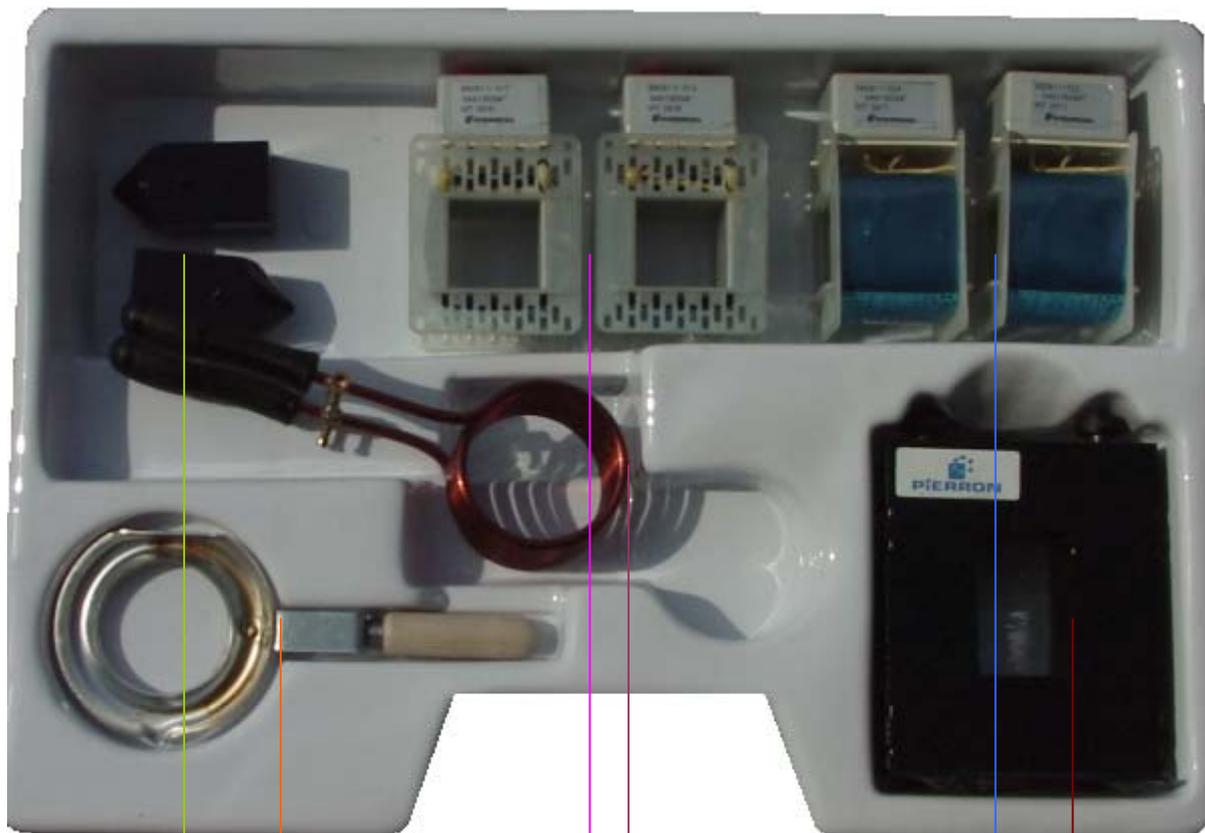


Transfodemo 2

03099



Présentation et Contenu du Coffret



2 pôles

rigole de fusion des métaux

2 bobines 72 spires

bobine pour soudage

2 bobines 600 spires

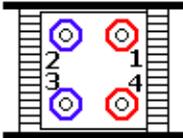
armature

Les caractéristiques des bobines sont les suivantes :

PIERRON BOBINE 72 SPIRES
MT 3976

Caractéristiques:

- 72 spires
- 0,18 mH
- I maxi : 4 A
- \varnothing du fil : 1,4 mm



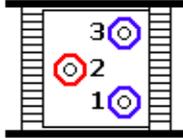
Connectique :

Bornes	3 - 4	2 - 3	1 - 2	1 - 4
Spires	18	24	30	72

PIERRON BOBINE 600 SPIRES
MT 3971

Caractéristiques:

- 600 spires
- 12 mH
- I maxi : 0,8 A
- \varnothing du fil : 0,65 mm



Connectique :

Bornes	1 - 2	2 - 3	1 - 3
Spires	200	400	600

La valise contient deux bobines de chaque espèce ; la résistance de **la bobine de 72 spires** est d'environ **0,30 Ω** , sa tension maximale d'utilisation étant de **12 V**. En ce qui concerne **la bobine de 600 spires**, sa résistance est d'environ **5,80 Ω** et sa tension maximale d'utilisation est de **110 V**.

Attention : si on est amené à utiliser des tensions supérieures à 30 V efficaces, 42,4 V crête ou 60 V continus, il faut absolument utiliser un environnement protégeant l'opérateur contre les chocs électriques : cordons de sécurité absolue, douille de sécurité absolue, sondes différentielles pour l'oscilloscope, appareils de mesure de classe II.

