

CAHIER DE LABORATOIRE

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME



LUC TREMBLAP

CAHIER DE LABORATOIRE

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

19^e édition

Hiver 2017

LUC TREMBLAP, Ph. D.

*Professeur de Physique, de Mathématiques, d'Histoire des Sciences et d'Astronomie au
Collège Mérici*



©LES PRESSES DU COLLÈGE MÉRICI

Québec

New York

London

Berlin

Sankt-Petersbourg

Tokyo

Sydney

Wabush

Sagard

PRÉFACE

Ont collaboré à la réalisation de ce cahier de laboratoire

- Paint shop pro X9
- Dell
- Microsoft
- Antidote
- IGA
- Métro
- Costco
- La gravitation
- La force électromagnétique
- Le principe d'exclusion de Pauli
- L'énergie du vide

Ont peut-être un peu trop collaboré à la réalisation de ce cahier de laboratoire

- Itunes
- Civilization
- Roxy
- Jim, Jack, José et Johnny

Ont carrément nui à la réalisation de ce cahier de laboratoire

- Le but en fusillade des Américains
- Le problème des deux ressorts
- Sophie
- La deuxième loi de la thermodynamique
- Le party de Karaoke
- La raquette à Tewksbury
- La galette des rois
- Les tarés du tarot
- Bertrand

QUÉBEC, 2017

LUC TREMBLAP

TABLE DES MATIÈRES

1.	Laboratoire 1 - Les Champs Électriques	1-1
2.	Laboratoire 2 - La Résistance.....	2-1
3.	Laboratoire 3 - Les Lois de Kirchhoff.....	3-1
4.	Laboratoire 4 - La Charge d'un Condensateur.....	4-1
5.	Laboratoire 5 - L'induction électromagnétique.....	5-1
6.	Laboratoire 6 - Les Circuits RLC.....	6-1

LABORATOIRE 1

LES CHAMPS ÉLECTRIQUES

But

Vérifier quelques propriétés des lignes de champ électrique produites par deux types de distribution de charges électriques :

- Un dipôle électrique
- Deux plaques parallèles

THÉORIE

Le champ électrique

On dit qu'il y a un champ électrique à un endroit quand un objet chargé subit une force électrique quand on le place à cet endroit. Le champ électrique est défini de telle façon que la force sur l'objet est proportionnelle au champ électrique et à la charge de l'objet.

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Selon cette définition, le champ est dirigé dans le même sens que la force qui s'exercerait sur une particule positive. Il est donc dirigé vers la charge Q si elle est négative, et s'éloigne de la charge Q si elle est positive.

Si on voulait représenter le champ électrique autour d'un objet chargé, il faudrait dessiner un vecteur représentant la grandeur et la direction du champ à chaque point autour de l'objet chargé. Cette solution n'est pas tellement pratique, car il est bien évident que l'on ne peut pas dessiner tous ces vecteurs puisqu'il y a une infinité de points autour de la charge.

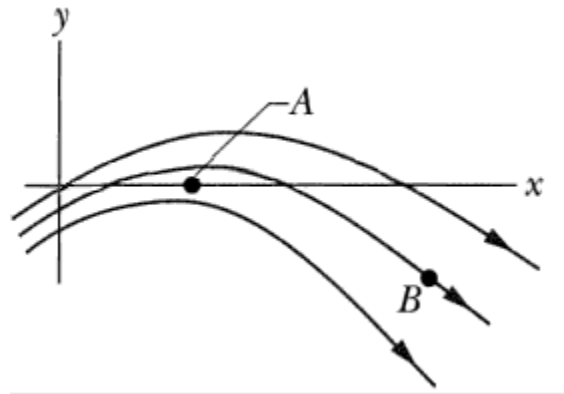
1- Les CHAMPS ÉLECTRIQUES

Les lignes de champs

Pour représenter le champ, nous allons plutôt utiliser des lignes de champ ayant les propriétés suivantes :

- 1) Le champ électrique est tangent aux lignes de champ.
- 2) Le champ électrique est plus intense si les lignes de champ sont plus rapprochées.

Ainsi, si on a une figure représentant le champ électrique, on peut immédiatement avoir une bonne idée de la valeur du champ électrique en un point. Par exemple, dans le cas suivant, le champ au point *A* est dirigé vers la droite alors qu'il est dirigé vers et la droite et vers le bas au point *B*. Cela signifie que si on plaçait une charge positive au point *A*, elle subirait une force vers la droite. De plus, comme les lignes de champ sont plus rapprochées au point *A* qu'au point *B*, cela signifie que si on place une charge au point *A*, elle subira une force électrique plus importante que si on la place au point *B*.



Par la définition des lignes de champ, on peut déduire une autre propriété importante des lignes de champs :

- 3) Elles ne se croisent jamais (elles peuvent cependant le faire aux endroits où le champ est nul)

Les lignes de champ ne se croisent pas puisque cela impliquerait que le champ électrique est dans deux directions à la fois, ce qui est impossible.

On peut démontrer aussi que pour être en accord avec la deuxième propriété des lignes de champ, jamais il n'est nécessaire qu'une ligne de champ apparaisse ou disparaisse soudainement en un point de l'espace où il n'y a pas de charge. Les lignes de champ doivent toujours commencer à une charge positive et toujours se terminer à une charge négative. De plus, le nombre de lignes de champ qui partent ou qui arrivent à une charge doit être proportionnel à la charge. Les lignes de champ électrique doivent donc

1- Les CHAMPS ÉLECTRIQUES

respecter les deux autres propriétés suivantes :

- 4) Elles vont des charges positives aux charges négatives.
- 5) Le nombre de lignes de champ qui partent d'une charge ou qui arrivent à une charge doit être proportionnel à la charge.

Les lignes équipotentielles

On définit les lignes équipotentielles comme étant des lignes qui rejoignent des points où l'énergie potentielle d'une charge est toujours la même, ou autrement dit, tous les points au même potentiel. Ces lignes sont toujours perpendiculaires aux lignes de champ. Si ce n'était pas le cas, alors il y aurait une composante de champ électrique dans le sens de la ligne équipotentielle. Ainsi, en se déplaçant le long de la ligne équipotentielle, il faudrait travailler contre le champ électrique, ce qui change l'énergie potentielle et le potentiel, ce qui contredit l'hypothèse de départ. Les lignes équipotentielles et les lignes de champ sont donc toujours mutuellement perpendiculaires.

- 6) Elles sont perpendiculaires aux lignes équipotentielles.

Résumé des propriétés importantes des lignes de champ électrique

Donc, en résumé, les lignes de champ ont les propriétés suivantes :

- 1) Le champ électrique est tangent aux lignes de champ.
- 2) Le champ électrique est plus intense si les lignes de champ sont plus rapprochées.
- 3) Elles ne se croisent jamais.
- 4) Elles vont des charges positives aux charges négatives.
- 5) Le nombre de lignes de champ qui partent d'une charge ou qui arrivent à une charge doit être proportionnel à la charge.
- 6) Elles sont perpendiculaires aux lignes équipotentielles

Le champ autour de deux charges ponctuelles.

L'intensité du champ autour d'une charge ponctuelle Q est donnée par

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

1- Les CHAMPS ÉLECTRIQUES

où r représente la distance de la charge ponctuelle. Avec deux charges ponctuelles, il suffit de faire la somme vectorielle des deux champs.

