut $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$.

4.2. Champ magnétique le long de l'axe d'une bobine (longue) = solénoïde

- Un solénoïde est constitué par un ou plusieurs enroulements de fil conducteur autour d'un cylindre. C'est un ensemble de spires placées les unes à la suite des autres et parcourues par un même courant I . Soit n le nombre de spire et l : longueur de la bobine.



- On montre (cf. TD) que le champ magnétique en un point de l'axe à l'intérieur du Solénoïde a pour expression: $\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{2l} |\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2| \cdot \vec{z}$
- Le calcul de la densité de flux magnétique sur l'axe d'une bobine uniformément enroulée de longueur l et avec n spires donne le résultat :

$$B(z) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{2l} \cdot \left(\frac{z+l/2}{\sqrt{R^2+(z+l/2)^2}} - \frac{z-l/2}{\sqrt{R^2+(z-l/2)^2}} \right) \quad (10)$$

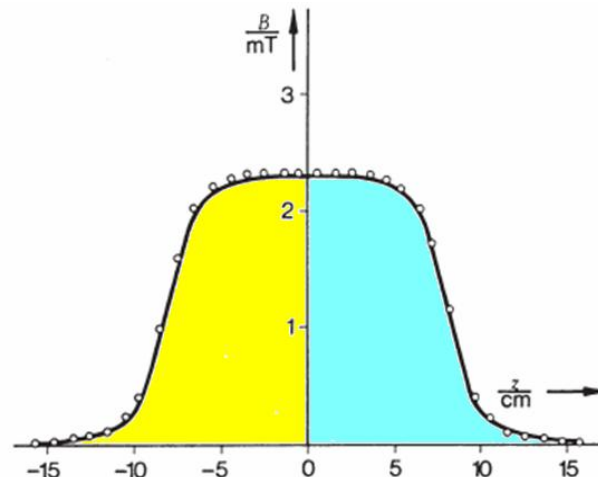
- Pour le milieu de la bobine, $z = 0$ suit :

$$B(0) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{2l} \cdot \frac{l}{\sqrt{R^2+(l/2)^2}} \quad (11)$$

- Pour une bobine longue ($l \gg R$), un solénoïde, l'équation (11) sera enfin réduit à :

$$B(0) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{l} \quad (12)$$

- Dans ce cas : $\vec{B}(\alpha_1, \alpha_2) = \vec{B}(0, \pi) = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{l} \cdot \vec{z}$. Le champ est uniforme sur l'axe, d'un solénoïde long, d'une bobine longue.
- Par conséquent, la force du champ magnétique pour les solénoïdes est indépendante du diamètre de la bobine (voir expression de l'éq. 12). Contrairement à une spire (eq. 7)
- L'indépendance sur le diamètre de la bobine peut être vue directement sur la Fig. 9 alors que la dépendance sur le nombre de spires, n , est représentée sur la Fig. 10.
- On peut tracer $B(z)$ à partir de l'éq. (10) dont l'allure ca sera comme suit :



5. Travail demandé

I. Mode opératoire

- Le champ magnétique le long de l'axe de bobines de différentes dimensions est mesuré avec un **module de mesure Cobra3 tesla** et une sonde de Hall. La relation entre l'intensité maximale du champ et les dimensions (d , l , n) est étudiée et une comparaison est établie entre les effets mesurés et théoriques de la position.
- Le **module de mesure Tesla** sera raccordé à l'interface **Cobra3 unité de base** qui est relié à un ordinateur. Le logiciel "**mesure**" permet de tracer les courbes et de déterminer leurs caractéristiques. **L'exploitation des résultats se fait donc sur des courbes fournies par l'ordinateur.**
- Les mesures sont prises au centre des bobines de manière à éliminer l'asymétrie et les phénomènes d'interférences dans l'ensemble du dispositif expérimental.
- Pour faire varier la position de la pointe de la sonde à l'intérieur d'une bobine, il faut faire glisser le trépied portant la sonde et le placer à la position désirée. Une règle graduée placée sur la table permet de relever la position.
- Régler la position du support portant la sonde de telle manière que la pointe soit au centre de la bobine. (*Voir directives de la section §3 pages 17 - 20*) :

- Important

- **IL faut impérativement appuyer sur commencer, dans la Figure. 4 (les paramètres du réglage de la fonction "Angle/Distance"). Une fois vous déplacez le trépied portant la sonde de 10 cm, appuyez sur stop puis sur OK.**

- **Sur la figure. 5 (Les paramètres du réglage de la fonction "Calibrage") appuyer sur "Reset" puis placer la sonde, avec soin, au milieu de la bobine. Ensuite cocher la case "Densité de flux B" puis cliquez sur le bouton "Calibrer". Une fois vous voyez le mot "est calibré" comme indiquez sur la figure 5. Régler les paramètres indiqués sur la figure 6.**

- Faire varier la position de la pointe de la sonde à l'intérieur de la bobine et le long de son axe. Mesurer le champ magnétique pour différentes valeurs de Z comprises entre -15 cm et +15 cm ou entre -30 et 0
- Pour toute la manipulation, fixer le courant d'alimentation à **$I = 1200 \text{ mA}$, $V = 5 \text{ V}$**

II. Mesure du champ magnétique au centre d'une bobine

1. Pour chacune des trois bobines de diamètre $d = 26 \text{ mm}$ et de longueur $l = 165 \text{ mm}$ et dont le nombre de spires est respectivement **75, 150 et 300**:
 - 1.1. Mesurer l'intensité du champ magnétique au centre de la bobine.
 - 1.2. Prendre 3 mesures pour chaque cas ($n = 75$, $n = 150$, $n = 300$). Déduire la valeur moyenne du champ magnétique et son incertitude.


$$\text{Rappel: } B_m = \frac{\sum_i B_i}{\sum_i} \text{ et } \Delta B = \sup |B_m - B_i|$$