LES THEMES PROPOSES

1. L'induction électromagnétique
2. Les applications du phénomène d'induction
 - 2.1 le transformateur monophasé
 - 2.2 le principe de l'alternateur
 - 2.3 les courants de Foucault
3. L'auto - induction
 - 3.1 mise en évidence expérimentale
 - 3.2 la mesure de l'inductance
4. La fusion des métaux
5. Le soudage

1. L'induction électromagnétique

1.1 Mise en évidence expérimentale.

Le matériel utilisé : dans le coffret
les deux bobines de 600 spires
un noyau de fer doux

complémentaire
un ampèremètre à aiguille, à zéro central
un aimant permanent, droit
un voltmètre
un oscilloscope

variantes

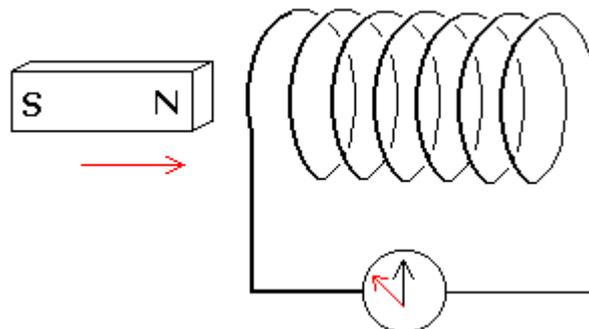
une alimentation continue 12 V

un interrupteur

un G.B.F.

la manipulation :

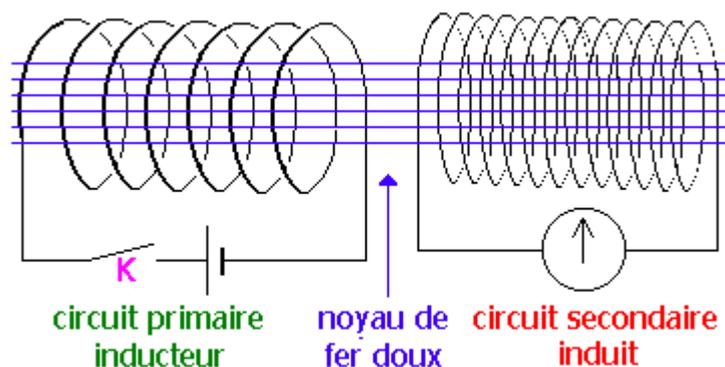
- relier les bornes 1 et 3 de la bobine à l'ampèremètre à zéro central



- introduire, d'un mouvement rapide, l'aimant droit dans la bobine et constater que l'aiguille de l'ampèremètre dévie, soit vers la gauche, soit vers la droite
- retirer l'aimant de la bobine et constater que l'aiguille dévie en sens inverse
- recommencer la manipulation et constater que l'aiguille ne dévie que lorsque l'aimant est en mouvement par rapport à la bobine ; quand l'aimant est au repos par rapport à la bobine, l'aiguille de l'ampèremètre revient au zéro et ne bouge plus
- on peut refaire les mêmes constatations si on déplace la bobine en gardant l'aimant immobile
- placer dans la bobine le noyau de fer doux et approcher l'aimant de la bobine ; constater que la déviation de l'aiguille de l'ampèremètre est nettement plus importante (l'aimant ne pouvant plus pénétrer dans la bobine, il faut placer l'aimant à la sortie de la bobine et l'éloigner d'un geste sec, sans noyau de fer doux puis avec noyau de fer doux).
- remplacer l'ampèremètre par un voltmètre ou par un oscilloscope et recommencer les manipulations
- recommencer les manipulations en faisant varier le nombre de spires de la bobine et constater que l'intensité du courant induit (ou l'intensité de la tension induite aux bornes de la bobine) diminue si on diminue le nombre de spires
- si on dispose d'un deuxième aimant droit, recommencer la manipulation en maintenant les deux aimants collés l'un à l'autre et constater que le phénomène est amplifié

variantes :

- au lieu d'utiliser un aimant, on peut obtenir les mêmes effets à partir d'un électroaimant ; on utilise la deuxième bobine de 600 spires pour réaliser un électroaimant et on réalise le montage suivant :



- fermer l'interrupteur K et constater qu'un courant induit circule dans la deuxième bobine ; idem à l'ouverture de K
- en régime permanent dans le circuit primaire (I reste constant), il n'y a plus de courant induit dans le circuit secondaire

- introduire le noyau de fer doux dans les deux bobines et constater, qu'à la fermeture ainsi qu'à l'ouverture de K, il y a création d'un courant induit dans la deuxième bobine, mais de façon amplifiée

conclusion : la création d'un courant induit est liée à la **variation** du champ magnétique dans l'induit

- au lieu de fermer et d'ouvrir l'interrupteur du circuit primaire pour obtenir un courant induit dans le circuit secondaire, on remplace l'alimentation continue du circuit primaire par un G.B.F. délivrant une tension variable avec le temps ; ainsi, le champ magnétique créé par la circulation du courant dans le circuit primaire varie en fonction du temps et engendre alors un courant induit variable avec le temps dans l'induit. L'aiguille de l'ampèremètre offrant une certaine inertie (elle n'arrive pas à suivre le rythme si la fréquence est trop grande), sélectionner une basse fréquence (0,8 Hz) de la tension délivrée par le G.B.F. (utiliser un signal en créneau) ; on peut observer à l'oscilloscope la tension induite dans le circuit secondaire (régler le balayage horizontal à 1 ms par division) ; à chaque coupure ou établissement du courant dans l'inducteur, on observe un pic, tantôt positif, tantôt négatif, de tension aux bornes de l'induit puis le retour à zéro lorsque le régime permanent est atteint dans l'inducteur.