Le champ entre deux plaques parallèles

L'intensité du champ électrique entre deux plaques est donnée par

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

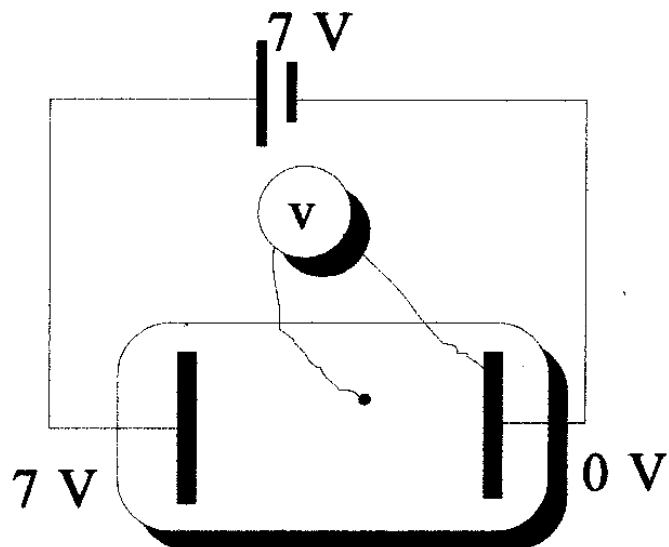
où σ est la densité de charge des plaques. On voit que l'intensité de champ ne dépend pas de la position et que le champ électrique entre deux plaques est donc uniforme.

MÉTHODE UTILISÉE

Bien entendu, les lignes de champ ne sont pas visibles directement puisqu'elles ne sont en fin de compte que des outils mathématiques. Il faut donc trouver un moyen de tracer ces lignes indirectement. La méthode la plus évidente consiste à utiliser les lignes équipotentielles.

Sur une feuille de carbone, deux surfaces métalliques sont chargées en les reliant à une pile. Comme le carbone est légèrement conducteur, il se produit un faible courant électrique entre les deux régions métalliques. Ce courant suit les lignes de champ puisque les charges qui forment le courant subissent une force électrique qui, par définition, est tangente aux lignes de champ.

À l'aide d'un voltmètre, on détermine sur la feuille plusieurs séries de points qui sont au même potentiel. Cela permet d'en déduire les lignes équipotentielles. On peut alors tracer les lignes de champ, car celles-ci sont perpendiculaires aux lignes équipotentielles.



1- Les CHAMPS ÉLECTRIQUES

Nous allons nous faciliter la vie un peu en travaillant avec des nombres entiers. Nous voulons avoir quelques lignes équipotentiels, disons six. Ainsi, nous allons créer une différence de potentiel de 7 V entre nos deux régions métalliques. De cette façon, si on utilise le voltmètre et qu'on laisse une des bornes sur la région métallique à 0 V, Nous allons observer la différence de potentiel qui augmente graduellement de 0 V à 7 V à mesure que l'on déplace l'autre borne du voltmètre de la région métallique à 0 V vers la région métallique à 7 V.

Si on veut tracer la ligne équipotentielle de 3 volts, on place une borne sur la région à 0V et on cherche tous les points qui nous donnent une différence de potentiel de 3 volts en promenant la deuxième borne sur la plaque. En marquant ces points et en les reliant, on obtient la ligne équipotentielle à 3 volts. On recommence aux autres potentiels (de 1 à 6 volts) pour finalement avoir 6 lignes équipotentiels.

APPAREILS

- Voltmètre
Incertitude de 0,05 % + 3 chiffres
- Plaque conductrice
- Source de courant

MANIPULATIONS

Dipôle électrique

- Tout d'abord, il faut placer une feuille blanche sur la plaque. Reproduisez les contours du dipôle. Il sera utile que vous reproduisiez aussi la grille de points sur la feuille de carbone. Ces points sont là pour vous aider à vous repérer.
- Branchez ensuite votre plaque sur la source de potentiel que vous ajusterez à 7 V.
- Branchez ensuite votre voltmètre. Une borne sur le dipôle à 0 volt et l'autre libre.
- En promenant la deuxième borne, trouvez alors les points qui sont à 1 volt, 7 ou 8 suffiront. Attention ! Les points de la feuille sont faits de peinture isolante. Il ne faut donc pas placer une borne du voltmètre directement sur un des points, ce qui

1- Les CHAMPS ÉLECTRIQUES

fausserait les résultats.

- Reliez les points ainsi obtenus pour obtenir la ligne équipotentielle à 1 volt.
- Recommencez pour 2 volts, et ainsi de suite jusqu'à 6 volts.
- Une fois les lignes équipotentielles trouvées, tracez les lignes de champ électrique à main levée en vous servant du fait qu'elles sont perpendiculaires aux lignes équipotentielles. Tracez-en 7 ou 8.

Plaques parallèles

Recommencez les mêmes manipulations, mais en utilisant les plaques parallèles.

CALCULS

Il n'y a aucun calcul à faire. N'est-ce pas merveilleux ça ?

ANALYSE DES RÉSULTATS

On doit vérifier si les lignes de champ sont conformes aux 6 propriétés qu'elles devraient avoir.

LA RÉSISTANCE

But

Mesurer la résistance d'un objet à l'aide de $\Delta V = RI$

THÉORIE

La résistance d'un corps est définie par

$$V = RI$$

(On va laisser tomber le Δ dans l'équation, sinon ça va faire trop de Δ quand on va calculer les incertitudes)

En 1827, Ohm publia ses observations montrant que la résistance de la plupart des substances, principalement les métaux, est une constante. C'est cette propriété des corps que l'on appelle la loi d'Ohm. Cela signifie que si on trace un graphique du potentiel en fonction du courant pour les substances qui obéissent à la loi d'Ohm, on obtiendra une droite passant par l'origine.

Toutefois, la résistance n'est pas toujours une constante. Elle varie, entre autres, avec la température. Cette variation est approximativement donnée par

$$R_{\text{température } T} = R_{\text{température } T_0} (1 + \alpha(T - T_0))$$

où α est une valeur qui dépend de la substance.

2-LA RÉSISTANCE

APPAREILS

Source

Affichage numérique Incertitude : 0,5% + 1 chiffre

Une résistance et une lampe

Multimètre

Voltmètre: 0,05% + 3 chiffres

Ampèremètre: Toutes les échelles 0,5% + 5 chiffres

Ohmmètre : Échelle de 200 Ω : 0,2% + 10 chiffres
Échelle de 2 k Ω , 20 k Ω 200 k Ω 0,15% + 3 chiffres
Échelle de 2 M Ω 0,25% + 3 chiffres
Échelle de 20 M Ω 1,0% + 10 chiffres

LCR Meter

Ohmmètre : Échelle de 2 Ω : 1% + 5 chiffres
Échelle de 20 Ω 1% + 2 chiffres

MÉTHODE UTILISÉE

On peut trouver la résistance en mesurant le courant ainsi que la différence de potentiel aux bornes de la résistance pour plusieurs valeurs de V et I . On trouve ensuite la résistance en utilisant $V = RI$.

MANIPULATIONS

Premier test

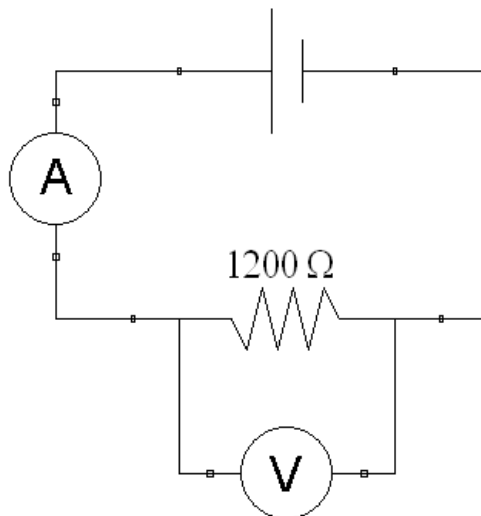
Avant d'effectuer le montage, mesurez la résistance du résistor avec le multimètre.

Mesurez la résistance avec le multimètre

$$R = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}.$$

2-LA RÉSTANCE

On va ensuite faire le montage montré sur la figure.