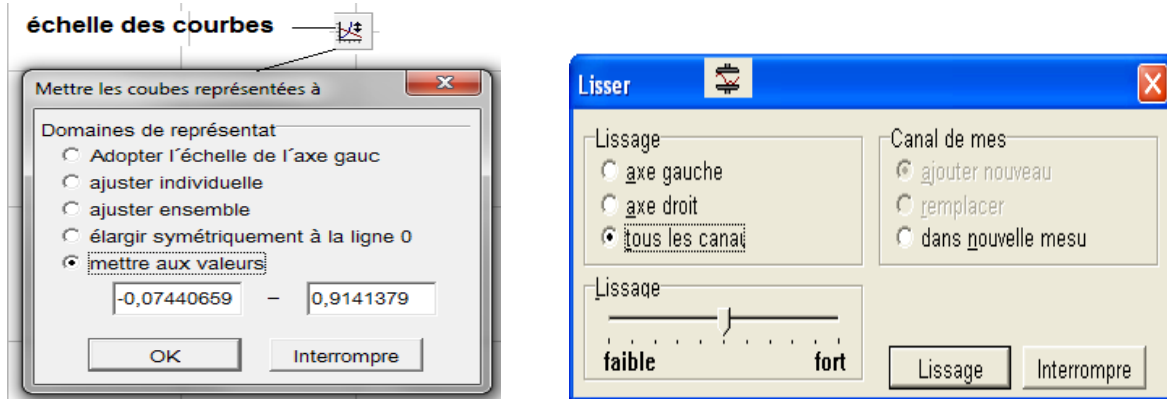
- 1.3. Compléter le tableau ci-dessous:



Nombre de spires (n)	75	150	300
Valeur moyenne du champ magnétique $B(0)$ (mT)			
Incertitude ΔB (mT)			

1.4. Relever B en fonction de n ((sur le même graphe)). Pour cela il faut aller :

- Dans la barre d'outils choisir "Mesure" et cliquer sur " Adopter canal de mesure..." pour afficher les trois courbes $B(Z)$, avec différents nombre de spires ($n = 75, n = 150, n = 300$) pour le même diamètre $d=26\text{ mm}$, dans un seul graphe.

- Pour une vision de courbes sur la même échelle cliquez sur la fonction  "échelle des courbes" et cochez la case "mettre aux valeurs"



- Penser à utiliser la fonction de lissage pour affiner les courbes obtenues en cliquant sur la fonction   Lisser

1.5. En déduire la valeur de la perméabilité magnétique μ_0 (voir éq. 12, page 25) et son incertitude $\Delta\mu_0$.

2. Pour chacune des trois bobines comprenant **300 spire** ($n = 300$) et de diamètre *respectives* ($d_1=26\text{ mm}, d_2=32\text{ mm}$ et $d_3=41\text{ mm}$), de même longueur ($l=165\text{ mm}$) et courant de **1200 mA**.

2.1. Mesurer l'intensité du champ magnétique au centre de la bobine.

2.2. Refaire la mesure 3 fois pour chaque cas. Déduire la valeur moyenne du champ magnétique et son incertitude.

$$\text{Rappel : } B_m = \frac{\sum_i B_i}{\sum_i 1} \text{ et } \Delta B = \sup |B_m - B_i|$$

2.3. Compléter le tableau ci-dessous :

Diamètre (mm)	26		32		41	
Valeur moyenne du champ magnétique $B(0)$ (mT)						
Incertitude ΔB (mT)						

2.4. Relever B en fonction de diamètre d (tenir en compte l'incertitude sur B). Pour cela il faut aller :

- Dans la barre d'outils choisir "Mesure" et cliquer sur " Adopter canal de mesure..." pour afficher les trois courbes $B(Z)$, avec différents diamètre ($d_1=26\text{ mm}, d_2=32\text{ mm}$ et $d_3=41\text{ mm}$), pour le même nombre de spires $n=300$, dans un seul graphe.

- Pour une vision de courbes sur la même échelle cliquez sur la fonction “*échelle des courbes*” et cochez la case “*mettre aux valeurs*”
 - Penser à utiliser la fonction de lissage pour affiner les courbes obtenues.
- 2.5. En déduire la valeur de la perméabilité magnétique μ_0 (voir *éq. 12, page 25*) et son incertitude $\Delta\mu_0$.

III. Mesures du Champ magnétique le long de l'axe d'une bobine.

Prendre les bobines de différents longueurs ($l_1=55 \text{ mm}$, $l_2=110 \text{ mm}$ et $l_3=165 \text{ mm}$) avec une densité de spires, **constante**, n/l , courant de **1200 mA** et même diamètre de **41 mm**.
Faire varier la position de la pointe de la sonde à l'intérieur de la bobine et le long de son axe. Mesurer le champ magnétique pour différentes valeurs de Z comprises entre -15 cm et +15 cm

1. Relever **B** en fonction de **Z** (*éq. 10, page 25*) (sur le même graphe) pour différents longueurs ($l_1=55 \text{ mm}$, $l_2=110 \text{ mm}$ et $l_3=165 \text{ mm}$). Pour cela il faut aller :
 - Dans la barre d'outils choisir “**Mesure**” et cliquer sur " **Adopter canal de mesure...**" pour afficher les trois courbes **B(Z)**, avec différents longueurs ($l_1=55 \text{ mm}$, $l_2=110 \text{ mm}$ et $l_3=165 \text{ mm}$) pour le même diamètre $d=41 \text{ mm}$, dans un seul graphe.
 - Pour une vision de courbes sur la même échelle cliquez sur la fonction “*échelle des courbes*” et cochez la case “*mettre aux valeurs*”
 - Penser à utiliser la fonction de lissage pour affiner les courbes obtenues.
2. Effectuer la comparaison entre les valeurs mesurées et celles obtenues théoriquement pour $Z = 0$: (voir expression de *l'éq. 11 ou 12 (page 25)*)
3. Compléter le tableau ci-dessous :

<i>n</i>	<i>Longueur l (mm)</i>	<i>n/l Constante</i>	<i>Diamètre (mm)</i>	<i>B(0) (mT)</i>	
				<i>Mesuré</i>	<i>Calculé</i>
<i>100</i>	<i>55</i>	<i>1.818</i>	<i>41</i>		
<i>200</i>	<i>110</i>	<i>1.818</i>	<i>41</i>		
<i>300</i>	<i>165</i>	<i>1.818</i>	<i>41</i>		

TP.3. : Charge et décharge d'un condensateur et d'une bobine avec module générateur de fonctions / Cobra3

(Conçu et réalisé par le **Pr. A. REZZOUK**, FSDM – FES - Dépt. Phys. En 2016/2017)

1. Principe de l'expérience :

Un circuit avec une source de tension constante, un interrupteur, une résistance et une capacité/inductance en série est mise sous tension. Le développement de la *tension* U_2 sur la capacité/inductance et du *courant* I à travers la résistance après la mise en circuit est enregistré au cours du temps.