conclusion : quand on déplace une source de champ magnétique par rapport à une bobine, celle - ci se comporte comme un générateur et engendre entre ses bornes une tension induite ; cette tension, mesurée au voltmètre, est pratiquement égale à la f.e.m. du générateur créé. Cette f.e.m. fait circuler un courant induit si on branche aux bornes de la bobine un circuit extérieur. L'intensité du phénomène augmente si on multiplie le nombre de spires de la bobine, si on place dans la bobine un noyau de fer doux qui canalise ainsi les lignes du champ magnétique à travers la bobine ou si on augmente l'intensité du champ magnétique.

1.2 Courants induits : loi qualitative de Lenz.

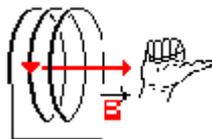
Loi de Lenz : le courant induit est tel que, par ses effets, il s'oppose à la cause qui lui donne naissance.

sens du courant induit :

expérience 1 :

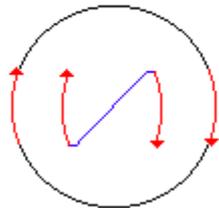
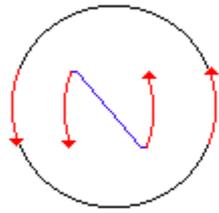
utiliser la bobine de 600 spires reliée au milliampèremètre à zéro central ; approcher le pôle Nord de l'aimant droit et repérer le sens du courant induit à partir du sens de déviation de l'aiguille de l'ampèremètre ; par sa circulation, le courant induit transforme la bobine en électroaimant dont on peut déterminer les pôles par l'une des règles simples suivantes :

- règle des doigts de la main droite :



enrouler les doigts de la main droite dans le sens du courant ; le pouce indique alors la direction et le sens du vecteur champ magnétique **B** ; comme ce vecteur " sort " toujours par le pôle Nord, on en déduit donc les pôles Nord et sud de l'électroaimant.

- moyen mnémotechnique :



on regarde la bobine de face, selon son axe ; si le courant circule dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, on peut faire apparaître la lettre N comme Nord ; si le courant circule dans le sens des aiguilles d'une montre, on peut faire apparaître la lettre S comme Sud.

constatation :

- si un pôle Nord s'approche de la bobine, le courant induit est tel qu'il fait naître un pôle Nord sur la face en regard de la bobine
- si le pôle Nord s'éloigne de la bobine, un pôle Sud est créé par la circulation du courant induit
- si un pôle Sud s'approche de la bobine, un pôle sud prend naissance
- enfin, si le pôle Sud de l'aimant s'éloigne de la bobine, un pôle Nord est créé

expérience 2 :

on reprend le montage réalisé avec les deux bobines de 600 spires, le milliampèremètre à zéro central, le générateur de tension continue, le noyau de fer doux et l'interrupteur
 quand on lance le courant dans le circuit primaire en fermant l'interrupteur, le courant induit dans le circuit secondaire est tel qu'il s'oppose à l'établissement du régime permanent dans l'inducteur (l'inducteur est équivalent à l'aimant qu'on approche dans l'expérience 1)
 on fait la même constatation lorsqu'on interrompt le circuit primaire en ouvrant l'interrupteur (l'inducteur est alors équivalent à l'aimant qu'on éloigne)

conclusion : quel que soit le cas envisagé, le sens du courant induit vérifie la loi qualitative de Lenz.

2. Les application du phénomène d'induction

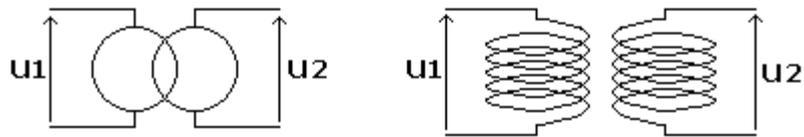
2.1 Le transformateur monophasé parfait.

présentation :

un transformateur se compose d'une carcasse en fer (circuit magnétique) sur laquelle sont enroulées deux bobines la carcasse est constituée par des lames de tôle minces, empilées les unes sur les autres et isolées les unes des autres par un vernis ; son rôle est de canaliser les lignes de champ magnétique créées par les bobines ; sa structure est feuilletée pour limiter les courants de Foucault (voir le paragraphe 2.2) et elle est constituée d'acier au silicium pour diminuer les pertes par hystérésis

la bobine **primaire** est reliée à la source de tension et comporte N_1 spires
 la bobine **secondaire** est reliée au circuit d'utilisation et comporte N_2 spires

on représente un transformateur par l'un des deux symboles suivants :



étude du transformateur :

à vide :