Complétez ensuite le tableau suivant.

Tableau 1
Courant dans une résistance en fonction de la différence de potentiel

TENSION (V)	COURANT (I)
V	A
±	±
(5 V)	
(10 V)	
(15 V)	
(20 V)	
(25 V)	
(30 V)	

Deuxième test

Avant d'effectuer le montage, mesurez la résistance de la lampe avec le multimètre.

Résistance : _____ ± _____.

2-LA RÉSISTANCE

Réalisez ensuite le montage ci-contre.

Faites varier la tension appliquée et notez l'intensité du courant correspondant. Complétez le tableau suivant.

Attention : **ne pas dépasser 12 V.**

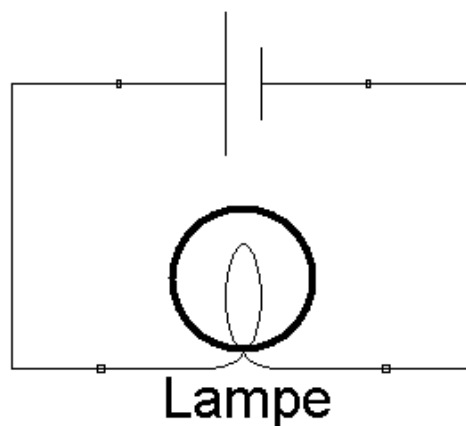


Tableau 2
Courant dans une lampe en fonction de la différence de potentiel

TENSION (V)	COURANT (I)
V	A
±	±
(1 V)	
(2 V)	
(3 V)	
(4 V)	
(5 V)	
(6 V)	
(7 V)	
(8 V)	
(9 V)	
(10 V)	
(11 V)	
(12 V)	

RÉSULTATS

Premier test

- Donnez la valeur de la résistance.
- Faites un tableau de la différence de potentiel et du courant.

Deuxième test

- Donnez la valeur de la résistance.
- Faites un tableau de la différence de potentiel et du courant.

CALCULS

Premier test

- Tracez le graphique de V en fonction de I . Si la résistance est constante, vous devriez obtenir une droite dont la pente est égale à la résistance.

Deuxième test

- Tracez le graphique de V en fonction de I . Si la résistance est constante, vous devriez obtenir une droite dont la pente est égale à la résistance.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Premier test

- Comparez la valeur de la pente obtenue avec la valeur de la résistance de 1200Ω mesurée avec l'ohmmètre.

Deuxième test

- Comparez la valeur de la pente obtenue avec la valeur de la résistance de la lampe mesurée avec l'ohmmètre.

2-LA RÉSISTANCE

LABORATOIRE 3

LES LOIS DE KIRCHHOFF

But

Le but de ce laboratoire est de vérifier les lois de Kirchhoff dans un circuit.

THÉORIE

Pour expliquer les lois de Kirchhoff, nous allons prendre un exemple (voir figure).

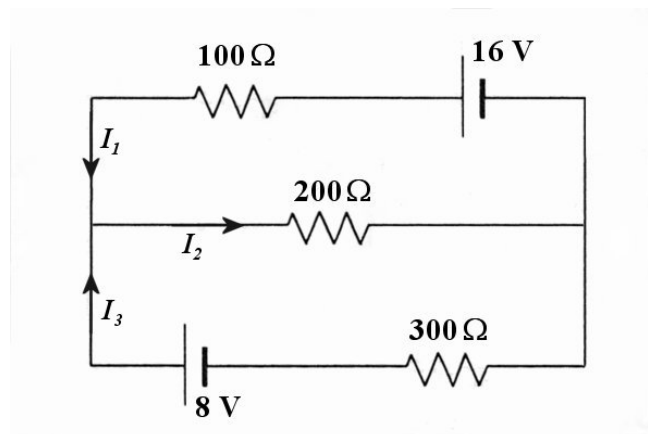
La loi des nœuds

La première loi de Kirchhoff est appelée la loi des nœuds. Un nœud est un point de rencontre des courants.

La loi des nœuds, qui est équivalente à la loi de la conservation de la charge, spécifie que

$$\sum \text{des courants qui arrivent} \\ = \sum \text{des courants qui partent}$$

Si on prend le nœud de gauche sur notre exemple, cette loi nous donne



$$I_1 + I_3 = I_2$$

La loi des mailles

Une maille est un circuit fermé comprenant une partie ou le tout d'un circuit. La loi des

3- Les Lois de Kirchhoff

mailles se rapporte aux différences de potentiel qui se produisent dans une maille. Cette loi stipule que la somme des différences de potentiel sur les éléments d'un circuit rencontrés en parcourant une maille doit donner zéro.

$$\sum \text{des différences de potentiel sur un tour} = 0$$

Il faut donc partir d'un point et faire le tour du circuit en additionnant les différences de potentiel jusqu'à ce qu'on revienne au point de départ.

Nous savons qu'une différence de potentiel peut être positive ou négative, dépendant de l'élément rencontré et du sens du courant. Voici un rappel des règles qui déterminent le signe d'une différence de potentiel avec les sources et les résistances.

- Pour une source de tension, on écrit $+\varepsilon$ si on rencontre la plaque négative en premier et $-\varepsilon$ si on rencontre la plaque positive en premier.
- Pour une résistance, on écrit $-RI$ si on va dans le sens du courant, et on écrit $+RI$ si on va dans le sens contraire du courant.

Ainsi, si on prend notre exemple, il est possible de faire trois mailles : la maille du haut, la maille du bas et la grande maille. Les équations de la deuxième loi de Kirchhoff pour chacune de ces mailles (toutes faites en allant dans le sens des aiguilles d'une montre en partant du nœud du gauche) sont :

$$+100\Omega I_1 - 16V + 200\Omega I_2 = 0 \quad (\text{Maille du haut})$$

$$-200\Omega I_2 - 300\Omega I_3 + 8V = 0 \quad (\text{Maille du bas})$$

$$+100\Omega I_1 - 16V - 300\Omega I_3 + 8V = 0 \quad (\text{Grande maille})$$

Une fois que l'on a les équations, il ne reste plus qu'à résoudre le système d'équations pour obtenir les valeurs des courants.

MÉTHODE UTILISÉE

De toute évidence, la meilleure façon de vérifier les lois de Kirchhoff, c'est de monter un circuit, de mesurer les valeurs du courant et du voltage, et de comparer avec les valeurs théoriques. Si les lois sont bonnes, il devrait y avoir accord entre les mesures et les calculs.

3- Les Lois de Kirchhoff

APPAREILS

- Source

- Multimètre

Voltmètre: 0,05% + 3 chiffres

Ampèremètre: Toutes les échelles 0,5% + 5 chiffres

Ohmmètre : Échelle de 200 Ω : 0,2% + 10 chiffres

Échelle de 2 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω 0,15% + 3 chiffres

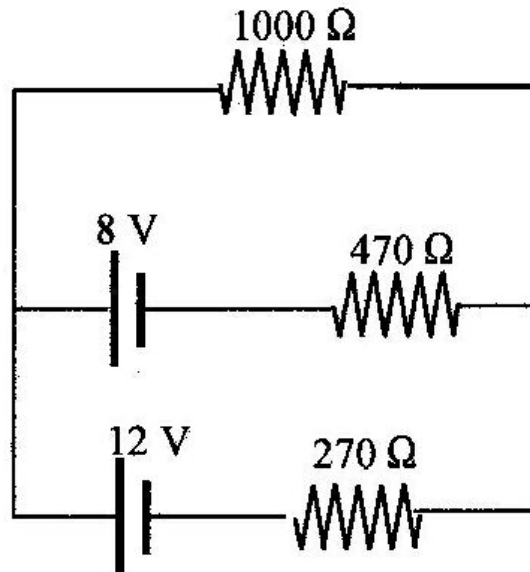
Échelle de 2 M Ω 0,25% + 3 chiffres

Échelle de 20 M Ω 1,0% + 10 chiffres

- Résistance

MANIPULATIONS

Nous allons travailler avec le circuit suivant.