Le module de mesure générateur de fonctions sera raccordé à l'interface Cobra3 unité de base qui est relié à un ordinateur. Le logiciel "*mesure*" permet de tracer les courbes et de déterminer leurs caractéristiques. ***L'exploitation des résultats se fait donc sur des courbes fournies par l'ordinateur.***

Mots clés

Charger, décharger, constante de temps τ du circuit, fonction exponentielle, la valeur à mi-temps $t_{1/2}$ du montage.

2. Objectifs de la manipulation :

Le but de cette manipulation est l'étude du comportement à la mise sous tension de la capacité et de l'inductance, à travers une résistance :

1. Mesurer les variations de l'intensité électrique et de la tension dans un condensateur au moment de la mise en circuit. La capacité et la résistance du circuit RC seront déterminées à partir des courbes de mesures. Pour cela il faut:
 - Visualiser la réponse (tension, aux bornes de la capacité, U_2 et courant I à travers la résistance R) d'un circuit RC.
 - Mesure de la valeur à mi-temps $t_{1/2}$ du montage.
 - Mesure de la constante de temps τ du montage.
2. Mesurer les variations de l'intensité électrique et de la tension dans une inductance au moment de la mise en circuit. L'inductance et la résistance du circuit RL seront déterminées à partir des courbes de mesures. Pour cela il faut:
 - Visualiser la réponse (tension, aux bornes de l'inductance, U_2 et courant, I , à travers la résistance R) d'un circuit RL.
 - Mesure de la valeur à mi-temps $t_{1/2}$ du montage.
 - Mesure de la constante de temps τ du montage.

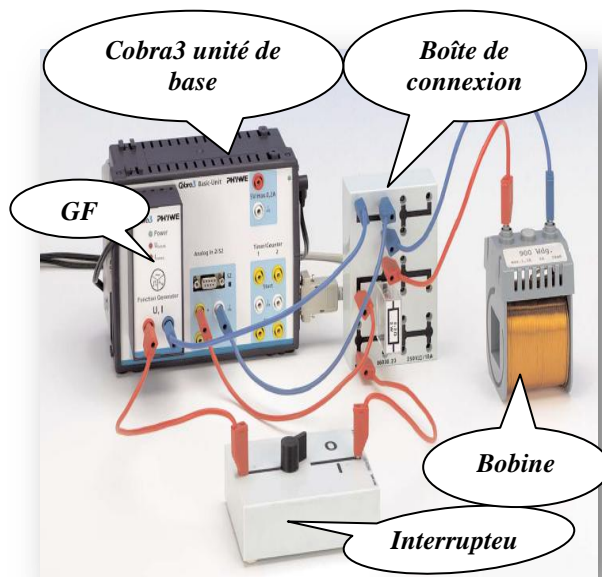


Figure. 1 : Montage expérimental pour la charge et la décharge d'un condensateur et d'une bobine

Ce qu'il vous faut comme équipement

- Cobra3 unité de base, USB
- Module de mesure générateur de fonctions (FG)
- Bobine, 900 spires
- Interrupteur
- Boîte de Connexion
- Alimentation 12V / 2A
- Résistance 220 ohm, 1w, G1
- Condensateur 47 μF
- Résistance 470 Ohm, 1 W, boîtier G1
- Fil de connexion, 32 A, 250 mm, rouge
- Fil de connexion, 32 A, 250 mm, bleu
- Fil de connexion, 32 A, 500 mm, rouge
- Fil de connexion, 32 A, 500 mm, bleu
- Logiciel Cobra3, enregistreur universel
- PC, Windows® 95 ou supérieur

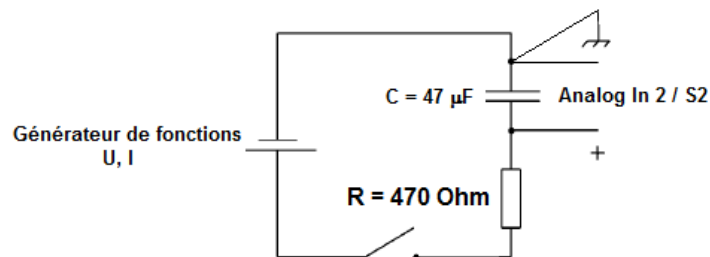


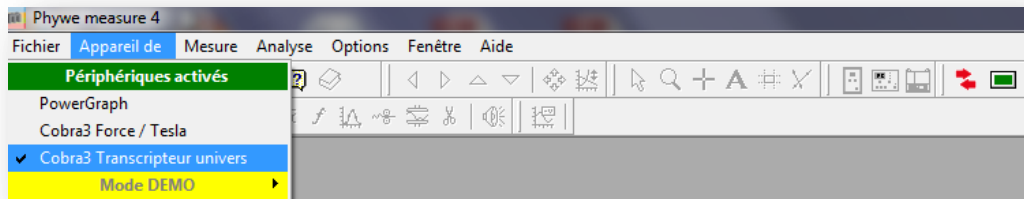
Figure. 2 : Montage expérimental pour la charge d'un condensateur.

3. Réglage de l'unité de base Cobra3 et mesure

3.1. Mesure de la capacité et de la résistance du circuit RC:

- Branchez le module générateur de fonctions (FG, *Function generator, mod*) à l'unité Cobra3 (*Cobra 3 basic unit*) et configurez l'équipement selon la *Fig. 1 ou 2* avec le condensateur de 47 μF branché dans la boîte de connexion au lieu des bouchons des câbles de connexion à la bobine. La résistance en série avec le condensateur doit être de 470 Ohm. L'entrée "Analog In 2/S2" doit être connecté de manière à mesurer la chute de tension sur le condensateur. Réglez l'interrupteur Marche / Arrêt sur **O** (ouverture/arrêt).