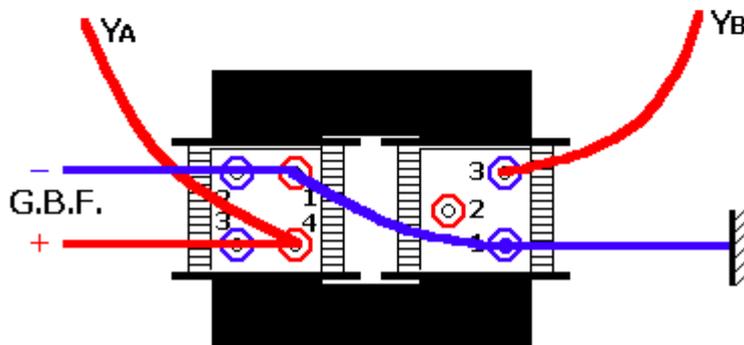
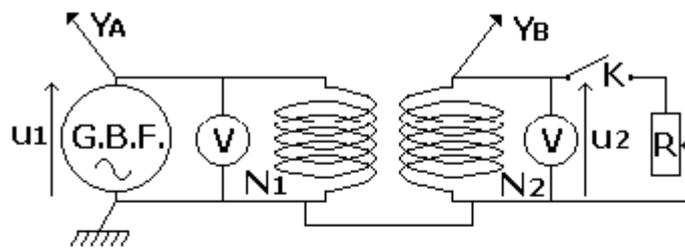
le matériel utilisé : dans le coffret

- une bobine de 72 spires
- une bobine de 600 spires
- la carcasse

complémentaire

- deux multimètres
- un G.B.F.
- un interrupteur
- un oscilloscope
- trois fiches BNC, trois câbles rouges, quatre câbles noirs
- un rhéostat de 100 Ω

le montage réalisé : K ouvert



- régler la fréquence du G.B.F. sur 50 Hz
- régler le balayage horizontal de l'oscilloscope sur 5 ms / cm
- sélectionner pour la voie A le calibre 0,2 V / cm et, pour la voie B, le calibre 1 V / cm
- régler l'amplitude de la tension sinusoïdale délivrée par le G.B.F. à 0,3 V

constatations :

- la tension créée aux bornes de l'induit est également sinusoïdale et de même pulsation (donc aussi même période et même fréquence) que la tension aux bornes de l'inducteur
- l'amplitude de la tension induite est nettement supérieure à celle délivrée par le G.B.F.
- la tension aux bornes de l'inducteur est en opposition de phase par rapport à la tension aux bornes de l'induit

manipulation :

supprimer les connexions de l'oscilloscope et placer les deux voltmètres
 faire varier l'amplitude de la tension de l'inducteur et relever les valeurs correspondantes des tensions efficaces U1 et U2 ; remplir le tableau de valeurs

U1 en V						
U2 en V						
U2 / U1						

constatation :

le rapport des valeurs efficaces est égal au rapport du nombre de spires, c'est à dire au rapport de transformation $m = N2 / N1 = U2 / U1$

étude du transformateur :

en charge : **K fermé**

transformer les voltmètres en ampèremètres et relever les valeurs respectives des intensités efficaces I1 et I2 (attention : brancher les ampèremètres en série dans leurs circuits respectifs)

pour une tension efficace U2 donnée, faire varier la résistance du circuit de charge

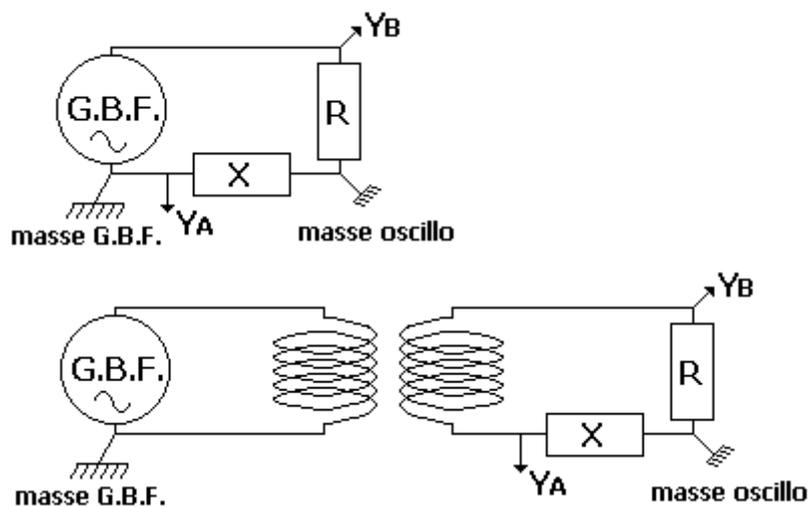
constatation : le rapport des intensités efficaces est aussi égal au rapport de transformation
 une augmentation de I2 entraîne une augmentation de I1 par nécessité énergétique

$$m = N2 / N1 = U2 / U1 = I1 / I2$$

Remarque : **transformateur d'isolement**

c'est un transformateur tel que $m = 1$, c'est à dire que $N2 = N1$: les appareils tels que oscilloscope et G.B.F. ont leurs châssis reliés à la Terre ; si on considère le montage suivant, on constate que le dipôle X est court - circuité ; le signal YA n'apparaît donc pas à l'écran de l'oscilloscope

par contre, l'adjonction d'un transformateur d'isolement dans le deuxième circuit permet de faire disparaître les inconvénients du circuit précédent sans modifier les valeurs des tensions puisque $m = 1$.