- Ajuster préalablement vos sources à 8 V et 12 V.
- Faites le montage.

3- Les Lois de Kirchhoff

- Allumez les sources et mesurez la tension aux bornes des sources et de chacune des résistances. N'oubliez pas qu'un voltmètre se branche toujours en parallèle.

\mathcal{E} source 12V : _____

\mathcal{E} source 8V : _____

$V_{1000\ \Omega}$: _____

$V_{470\ \Omega}$: _____

$V_{270\ \Omega}$: _____

- Mesurez le courant traversant chacune des résistances. N'oubliez pas qu'un ampèremètre se branche toujours en série.

$I_{1000\ \Omega}$: _____ mA

$I_{470\ \Omega}$: _____ mA

$I_{270\ \Omega}$: _____ mA

- Vérifier également la valeur des résistances avec le multimètre.

$R_{1000\ \Omega}$: _____

$R_{470\ \Omega}$: _____

$R_{270\ \Omega}$: _____

RÉSULTATS

Donnez les valeurs suivantes :

- Les différences de potentiel des sources (\mathcal{E} source 12V et \mathcal{E} source 8V)
- Les différences de potentiel aux bornes des résistances ($V_{1000\ \Omega}$, $V_{470\ \Omega}$ et $V_{270\ \Omega}$)
- Les courants dans les résistances ($I_{1000\ \Omega}$, $I_{470\ \Omega}$ et $I_{270\ \Omega}$)
- Les valeurs des résistances ($R_{1000\ \Omega}$, $R_{470\ \Omega}$ et $R_{270\ \Omega}$)

CALCULS

- Trouvez la valeur théorique des courants et des différences de potentiel aux bornes de chacune des résistances. Pour ce calcul, employez les valeurs des résistances et des différences de potentiel des sources mesurées.

3- Les Lois de Kirchhoff

Attention : Comme les incertitudes sur les résultats de ce calcul seront très petites, ces derniers doivent être très précis. Il faut donc faire attention de ne pas trop arrondir quand on fait les calculs.

Le calcul des incertitudes théoriques est loin d'être aussi facile à faire qu'on pourrait le penser. Votre gentil professeur les a calculées pour vous.

(Notez que dans les formules suivantes, $\Sigma RR = R_{270}R_{470} + R_{270}R_{1000} + R_{470}R_{1000}$)

$$\Delta I_{1000} = \left| \frac{R_{270}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_8 + \left| \frac{R_{470}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_{12} + \left| \frac{R_{470} (V_8 R_{1000} - V_{12} R_{1000} - V_{12} R_{470})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{270} \\ + \left| \frac{R_{270} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} - V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{470} + \left| \frac{(R_{270} + R_{470})(V_{12} R_{470} + V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{1000}$$

$$\Delta I_{470} = \left| \frac{R_{270} + R_{1000}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_8 + \left| \frac{R_{1000}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_{12} + \left| \frac{R_{1000} (V_8 R_{1000} - V_{12} R_{1000} - V_{12} R_{470})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{270} \\ + \left| \frac{(R_{270} + R_{1000})(V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} - V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{470} + \left| \frac{R_{270} (V_{12} R_{470} + V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{1000}$$

$$\Delta I_{270} = \left| \frac{R_{1000}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_8 + \left| \frac{R_{1000} + R_{470}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_{12} + \left| \frac{(R_{470} + R_{1000})(V_8 R_{1000} - V_{12} R_{1000} - V_{12} R_{470})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{270} \\ + \left| \frac{R_{1000} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} - V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{470} + \left| \frac{R_{470} (V_{12} R_{470} + V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{1000}$$

$$\Delta V_{1000} = \left| \frac{R_{1000} R_{270}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_8 + \left| \frac{R_{1000} R_{470}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_{12} + \left| \frac{R_{1000} R_{470} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} + V_{12} R_{470})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{270} \\ + \left| \frac{R_{1000} R_{270} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} - V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{470} + \left| \frac{R_{470} R_{270} (V_{12} R_{470} + V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{1000}$$

3- Les lois de Kirchhoff

$$\Delta V_{470} = \left| \frac{R_{470} (R_{270} + R_{1000})}{\Sigma RR} \right| \Delta V_8 + \left| \frac{R_{470} R_{1000}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_{12} + \left| \frac{R_{1000} R_{470} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} + V_{12} R_{470})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{270}$$

$$+ \left| \frac{R_{1000} R_{270} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} - V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{470} + \left| \frac{R_{470} R_{270} (V_{12} R_{470} + V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{1000}$$

$$\Delta V_{270} = \left| \frac{R_{270} R_{1000}}{\Sigma RR} \right| \Delta V_8 + \left| \frac{R_{270} (R_{1000} + R_{470})}{\Sigma RR} \right| \Delta V_{12} + \left| \frac{R_{1000} R_{470} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} + V_{12} R_{470})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{270}$$

$$+ \left| \frac{R_{1000} R_{270} (V_{12} R_{1000} - V_8 R_{1000} - V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{470} + \left| \frac{R_{470} R_{270} (V_{12} R_{470} + V_8 R_{270})}{(\Sigma RR)^2} \right| \Delta R_{1000}$$

Ça semble long à calculer, mais votre gentil professeur vous a fait un petit fichier Excel qui fait ces calculs.

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Les valeurs des courants et des différences de potentiel sont-elles toujours en accord avec les valeurs calculées ?

LABORATOIRE 4

LA CHARGE D'UN CONDENSATEUR

But

Le but de cette expérience est de vérifier l'équation théorique de la charge des condensateurs.

THÉORIE

La durée de charge d'un condensateur dépend de la capacité équivalente et de la résistance équivalente d'un circuit. L'équation suivante donne la charge en fonction du temps

$$Q = C\varepsilon\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (1)$$

où C est la capacité, ε la tension de la source, R la résistance et Q la charge du condensateur au temps t . Nous allons utiliser un circuit avec une source, une résistance et un condensateur en série. Selon les lois de Kirchhoff, nous avons

$$\varepsilon = V_C + V_R \quad (2)$$

où V_C est la tension aux bornes du condensateur et V_R la tension aux bornes de la résistance. La tension aux bornes du condensateur est reliée à la charge du condensateur par

$$V_C = \frac{Q}{C} \quad (3)$$

4- LES CONDENSATEURS

MÉTHODE UTILISÉE

De toute évidence, le meilleur moyen de vérifier la loi de charge d'un condensateur est de monter un circuit dans lequel un condensateur se charge à travers une résistance et de mesurer la différence de potentiel aux bornes du condensateur ou de la résistance en fonction du temps. À partir de ces données, nous pourrions obtenir la charge en fonction du temps pour le condensateur et la comparer à la courbe théorique de la charge en fonction du temps.