- Connectez l'unité Cobra3 à votre port USB. Branchez à la fois le Cobra3 et le module de générateur de fonctions à leurs alimentations 12 V. Démarrez le programme "*mesure*" sur votre ordinateur et sélectionnez «Appareil de» «Cobra3 transcripteur univers» :



- Sélectionnez le tableau "**Mesure normale**" et réglez les valeurs en utilisant les paramètres indiqués dans la figure 3:

Mesure normale | Mesure rapide

Effectuer la mesure
☐ par pression sur l
☒ toutes automatique 2 ms

Fin de la mesure
☒ par pression sur l
☐ Heure 08:09:22
☐ après 0 Valeurs mesur
☐ si
☐ plus gré ☐ plus pet 0

Canaux de mes
☒ Intensité FG ☒ Canal analogique
☐ Canal calculé

Données X
 Temps
☒ triés

Domaine de mes
 Canal analogique:
 Canal analogique: ± 10 V

Début de la mesure
☒ par pression sur l
☐ Heure 08:09:22
☐ si
☐ plus gré ☐ plus pet 0

Affichage
☒ Affichage digital 1 ☒ Affichage digital 2
☐ Affichage digital 3 ☐ Affichage analogiq
☐ Diagramme 1 ☐ Diagramme 2

Canal calculé
 Appellation Canal calculé
 $f(U1, U2) = U1 + U2$
 Grandeur mes U Unité V
 Chiffres après la v 2

Configurer le module FG
 Continuer Interrupti

Cobra3 - 01.2013

Figure. 3 : Paramètres de mesure normale pour la charge des condensateurs.

- Cliquez sur le bouton "**Configurer le module FG**" et réglez les paramètres comme suit, figure 4:

Module générateur de foncti

Mode de fonctio Source de tension

Type de signal DC (c

Domaine de fréquenc hautes Fréquences

Fréquence: 200 Hz

Amplitude: 0 mV

DC-Offset: 9000 mV

OK Interrupti

Figure. 4 : Paramètres de configuration pour le module FG.

- Démarrez le **cobra3 transcripteur univers** avec le bouton "**Continuer**".
- **Déchargez le condensateur** en le court-circuitant avec un câble afin que la lecture "Analog in 2 / V" soit *approximativement nulle*.
- Débrancher le câble de court-circuit.
 - o **Démarrez la mesure** - soit en appuyant sur la touche "**Espace**", la touche "**Retour**" ou en utilisant la souris.
 - o Mettez **l'interrupteur marche / arrêt sous tension**.
 - o **Arrêtez la mesure** (avec la touche "**Espace**" ou la touche "**Retour**" ou la souris).
 - o Mettez **l'interrupteur Marche / Arrêt sur arrêt**.
- Zoom sur la région intéressante des courbes obtenues.
- Pour afficher les 2 axes réglez "Analog in 2" dans "**mesure** choisir **Option de représentation** et cliquez sur **option d'affichage** et dans la case **Statut** " choisir comme "**Axe droit**". Autrement afficher les axes directement en cliquant avec le bouton droit de la souris **sur U2** et choisir **labeller l'axe droit** comme suit (*figure 5*):

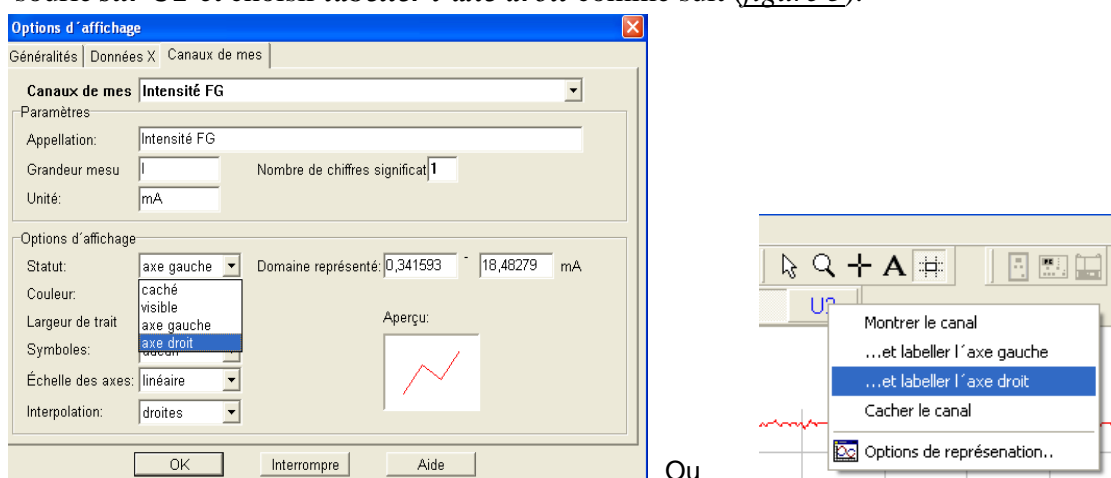
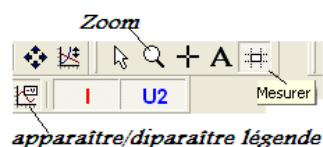


Figure. 5 : Procédure d'affichage les 2 axes.

- Utilisez la fonction "**Mesurer**" pour déterminer le temps de demi-vie de la courbe de tension enregistrée.



- La courbe obtenue peut ressembler à ceci:

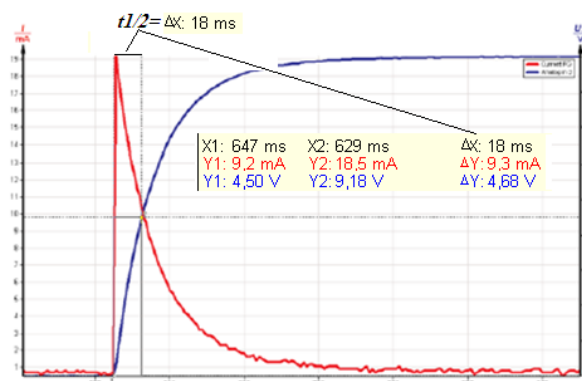


Figure. 6 : Courbe, de charge de C , de mesure expérimentale de $t_{1/2}$, τ et $I_0=I_{max}$.