2.2 Le principe de l'alternateur

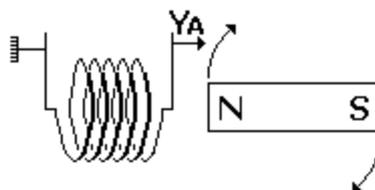
le matériel utilisé : dans le coffret

les deux bobines de 600 spires
la carcasse métallique

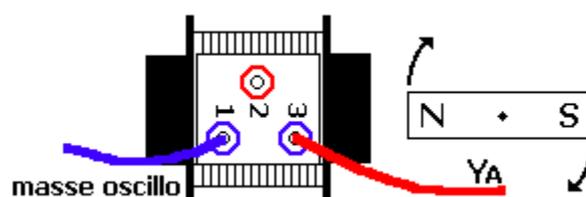
complémentaire

un aimant tournant
une alimentation continue 3 V, variable
un oscilloscope

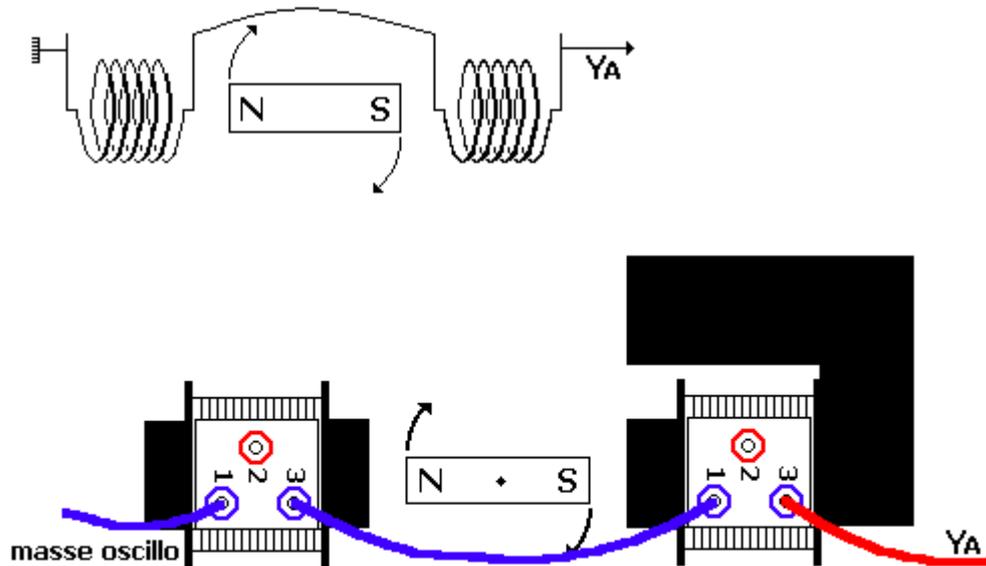
le montage réalisé :



- relier l'alimentation continue variable aux bornes du moteur qui permet de faire tourner l'aimant à vitesse angulaire constante
- relier les bornes de la bobine à la voie A de l'oscilloscope
- constater qu'une tension induite alternative d'amplitude et de fréquence constantes existe aux bornes de la bobine
- faire varier la vitesse de rotation du moteur de l'aimant et constater que la fréquence de la tension induite dépend de la vitesse de rotation de l'aimant



- recommencer en ajoutant la deuxième bobine conformément au montage suivant :



Pour une vitesse de rotation donnée de l'aimant, la fréquence de la tension induite est ainsi multipliée par deux

2.3 Les courants de Foucault

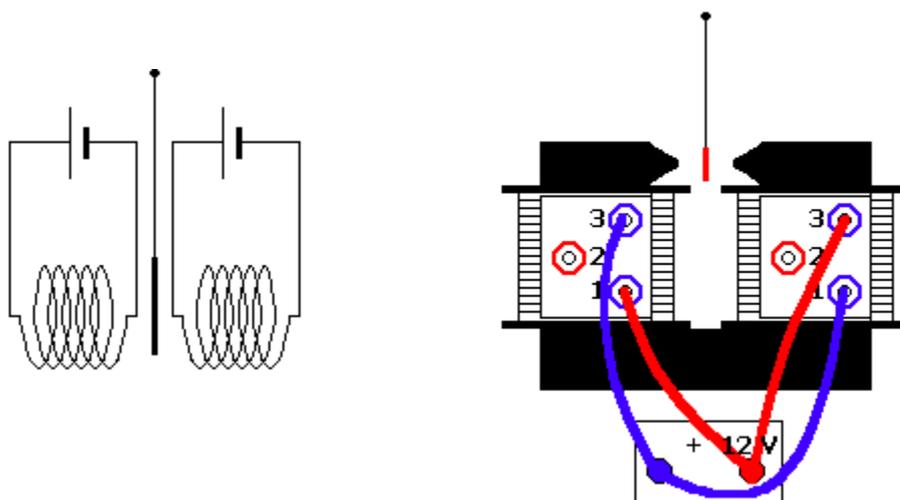
le matériel utilisé : dans le coffret

- les deux bobines de 600 spires
- la carcasse métallique
- les deux pôles

complémentaire

- un pendule de Foucault (réf. 03960)

le montage réalisé :