APPAREILS

- Source
- Résistance
- Condensateur
- Multimètre

Voltmètre:	0,05% + 3 chiffres
Ampèremètre:	Toutes les échelles sauf 20 A 0,5% + 5 chiffres Échelle de 20 A 1,5% + 10 chiffres
Ohmmètre :	Échelle de 200 Ω : 0,2% + 10 chiffres Échelle de 2 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω 0,15% + 3 chiffres Échelle de 2 M Ω 0,25% + 3 chiffres Échelle de 20 M Ω 1,0% + 10 chiffres

- Appareil pour mesurer la capacité (LCR meter)

Incertitude	Échelle de 200 pF, 2 nF, 20 nF, 200 nF, 2 μ F, 20 μ F, 200 μ F $\pm 1\%$ + 2 chiffres Échelle de 2 mF et 20 mF $\pm 2\%$ + 10 chiffres
-------------	---

4- LES CONDENSATEURS

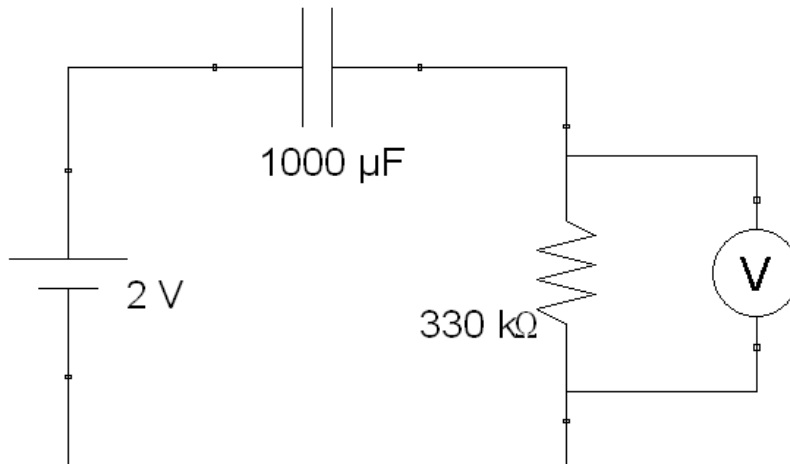
MANIPULATIONS

Avant de faire le montage, il serait bon de vérifier les valeurs de la résistance et de la capacité de nos composants.

$$R = \underline{\hspace{2cm}} \pm \hspace{0.5cm}.$$

$$C = \underline{\hspace{2cm}} \pm \hspace{0.5cm}.$$

Ensuite, faire le montage suivant.



- Fixez la tension de la source à 2 V.

$$\varepsilon = \underline{\hspace{2cm}} \pm \hspace{0.5cm}.$$

- Aussitôt que votre circuit sera complété, démarrez votre chronomètre.
- Mesurez la valeur de la tension aux bornes de la résistance aux valeurs de temps indiquées sur le tableau de la page suivante.

4- LES CONDENSATEURS

Tableau 1
Différence de potentiel en fonction du temps

TEMPS	V_R
s	V
±	±
30	
60	
120	
180	
240	
300	
360	
420	
480	

RÉSULTATS

- Donnez la valeur de la résistance (R)
- Donnez la valeur de la capacité (C)
- Donnez la valeur de la différence de potentiel de la source (\mathcal{E})
- Faites un tableau de la différence de potentiel aux bornes de la résistance (V_R) en fonction du temps

4- LES CONDENSATEURS

Calculs

Pour vérifier la loi, nous allons placer sur un graphique les valeurs expérimentales de la charge du condensateur et la courbe théorique de la charge en fonction du temps. Si cette courbe touche à tous nos points expérimentaux, alors la loi est en accord avec l'expérimentation.

Charge d'un condensateur expérimentale

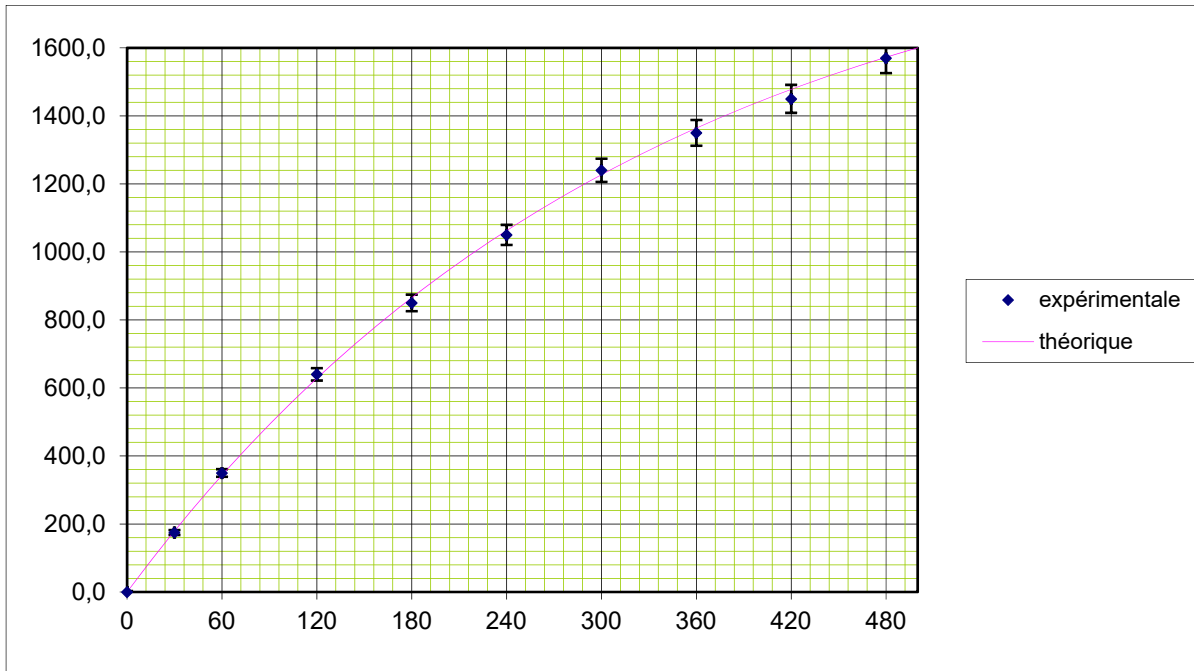
- À partir de V_R , calculez, pour chaque temps la valeur de V_C . (équation 2)
- À partir de V_C , calculez, pour chaque temps, la valeur de la charge du condensateur. (équation 3)
- Faites un graphique de la charge en fonction du temps. Attention, ne placez sur ce graphique que les points expérimentaux, ne les reliez pas.

Charge d'un condensateur théorique

- À l'aide des valeurs mesurées de R , C et ε , tracez, sur le même graphique, la courbe de la charge théorique en fonction du temps (équation 1). Ne calculez pas les incertitudes sur la charge théorique.

4- LES CONDENSATEURS

S'il y a accord, votre graphique devrait ressembler à ce graphique :



En cas de désaccord, un ou plusieurs points ne toucheront pas à la courbe théorique

ANALYSE DES RÉSULTATS

Votre courbe théorique est-elle en accord avec vos valeurs expérimentales de la charge? Autrement dit, est-ce que tous les points expérimentaux avec leurs incertitudes touchent à la courbe théorique.

LABORATOIRE 5

L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

But

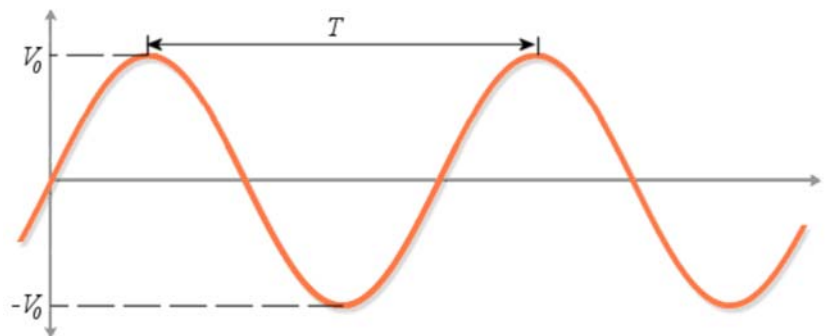
Ce laboratoire a pour but de vérifier la formule de l'induction électromagnétique.

$$\Delta V_L = L \frac{dI}{dt}$$

THÉORIE

Le courant alternatif (C.A.)