- La valeur exacte de la résistance peut être mesurée, si le condensateur est maintenant sorti du circuit, remplacé par un cordon de raccordement et **la chute de tension sur la résistance est mesurée avec "Analog In 2 / S2"**. Configurez l'équipement selon la figure 7 ci-dessous:

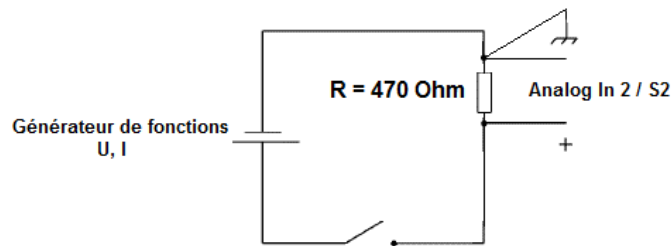


Figure. 7 : Montage expérimental pour la mesure de la résistance R .

- Les paramètres du programme peuvent être laissés tels quels. Démarrez le **transcripteur univers** "Universal Writer" avec le bouton "**Continuer**", ou cliquez directement sur "**nouvelle mesure**":



- Démarrez la mesure, allumez et remettez en arrêt après un court moment, arrêter la mesure :

- **Démarrez la mesure**
- **Allumez et remettez en arrêt l'interrupteur marche/arrêt.**
- **Arrêtez la mesure.**



- Utilisez la fonction "**Mesurer**" pour l'évaluation.
- Le résultat peut ressembler à ceci (voir figure 8 ci-dessous):

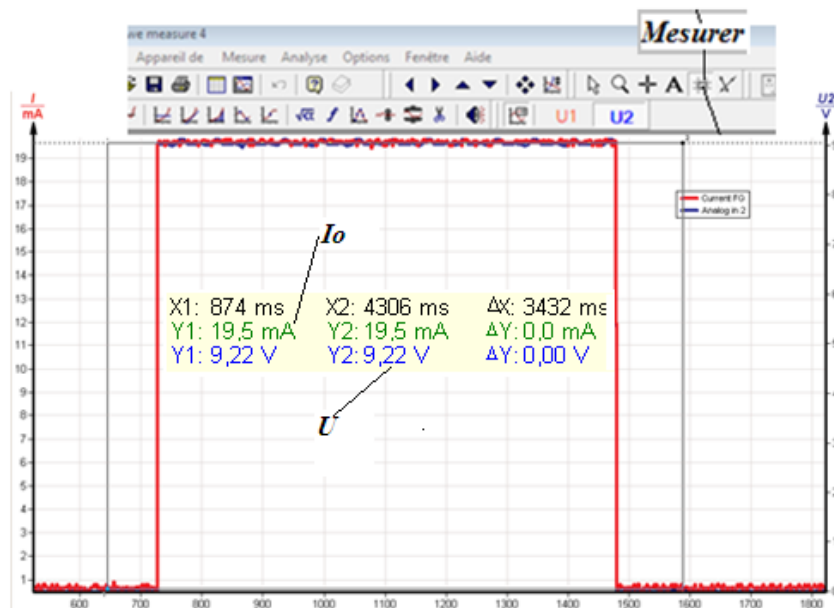


Figure. 8 : Courbe de mesure (normale) expérimentale de la résistance (R_{exp}).

3.2. Mesure d'inductance et de la résistance du circuit RL:

- Maintenant branchez la bobine de 900 tours dans le circuit où le condensateur a été et connectez le "Analog In 2 / S2" au circuit de sorte que la tension sur la bobine est mesurée.
- Mettez l'interrupteur Marche / Arrêt sur OFF. Remplacez la résistance de **470 ohms** par une résistance de **220 ohms**.
- Cette résistance est nécessaire pour limiter le courant à moins de **200 mA** qui est la sortie de courant maximum du module générateur de fonction et configurez l'équipement selon la Fig. 1 et la figure 9.



Figure. 1 : Montage expérimental pour la charge d'un condensateur et d'une bobine

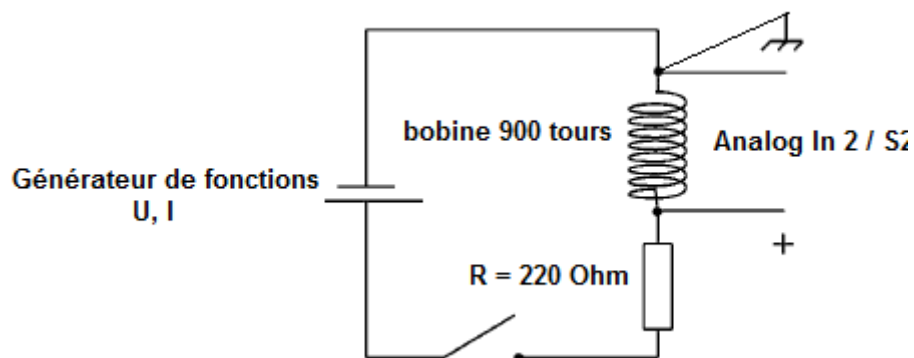


Figure. 9 : Montage expérimental pour la charge d'une inductance.

- Sélectionnez le tableau "**Mesure rapide**" et réglez les valeurs en utilisant les paramètres indiqués dans la figure 10:

Figure. 10 : Paramètres de mesure rapide pour la charge d'une inductance.

NB. Il faut sélectionner "Canal analogique" qui est situé en 2^{ème} positon comme indiqué sur la figure 10.

- Cliquez sur le bouton "**Configurer le module FG**" et réglez les paramètres comme suit, figure 11:

Figure. 11 : Paramètres de configuration pour le module GF.