- faire osciller le pendule entre les deux pôles de l'électroaimant sans que ce dernier ne soit alimenté
- alimenter l'électroaimant et constater que le pendule est fortement ralenti
- changer la plaque métallique du pendule de Foucault (utiliser le disque échanuré), recommencer à faire osciller le pendule sans, puis avec électroaimant et constater que les oscillations sont faiblement amorties

explication : au cours de ses oscillations, le disque, qui constitue le pendule, coupe les lignes du champ magnétique engendré par l'électroaimant ; des courants induits naissent alors dans la masse métallique du disque et, conformément à la loi de Lenz, ils s'opposent à la cause qui leur donne naissance, c'est à dire le mouvement du disque.

en échanurant le disque, on empêche ainsi les courants induits de circuler dans la masse métallique, ce qui réduit le ralentissement des oscillations

Remarques : si la carcasse du transformateur a une structure feuilletée, c'est justement pour réduire les courants de Foucault en son sein et éviter ainsi une perte d'énergie par effet Joule

les poids lourds sont équipés d'un frein électromagnétique (des courants induits se développent dans un disque, solidaire de l'arbre moteur du véhicule, et tournant entre les pôles d'un aimant)

les courants de Foucault sont aussi utilisés dans les plaques chauffantes à induction dont votre cuisine est peut - être équipée ; c'est dans la casserole même que se développent les courants de Foucault générés par un champ magnétique variable.

Les courants de Foucault prennent naissance dans toute masse métallique en mouvement dans un champ magnétique ou immobile dans un champ magnétique variable

3. L'auto-induction

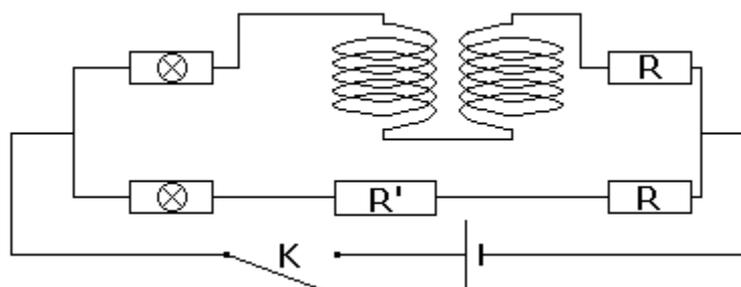
3.1 mise en évidence expérimentale

le matériel utilisé : dans le coffret

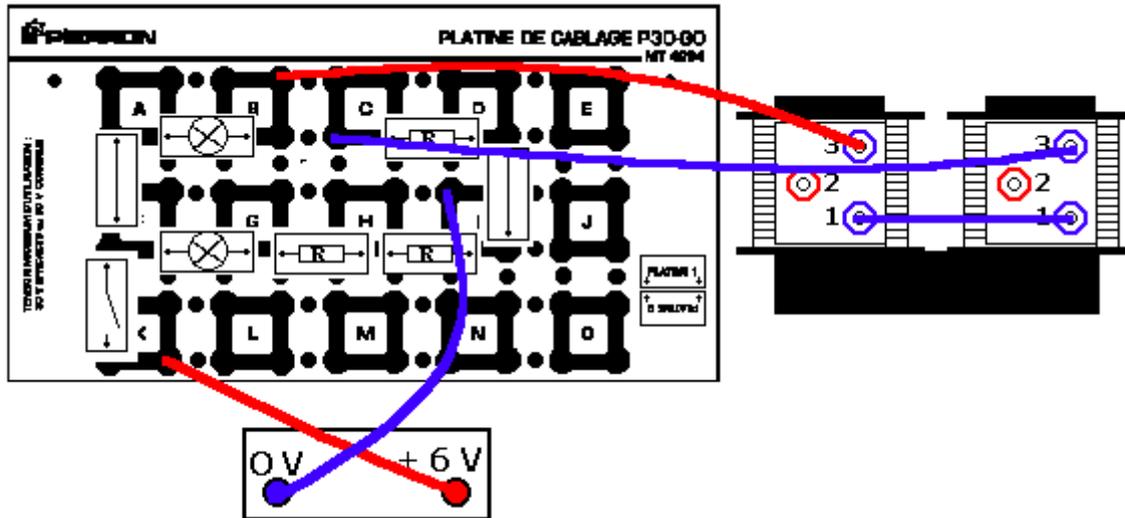
les deux bobines de 600 spires
la carcasse métallique

complémentaire

une platine de câblage
une alimentation continue 6 V, variable
un oscilloscope
deux lampes 3,5 V, 0,2 A montées sur supports
deux résistances de 5Ω (R)
une résistance de 20Ω (R')
une résistance $r = 1 \text{ k}\Omega$
les câbles nécessaires
un interrupteur
un oscilloscope
un G.B.F.