Le courant alternatif est un courant qui varie dans le temps de façon sinusoïdale. Le voltage varie également de la même façon, c'est à dire selon



Graphique de la tension alternative

$$i = i_0 \sin(\omega t) \tag{1}$$

$$v = v_0 \sin(\omega t + \phi)$$

Le potentiel passe donc de $-v_0$ à v_0 (appelé l'amplitude du potentiel) et le courant de $-i_0$ à i_0 (appelé l'amplitude du courant). La fréquence angulaire ω est

$$\omega = 2\pi f \tag{2}$$

La fréquence f représente de nombre d'oscillation par seconde et s'exprime en Hertz (Hz). La période est le temps nécessaire pour que le courant complète un cycle complet d'oscillation. Cette période T est l'inverse de la fréquence donc $T = 1 / f$. Notez que la

5- L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

tension moyenne est nulle, et ainsi que le courant moyen.

Lorsque vous utilisez le voltmètre ou l'ampèremètre en courant alternatif, vous remarquerez que la valeur du potentiel ou du courant ne varie pas, même si on travaille en courant alternatif. C'est tout simplement que le multimètre ne donne pas la valeur instantanée du voltage et du courant. Il ne donne pas non plus la valeur moyenne puisqu'on vient juste de dire que ces moyennes sont toujours nulles pour un courant alternatif. Le multimètre donne plutôt la valeur efficace du courant ou du potentiel. Cette valeur efficace est reliée à l'amplitude par

$$V = \frac{1}{\sqrt{2}} v_0 \quad (3)$$

et

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} i_0. \quad (4)$$

L'induction électromagnétique

Si on fait la loi de Kirchhoff avec une source branchée à une bobine d'induction. On obtient

$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} = 0 \quad (5)$$

Ainsi on doit avoir

$$\begin{aligned} \varepsilon &= L \frac{di}{dt} \\ v_0 \sin(\omega t + \phi) &= L \frac{di}{dt} \end{aligned} \quad (6)$$

Selon le courant donné à l'équation 1, la différence de potentiel aux bornes de l'inducteur est

$$L \frac{di}{dt} = L \frac{d(i_0 \sin \omega t)}{dt} = \omega L i_0 \cos \omega t \quad (7)$$

ce qui nous donne

$$v_0 \sin(\omega t + \phi) = \omega L i_0 \cos \omega t \quad (8)$$

En utilisant l'identité trigonométrique $\cos \theta = \sin(\theta + \pi/2)$, on peut changer le côté droit

5- L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

de l'équation pour obtenir

$$v_0 \sin(\omega t + \phi) = \omega L i_0 \sin(\omega t + \pi / 2) \quad (9)$$

En comparant les deux côtés de l'équation, on peut trouver le lien entre l'amplitude du courant et l'amplitude de la différence de potentiel. Ce lien est

$$v_0 = \omega L i_0 \quad (10)$$

C'est cette relation entre l'amplitude du courant et l'amplitude de la différence de potentiel que nous allons vérifier.

MÉTHODE UTILISÉE

Encore une fois, nous allons y aller avec la simplicité. Nous allons tout simplement faire passer un courant alternatif dans une bobine et mesurer la tension aux bornes de la bobine. En mesurant ensuite ω et L , nous pourrons ensuite calculer la tension prévue par l'équation 10 et la comparer à la valeur mesurée.

APPAREILS

- Multimètre

Ampèremètre (AC): Toutes les échelles 0,8% + 10 chiffres

- Appareil pour mesurer l'inductance (LCR meter)

Échelle de 200 μ H	2% + 2 chiffres
Échelle de 2mH, 20 mH, 200 mH	1% + 2 chiffres
Échelle de 2H, 20H	2% + 2 chiffres
Échelle de 200 H	3% + 2 chiffres

- Oscilloscope

Incertitude sur la valeur de l'échelle : $\pm 3\%$

- Source de courant alternatif

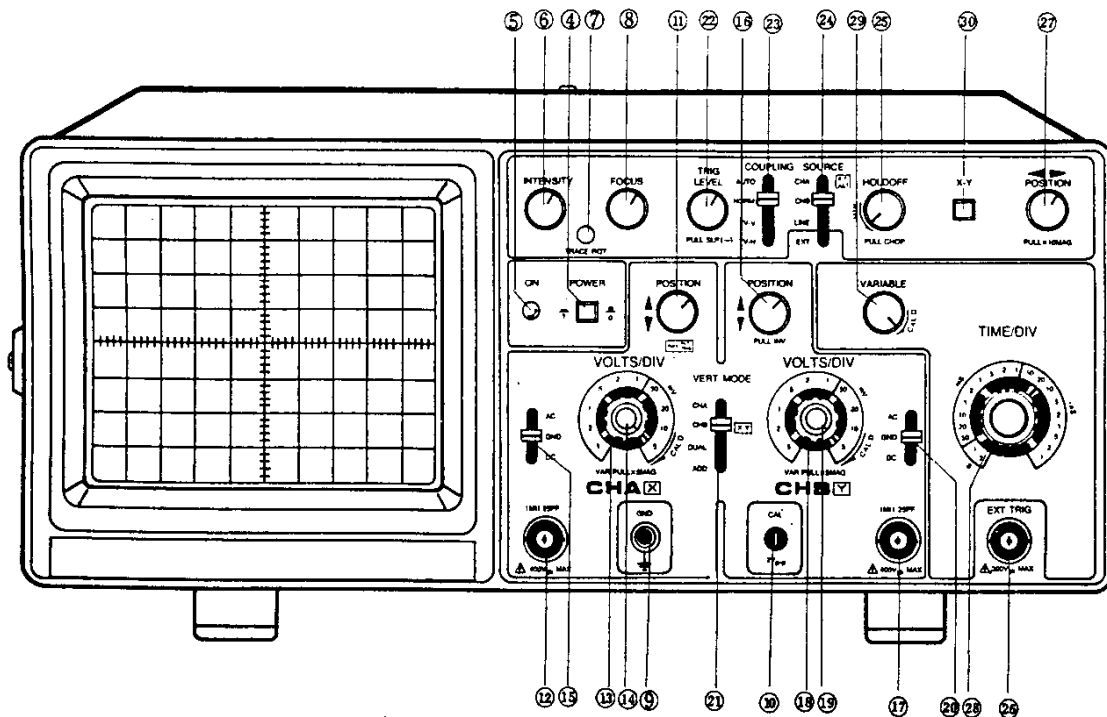
Incertitude sur la fréquence : ± 1 chiffre

- Bobine d'inductance.

5- L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

COMMENT ÇA MARCHE UN OSCILLOSCOPE ?

On va tout d'abord se familiariser avec l'oscilloscope. Il s'agit en gros d'un voltmètre qui



affiche sur un écran la forme du signal reçu.

Un petit ajustement préliminaire est nécessaire. Tout d'abord, il y a deux entrées sur un oscilloscope. La première est le canal 1 (12) et la deuxième est le canal 2 (17) Comme nous n'utilisons qu'un seul signal, il faut choisir d'utiliser le canal 1. Donc vous regardez l'oscilloscope et vous apercevez le bouton **VERT MODE** (21). Ce bouton doit être en position **CH1** pour "channel 1". (Au prochain laboratoire, vous aurez à utiliser les deux canaux en même temps et alors vous choisirez **DUAL**.) Voilà, vous avez choisi le canal 1 dont les contrôles sont situés à gauche du bouton que vous venez d'utiliser. À droite, ce sont les contrôles du canal 2 que nous n'utiliserons pas. Maintenant, il faut s'assurer que le "ground" de notre signal est bien ajusté. Vous prenez donc le pignon qui vous offre le choix entre **AC**, **GND** et **DC** (15). Placez-le sur **GND** qui signifie, vous l'avez deviné, "ground". Avec le pignon **POS** (position) (11) avec une flèche en haut et en bas, vous pouvez modifier la position du "ground". En jouant avec ce pignon, vous devriez alors voir la ligne se déplacer de haut en bas sur l'écran. Ajustez-le pour que la ligne soit en plein milieu de l'écran. Voilà, votre ground est ajusté. Placez maintenant le sélecteur en

5- L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

position **AC** puisqu'on va travailler avec du courant alternatif.