- Commencer la mesure avec le bouton "**Continuer**". Lorsque vous voyez "**Attendre le trigger, déclenchement ...**":
 - mettez l'interrupteur marche / arrêt sur **ON**.
 - Relâchez.
- La mesure prend seulement quelques millisecondes et s'arrête automatiquement.
- La courbe obtenue peut ressembler à ceci (Fig. 12):

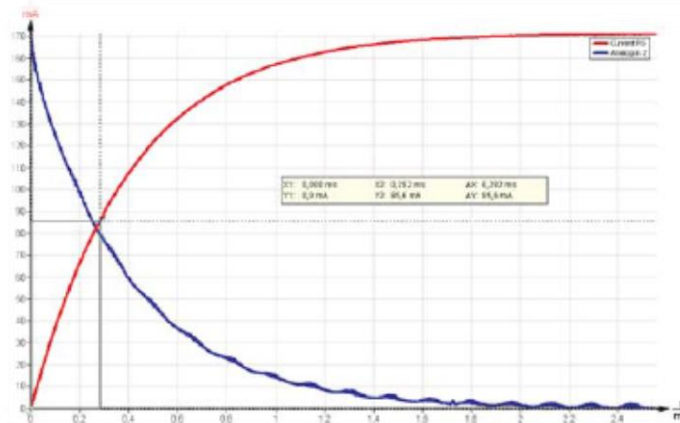



Figure. 12 : Courbe, de charge de L , de mesure expérimentale de $t_{1/2}$, τ et $I_0=I_{max}$.

- Utilisez la courbe courante pour l'évaluation. "mesurer" peut à nouveau être utilisé pour déterminer le temps de demi-vie $t_{1/2}$, la valeur maximale du courant $I_0=I_{max}$ et la constante de temps τ .
- Réessayez, si le rebond du commutateur apparaît et déforme les courbes.
 - o Pensez à utiliser la fonction de lissage pour affiner les courbes obtenues en cliquant sur la fonction  **Lisser**.
- La valeur exacte de la résistance peut être mesurée, si l'inductance est maintenant sorti du circuit, remplacé par un cordon de raccordement et la chute de tension sur la résistance est mesurée avec "Analog In 2 / S2". Configurez l'équipement selon la figure 13 ci-dessous:

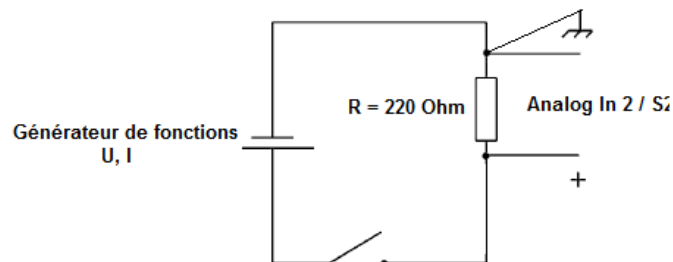


Figure. 13 : Montage expérimental pour la mesure de la résistance R .

- Les paramètres du programme doivent **être réglés sur la mesure normale**. Démarrez le **Cobra3 transcripteur univers** avec le bouton "Continuer" :
 - o **Démarrez la mesure**
 - o **Allumez et remettez en arrêt l'interrupteur marche/arrêt.**
 - o **Arrêtez la mesure.**



- Utilisez la fonction "Mesurer" pour l'évaluation.
- Le résultat peut ressembler à ceci (figure 14):

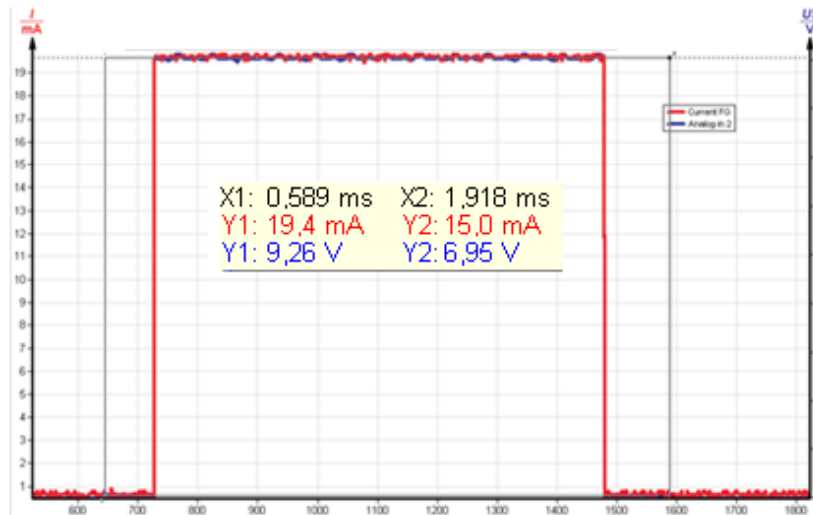


Figure. 14: Mesure expérimentale de la résistance.

4. Théorie et évaluation

4.1. Mesure de la capacité

- La tension U_C sur une capacité C avec charge $Q(t) = \int_0^t I(t).dt$:

$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_2(t)$$

- La tension sur la résistance R est avec le courant $I(t) = \frac{dQ}{dt}$:

$$U_R(t) = R.I(t) = R.\frac{dQ}{dt}$$

- La tension, constante, U est commutée à $t = 0$ et $U = U_R(t) + U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} + R.\frac{dQ}{dt}$
- Cette équation différentielle avec la valeur limite $Q(0) = 0$ (Le condensateur est initialement déchargé) est résolu par :

$$Q(t) = UC \left[1 - e^{-\left(\frac{1}{RC}\right).t} \right]$$

- Et ainsi on obtient :

$$I(t) = \frac{U}{C} e^{-\left(\frac{1}{RC}\right).t} = I_0 e^{-\left(\frac{1}{RC}\right).t} \quad (1)$$

$$\text{et } U_C(t) = U \left[1 - e^{-\left(\frac{1}{RC}\right).t} \right] \quad (2)$$