1^{ère} expérience :



- les deux dérivation ont la même résistance
- fermer l'interrupteur K et constater :
- la lampe, qui se trouve dans la dérivation sans bobine, brille instantanément
- l'autre lampe brille, mais avec du retard

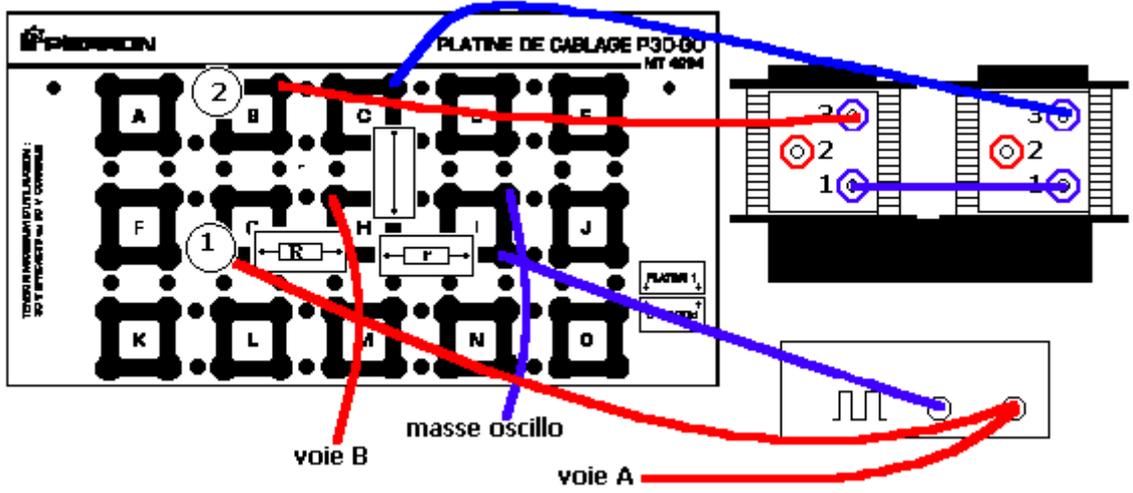
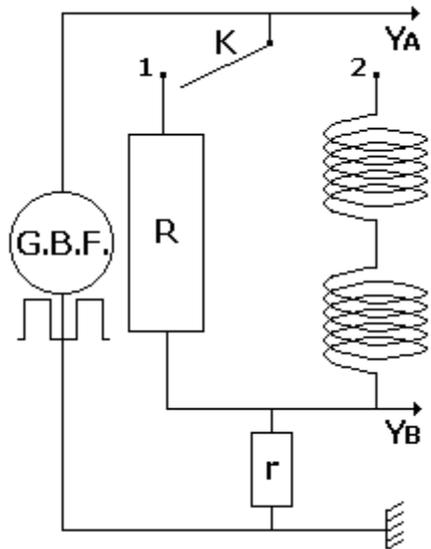
interprétation :

quand on ferme le circuit, on fait varier l'intensité du courant dans chacune des branches du circuit ; cependant, dans la branche où se trouve la bobine, cette variation de I engendre une variation du champ magnétique créé par la bobine, ce qui a pour conséquence de donner naissance à un courant induit dans cette même bobine ; comme ce courant s'oppose à la cause qui lui donne naissance, il retarde donc l'établissement du régime permanent dans cette branche du circuit ; la lampe s'allume donc avec un certain retard car dans l'autre branche du circuit, le phénomène d'auto - induction ne se produit pas.

à l'ouverture du circuit, la variation de I se produit à nouveau, retardant l'extinction de la lampe.

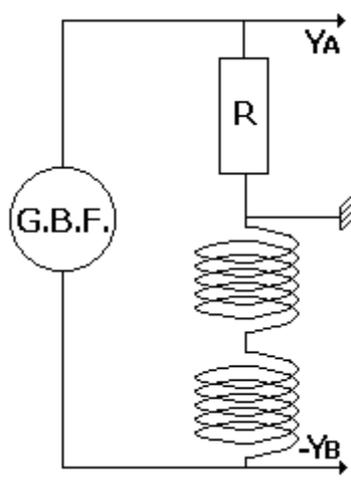
2^{ème} expérience :

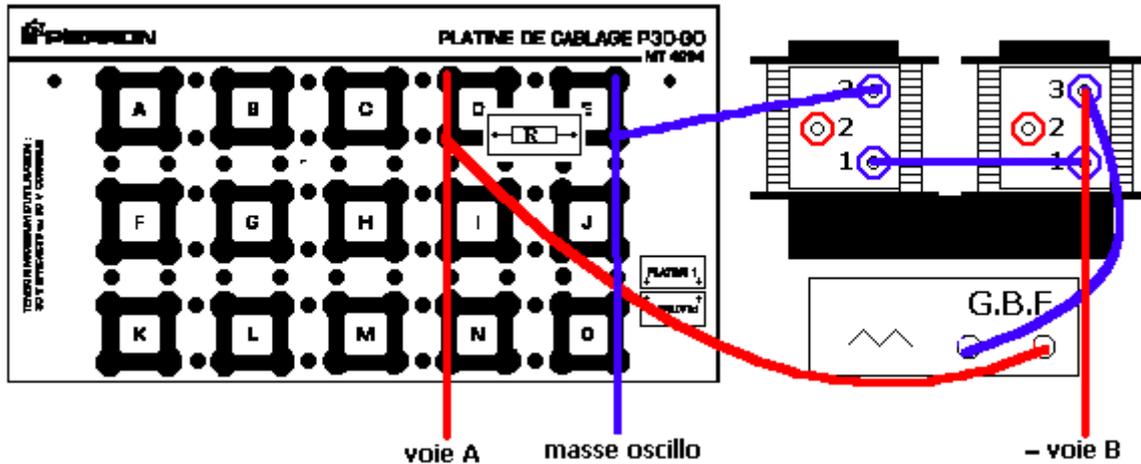
- relier le pôle positif du G.B.F. (signal en créneau de fréquence 500 Hz et d'amplitude 2 V) à la position 1 sur la platine du montage
- on observe en voie A la tension en créneau délivrée par le G.B.F. et en voie B la tension aux bornes de r , donc, au facteur multiplicatif r près, l'intensité i du courant dans la branche 1 du circuit
- réglages de l'oscilloscope : 0,5 ms / cm pour le balayage horizontal, 1 V / cm en voie A comme en voie B ; placer les deux leviers argentés, qui commandent les signaux en voies A et B, sur la position médiane
- on constate que i suit fidèlement les variations de la tension du G.B.F.
- on relie à présent le pôle positif du G.B.F. à la position 2 sur la platine du montage
- le circuit est formé d'une bobine, de même résistance que R , en série avec $r = 1 \text{ k}\Omega$
- on constate un retard à l'établissement, ainsi qu'à la suppression du courant dans le circuit