Vous pouvez maintenant brancher la source de courant alternatif au canal 1 de l'oscilloscope. Vous devriez alors apercevoir un signal sinusoïdal sur l'écran de votre oscilloscope. Il vous faut maintenant ajuster 2 autres petits boutons pour avoir un signal plus utilisable. Tout d'abord, saisissez le bouton **VOLT/DIV** (14) qu'il y a pour le canal 1. Vous devez tourner ce bouton pour changer l'échelle verticale jusqu'à ce que le signal entre complètement sur la hauteur de l'écran. Placez-le pour utiliser le plus grand d'écran possible sans dépasser l'écran. Il est possible qu'à ce moment, le signal soit très comprimé, c'est-à-dire qu'on voit beaucoup de cycles d'oscillation sur l'écran ou encore que l'on ne voit que le début d'une oscillation. Si c'est le cas, il faut ajuster l'échelle horizontale avec le bouton **TIME/DIV** (28). Tournez ce bouton jusqu'à ce que vous ayez au moins un cycle du signal sur l'écran. Les échelles sont alors ajustées.

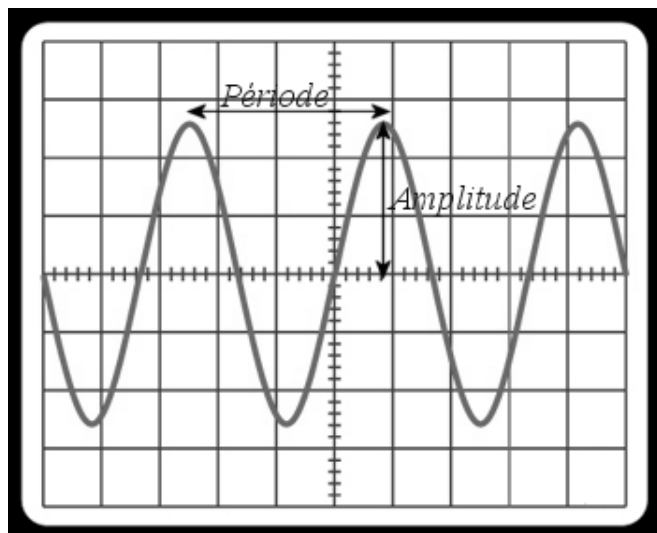
Il ne reste que très peu de boutons que vous pouvez utiliser. Ceux du canal 2 fonctionnent comme ceux du canal 1. Rassurez-vous, vous pourrez les toucher plus tard pour utiliser le canal 2. Tous les boutons en haut au milieu règlent la façon dont l'oscilloscope capte et affiche le signal. On ne touche pas à ces boutons, ils sont déjà en mode automatique. Les boutons en haut à gauche commandent l'écran. Si vous jouez avec le piton **INTENSITY** (6), le signal sur l'écran va pâlir ou devenir plus brillant. Le **FOCUS** (8) va ajuster le focus du signal s'il est flou.

Comment prendre les mesures?

L'amplitude du signal est donnée par le nombre de divisions verticales du signal. Dans l'exemple ci-contre, on compte 2,6 divisions entre le maximum et le zéro. Si on est sur l'échelle de 5 V/div (voir le piton volt /div du canal 1) alors l'amplitude est donnée par

$$v_0 = 2,6 \text{ div} \cdot 5 \text{ Volts / div} = 13 \text{ V}$$

La période est donnée par le nombre de divisions horizontales multiplié par l'échelle du bouton **TIME/DIV**. Dans notre exemple ici, on voit 3,3 divisions. Supposons que l'on est à l'échelle de 10 ms /div, alors la période est de



$$T = 3,3 \text{ div} \cdot 10 \text{ ms / div} = 33 \text{ ms}$$

5- L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

MANIPULATIONS

- Avec l'appareil pour mesurer l'inductance (LCR meter), mesurez l'inductance (L) de la bobine.

$$L = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}.$$

- Faites le montage suivant. Ajustez la fréquence de la source (f) à 1000 Hz.

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}.$$

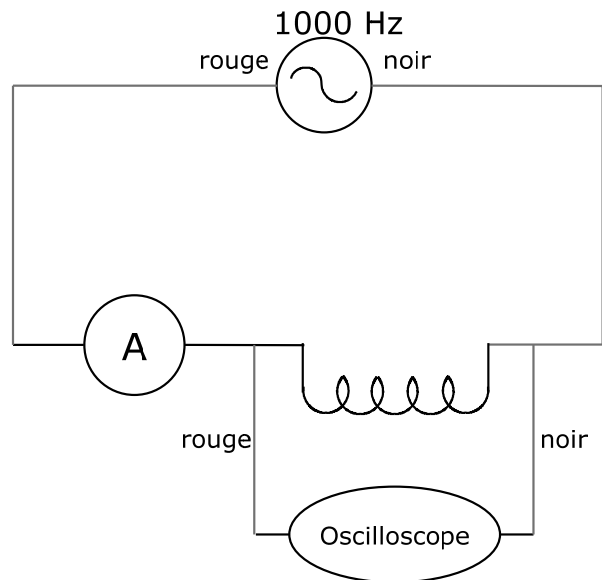
- Faites le montage sur la figure.
- Mesurez l'amplitude de la différence de potentiel aux bornes de la bobine

Nombre de divisions pour l'amplitude : incertitude :

Échelle volt/div :

- Mesurez la valeur du courant efficace (I) passant par la bobine.

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}.$$



RÉSULTATS

Donnez les valeurs suivantes :

- L'inductance (L)
- La fréquence de la source (f)
- Le nombre de divisions pour l'amplitude
- L'échelle de l'oscilloscope
- Le courant efficace (I)

5- L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

Calculs

Valeur expérimentale de la tension aux bornes de la bobine

- Calculez l'amplitude de la tension avec les données de l'oscilloscope.

Valeur théorique de la tension aux bornes de la bobine

- Calculez la valeur de la fréquence angulaire (ω) du courant alternatif à partir de la fréquence de la source. (Équation 2)
- Calculez la valeur de l'amplitude du courant (i_0) à partir de la valeur effective donnée par l'ampèremètre. (Équation 4)
- Calculez la valeur de l'amplitude de la tension aux bornes de la bobine (Δv_0) à l'aide de ω , I_0 et L . (Équation 10)

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Comparez vos valeurs de la tension aux bornes de la bobine.

5- L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

LABORATOIRE 6

LES CIRCUITS RLC

But

Ce laboratoire a pour but de vérifier les formules de l'impédance, du déphasage et de la fréquence de résonance d'un circuit RLC.

THÉORIE

Liens entre la tension et le courant

Dans un circuit comprenant les trois éléments de base des circuits, soit la résistance, l'inductance et les condensateurs, il existe une relation fondamentale entre la tension aux bornes de la source et le courant. Cette relation n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire à cause du déphasage du courant avec la tension. Bien que les détails de la solution soient assez complexes, la solution finale est assez simple.

Premièrement, il y a une relation entre l'amplitude du courant et l'amplitude de la différence de potentiel aux bornes de la source. Cette relation est

$$v_0 = Zi_0 \quad (1)$$

où Z est l'impédance du circuit qui est donnée par

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

Le déphasage entre la tension et le courant est donné par

6- Les circuits RLC

$$\tan \phi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (3)$$

Une valeur positive de l'angle indique que la tension devance le courant de ϕ radians. Ce déphasage en angle est relié au déphasage en temps par

$$\phi = \omega \Delta t \quad (4)$$

La fréquence de résonance

Le phénomène de résonance se produit quand l'impédance atteint sa valeur minimale. Dans ce cas, nous avons alors le courant le plus intense possible dans le circuit. Pour avoir une impédance minimale, il faut que

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0 \quad (5)$$

donc que

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

C'est à cette fréquence de résonance que l'on obtient une amplitude maximale pour le courant, et c'est également à ce point que le déphasage est nul.