- La valeur de demi-temps, à mi-temps, $t_{1/2}$ est tel que $U_C(t_{1/2}) = \frac{U}{2}$ on a alors :

$$t_{1/2} = RC \cdot \ln(2) = \tau \cdot \ln(2) \quad (3)$$

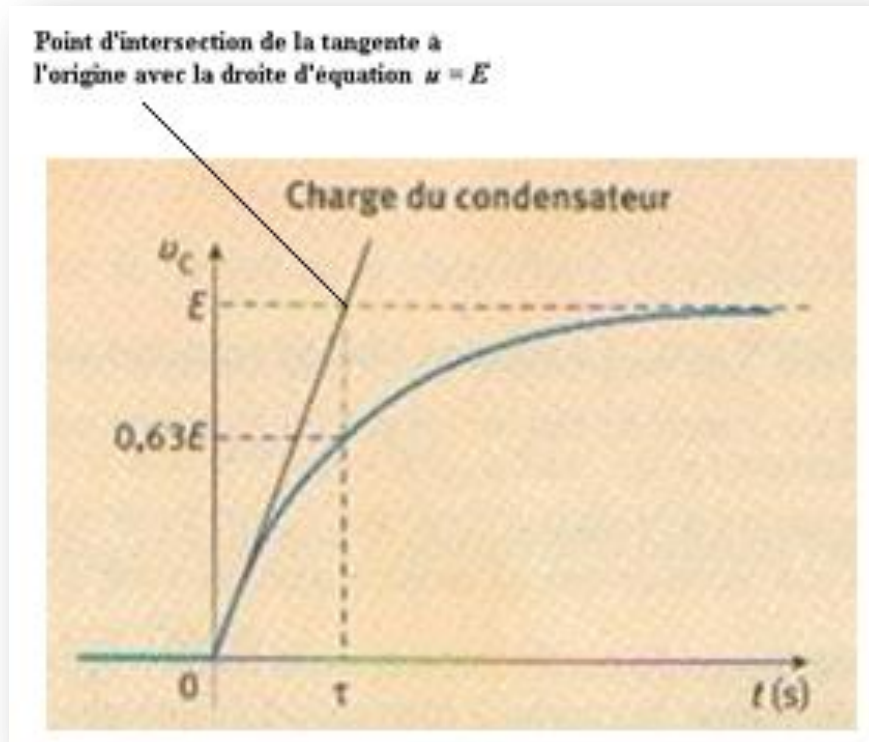
$$C = \frac{t_{1/2}}{R \cdot \ln(2)} \quad (4)$$

- RC est la constante de temps τ du circuit tel que : $RC = \tau$ (5)

- Connaissant la tension U du générateur et la valeur de la résistance de charge R , il est donc possible de déduire, des lois de charge et de décharge, la constante τ du circuit RC . En effet, on a:

- $U_c(\tau) = U[1 - \exp(-1)] = 0,632 \cdot U$ à la charge (6)

- $I(\tau) = I_0 \exp(-1) = 0,368 \cdot I_0$ à la décharge (7)



4.2. Mesure inductive

- La tension U_L sur une inductance L avec la résistance interne R_L est :

$$U_L(t) = L \cdot \frac{dI}{dt} + R_L \cdot I(t)$$

- Et la tension dans le circuit, avec la résistance shunt R_s , est constante après la mise en marche :

$$U = U_{R_s}(t) + U_L(t) = (R_s + R_L) \cdot I(t) + L \cdot \frac{dI}{dt}$$

- Cette équation différentielle avec la valeur limite $I(0) = 0$ a la solution :

$$I(t) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} \right) = I_0 \left(1 - e^{-\frac{1}{\tau}t} \right) \quad (8)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U}{R} \cdot \frac{R}{L} \cdot e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} \quad \text{avec } R = (R_s + R_L).$$

Remarque: Nous pouvons mesurer dans l'expérience la tension sur la bobine

$$U_L(t) = L \cdot \frac{dI}{dt} + R_L \cdot I(t) = U \cdot e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} + \frac{U \cdot R_L}{R} \left(1 - e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t}\right)$$

$$U_L(t) = U \cdot \left[\frac{R_L}{R} + \left(1 - \frac{R_L}{R}\right) e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} \right] \quad (9)$$

- Mais pour l'évaluation nous utilisons la formule, (7), la plus simple pour le courant $I(t)$.
- La valeur de demi-temps, à mi-temps, $t_{1/2}$ est tel que $U_L(t_{1/2}) = \frac{U}{2}$ on a alors :

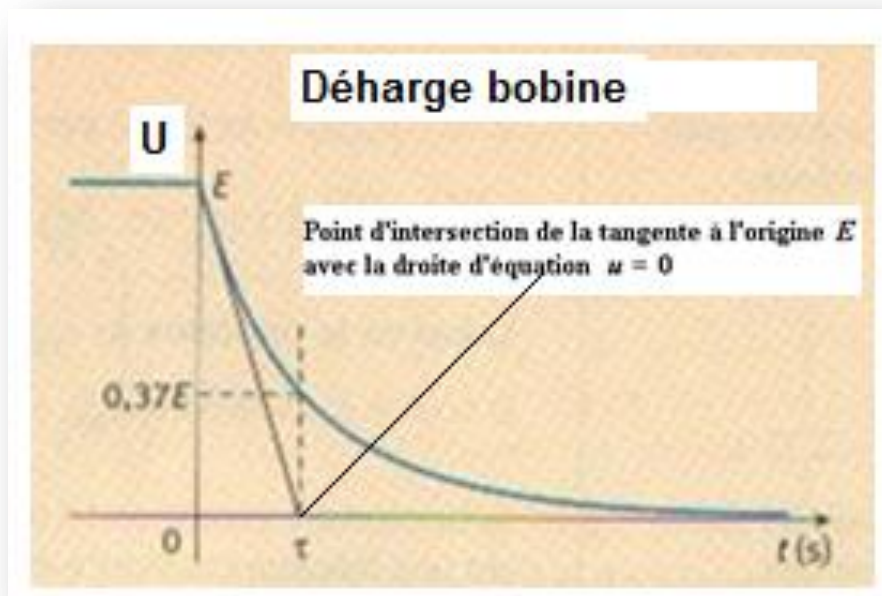
$$t_{1/2} = \frac{L}{R} \cdot \ln(2) = \tau \cdot \ln(2) \quad (10)$$

$$L = \frac{R \cdot t_{1/2}}{\ln(2)} \quad (11)$$

- $\frac{L}{R}$ est la constante de temps τ du circuit RL $\frac{L}{R} = \tau$; (12)
- Connaissant la tension U du générateur et la valeur de la résistance de charge R , il est donc possible de déduire, des lois de charge et de décharge, la constante τ du circuit RL . En effet, on a :

$$U_L(\tau) = U \left[\exp(-1) + \frac{R_L}{R} (1 - \exp(-1)) \right] \approx 0,368 \cdot U \quad (13)$$


$$I(\tau) = I_0 [1 - \exp(-1)] = 0,632 \cdot I_0 \quad (14)$$



5. Travail demandé

A. Charge et décharge du condensateur

On travaille avec $R = 470\Omega$; $C = 47\mu F$; $U = 9V$, Figures 1 et 2 pages 30

1. Relever les courbes, $U_C(t) = U_2(t)$ et $I(t)$, de charge et de décharge du condensateur en respectant les directives de la section §3.1, pages 30-33, figures 1-8. Pour se faire :
 - Démarrez le **cobra3 transcripteur univers** avec le bouton "**Continuer**".
 - Sélectionnez le tableau "**Mesure normale**" et vérifiez les valeurs en utilisant les paramètres indiqués dans les figures 3 et 4 page 31:
 - Déchargez le condensateur en le court-circuitant avec un câble afin que la lecture "Analog in 2 / V" soit approximativement nulle.
 - Débrancher le câble de court-circuit.
 - o **Démarrez la mesure** - soit en appuyant sur la touche "**Espace**", la touche "**Retour**" ou en utilisant la souris.
 - o Mettez **l'interrupteur marche / arrêt sous tension**.
 - o **Arrêtez la mesure** (avec la touche "**Espace**" ou la touche "**Retour**" ou la souris).
 - o Mettez **l'interrupteur Marche / Arrêt** sur **arrêt**.
 - Zoom sur la région intéressante des courbes obtenues.
2. La valeur exacte de la résistance peut être mesurée, si le condensateur est maintenant sorti du circuit, remplacé par un cordon de raccordement et la chute de tension sur la résistance est mesurée avec "Analog In 2/S2". Déterminer donc la valeur expérimentale de la résistance R_{exp} (voir figure 7 ET 8 page 33). Pour se faire :
 - o **Démarrez la mesure**
 - o **Allumez et remettez en arrêt l'interrupteur marche/arrêt.**
 - o **Arrêtez la mesure.**
 - o Utilisez la fonction "**Mesurer**" pour l'évaluation : 
3. Mesurer, la valeur à mi-temps, $t_{1/2}$ du circuit RC (Figure 2) et en déduire donc la valeur expérimentale de la capacité C_{exp} en accord avec l'éq. 4 page 37.
4. A partir des valeurs de $U_C(\tau)$ à la charge (éq. 6 page 38) et $I(\tau)$ à la décharge (éq. 7 page 38), déterminer la constante de temps τ_{exp} du circuit RC. La comparer à, τ_{th} , obtenue à partir des valeurs de chacun des éléments du circuit RC (éq. 5 page 37).
5. En déduire la valeur de C_{exp} en utilisant la relation entre C et τ sachant que :

$$R_{exp} C_{exp} = \tau_{exp}$$

6. Compléter le tableau suivant et conclure:

	R	$t_{1/2}$	C	τ
<i>Valeurs Théoriques</i>				
<i>Valeurs Expérimentales</i>				

B. Charge et décharge de la bobine

On travaille avec $R = 220\Omega$; $L = 24mH$ OU $36 mH$; $U = 9V$, Figures 1 et 9 page 34

- I. Relever les courbes, $U_L(t) = U_2(t)$ et $I(t)$, de charge et de décharge du condensateur en respectant les directives de la section §3.2, pages 7-10, figures 34-37. Pour se faire :
 - Sélectionnez le tableau "**Mesure rapide**" et réglez les valeurs en utilisant les paramètres indiqués dans les figures 10 et 11 page 35:

NB. Il faut sélectionner "Canal analogique" qui est situé en 2^{ème} position comme indiqué sur la figure 10.

- Commencer la mesure avec le bouton "**Continuer**". Lorsque vous voyez "**Attendre le trigger.....**":
 - o mettez l'interrupteur marche / arrêt sur **ON**.
 - o Relâchez.
 - La mesure prend seulement quelques millisecondes et s'arrête automatiquement.
2. La valeur exacte de la résistance peut être mesurée, si l'inductance est maintenant sortie du circuit, remplacée par un cordon de raccordement et la chute de tension sur la résistance est mesurée avec "Analog In 2 / S2". Déterminer donc la valeur expérimentale de la résistance R_{exp} (voir figure 14 page 37). Pour se faire :
 - Les paramètres du programme doivent être réglés sur la mesure normale (page 31)
 - Démarrez le **Cobra3 transcripteur univers** avec le bouton "**Continuer**" :
 - o **Démarrez la mesure**
 - o **Allumez et remettez en arrêt l'interrupteur marche/arrêt.**
 - o **Arrêtez la mesure.**
 - o Utilisez la fonction "**Mesurer**" pour l'évaluation.
 3. Mesurer, la valeur à mi-temps, $t_{1/2}$ du montage RL (Figures 1 et 9) et en déduire donc la valeur expérimentale de l'inductance L_{exp} en accord avec l'éq. 11 page 39.
 4. A partir des valeurs de $U_L(\tau)$ à la décharge (eq. 13 page 39) et $I(\tau)$ à la charge (eq. 14 page 39), déterminer la constante de temps τ_{exp} du circuit RL. La comparer à, τ_{th} , obtenue à partir des valeurs de chacun des éléments du circuit RL (eq. 12 page 39).
 5. En déduire la valeur de L_{exp} en utilisant la relation entre L et τ sachant que :

$$\frac{L_{exp}}{R_{exp}} = \tau_{exp}$$

6. Compléter le tableau suivant et conclure:

	R	$t_{1/2}$	L	τ
Valeurs Théoriques				
Valeurs Expérimentales				