MÉTHODE UTILISÉE

La meilleure manière de vérifier les relations pour un circuit en courant alternatif est évidemment de monter un circuit et de mesurer les valeurs du courant et de la tension ainsi que le déphasage entre le courant et le potentiel.

Pour vérifier la fréquence de résonance, nous allons chercher la fréquence pour laquelle le déphasage est nul. Cette méthode sera beaucoup plus précise que celle consistant à trouver la fréquence pour laquelle l'amplitude du courant est maximale.

APPAREILS

- source de courant alternatif
Incertitude sur la fréquence : ± 1 chiffre
- Résistance
- Condensateur
- Bobine d'inductance
- Multimètre

Voltmètre (AC):	Fréquences de 50 Hz à 500 Hz	
	Toutes les échelles	1,0% + 10 chiffres
	Fréquence de plus de 500Hz	
	Toutes les échelles	2,0% + 10 chiffres
Ohmmètre :	Échelle de 200 Ω :	0,2% + 10 chiffres
	Échelle de 2 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω	0,15% + 3 chiffres
	Échelle de 2 M Ω	0,25% + 3 chiffres
	Échelle de 20 M Ω	1,0% + 10 chiffres
- Appareil pour mesurer l'inductance (LCR meter)

Échelle de 200 μ H	2% + 2 chiffres
Échelle de 2mH, 20 mH, 200 mH	1% + 2 chiffres
Échelle de 2H, 20H	2% + 2 chiffres
Échelle de 200 H	3% + 2 chiffres
- Appareil pour mesurer la capacité (LCR meter)

1% + 2 chiffres

- Oscilloscope : incertitude sur la valeur de l'échelle : $\pm 3\%$,

MANIPULATIONS

Impédance et déphasage

- Avant de faire le montage (ou après l'expérience), mesurez la valeur des composantes.

$$R = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}} .$$

$$L = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}} .$$

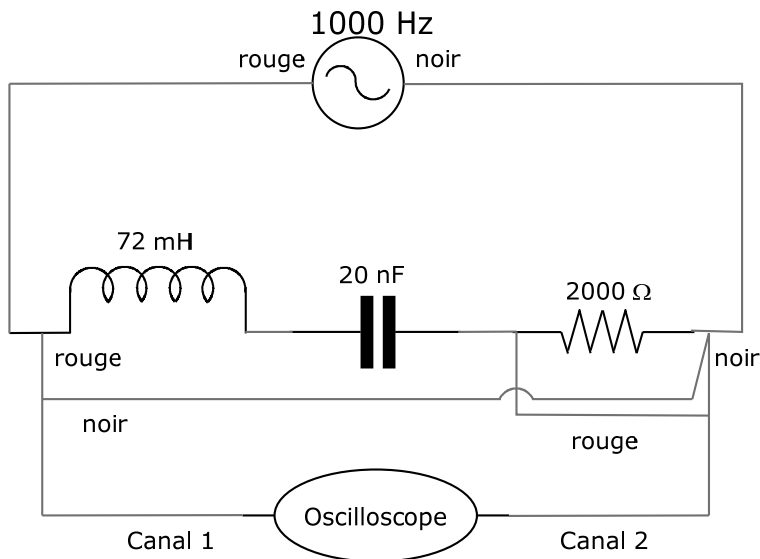
$$C = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}} .$$

- Fixez la fréquence de la source à 1000 Hz. (Attention, elle a tendance à baisser)

$$f_{min} = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}} .$$

$$f_{max} = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}} .$$

- Branchez votre sonde du canal 1 aux bornes de la source, comme indiqué sur la figure suivante. La courbe du canal 1 vous donnera donc la tension aux bornes de la source.



- Branchez votre sonde du canal 2 aux bornes de la résistance. La courbe du canal 2

6- Les circuits RLC

vous donnera donc la tension aux bornes de la résistance.

- Notez laquelle des deux courbes est en avance, et combien de temps sépare les maxima de chaque courbe (Δt)

$$\Delta t = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} .$$

- À l'aide du multimètre, mesurez la différence de potentiel aux bornes de la source et de la résistance.

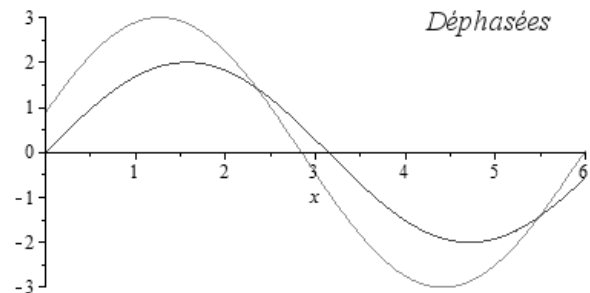
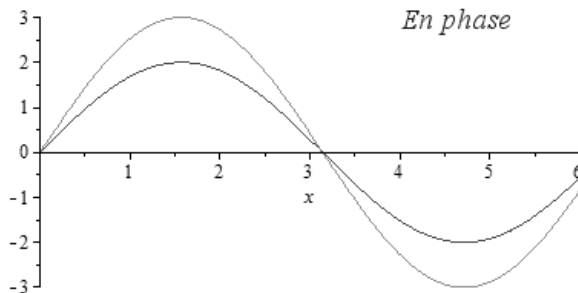
$$V_S = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} .$$

$$V_R = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} .$$

Résonance du circuit

Dans cette partie, vous allez tenter de déterminer expérimentalement la valeur de la fréquence de résonance (f_0) du circuit RLC.

- Vérifiez que les grounds de votre oscilloscope sont parfaitement ajustés.
- À la fréquence de résonance, le déphasage devient nul. Ainsi, la courbe du courant (donc de ΔV_R) et la courbe de la tension du circuit atteignent leur maximum et leur zéro en même temps. Il s'agit donc de varier la fréquence de la source jusqu'au moment où les deux courbes passent par zéro en même temps tel qu'illustré ici.



Comme on peut changer la fréquence un peu sans que les courbes aient l'air de se déphaser, on a plutôt affaire à une plage de fréquence où il y a résonance.

$$f_{0\min} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} .$$

$$f_{0\max} = \frac{\pm}{\quad}.$$

RÉSULTATS

Donnez les valeurs suivantes :

- La résistance (R)
- L'inductance (L)
- La capacité (C)
- La fréquence de la source (f)
- Le temps de déphasage (Δt)
- La différence de potentiel aux bornes de la source (V_S)
- La différence de potentiel aux bornes de la résistance (V_R)
- La fréquence de résonance du circuit (f_0)

CALCULS

Impédance

- Calculez le courant efficace à partir de la résistance R et de la différence de potentiel aux bornes de la résistance en utilisant l'équation

$$V_R = RI$$

- Calculez l'impédance du circuit à partir du courant et de la différence de potentiel aux bornes de la source en utilisant l'équation

$$V_S = ZI$$

- Calculez l'impédance théorique. (Équation 2).

Déphasage

- Calculez le déphasage à partir du temps de déphasage. (Équation 4).
- Calculez le déphasage théorique. (Équation 3)

6- Les circuits RLC

Résonance du circuit

- Calculez la valeur théorique de la fréquence de résonance. (Équation 6)

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Comparez les valeurs de l'impédance.
- Comparez les valeurs du déphasage.
- Comparez les valeurs de la fréquence de résonance.