3^{ème} expérience :

- sélectionner une tension en dents de scie, de fréquence 250 Hz, d'amplitude 4 V
- utiliser une résistance de 4,7 kΩ
- observer la tension aux bornes de la bobine et constater qu'elle est en créneau (réglage de l'oscilloscope : 0,5 ms / cm pour le balayage horizontal, 2 V / cm en voie A et 0,5 V / cm en voie B
- cette tension représente la dérivée par rapport au temps du signal triangulaire





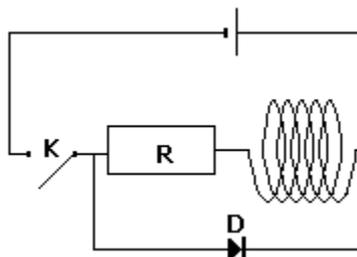
la tension aux bornes d'une bobine est donnée par l'expression :

$$u_L = L * di / dt \quad \text{si la résistance de la bobine est négligeable et, sinon, par}$$

$$u_L = r * i + L * di / dt \quad \text{où } r \text{ désigne la résistance de la bobine}$$

une application de l'auto - induction : la diode roue libre

quand on coupe le courant dans un circuit inductif, la f.e.m. induite se retrouve aux bornes de l'interrupteur, ce qui peut provoquer un arc électrique d'autant plus important que la f.e.m. auto - induite est plus grande ; il peut en résulter des détériorations pour les appareils électriques ainsi que des risques d'électrocution pour le manipulateur de l'interrupteur ; pour y remédier, on place une diode en parallèle aux bornes de la bobine selon le schéma suivant :



si on ouvre K, la f.e.m. auto - induite fait circuler un courant auto - induit qui s'oppose à la suppression du courant permanent ; la diode devient alors passante, ce qui a pour effet de supprimer la surtension aux bornes de la bobine.

3.2 La mesure de l'inductance d'une bobine

1^{ère} méthode

- on utilise le montage réalisé pour la troisième expérience ; tirer vers soi le bouton SYMETRY du G.B.F. et sélectionner la gamme de fréquence 10 kHz pour régler la fréquence à 250 Hz (le bouton symetry divise la fréquence par 10)
- tourner ce bouton au maximum afin d'obtenir un signal triangulaire dissymétrique
- sélectionner la voie A puis mesurer, en tenant compte des calibres choisis, ΔU_R (en V) et Δt (en s)
- comme $u_R = R * i$, $du_R / dt = R * di / dt$
- le signal étant triangulaire, $du_R / dt = \Delta U_R / \Delta t = R * di / dt$
- enfin, puisque l'expression théorique de la f.e.m. d'auto - induction est : $e = - L * di / dt$, on en déduit l'inductance L de la bobine, soit :

$$L = - e / (di / dt) = - e * R / (\Delta U_R / \Delta t)$$

- à titre d'exemple, la tension aux bornes de la bobine a été mesurée égale à 1,3 V (en voie B) pour un ΔU_R de 16 V et un Δt de 0,65 ms ; la résistance utilisée valait 4,63 k Ω ; on obtient $L = 0,24$ H pour les deux bobines en série avec noyau de fer doux

2^{ème} méthode

- enfoncer le bouton SYMETRY, sélectionner le calibre 1 kHz, ajuster la fréquence à 250 Hz puis sélectionner un signal alternatif sinusoïdal d'amplitude 4 V
- mesurer, en voie A, en tenant compte des calibres, $U_{R \max}$
- en déduire alors $I_{\max} = U_{R \max} / R$
- mesurer, en voie B, en tenant compte des calibres, $U_{L \max}$
- en déduire l'impédance de la bobine $Z_L = U_{L \max} / I_{\max}$
- si on néglige la résistance de la bobine, ce qui est le cas ici, l'expression de l'impédance est :

$$Z_L = L * \omega = L * 2 \pi * f$$
- on en déduit $L = Z_L / 2 \pi * f$
- à titre d'exemple, avec $f = 250$ Hz, $U_{R \max} = 8,2$ V et $R = 4,63$ k Ω , on obtient $L = 0,233$ H, en bon accord avec la valeur trouvée par la première méthode

4. La fusion des métaux

attention : la bobine de 600 spires va être reliée au secteur ; il faut donc prendre toutes les mesures de sécurité

le matériel utilisé : dans le coffret

la carcasse métallique
une bobine de 600 spires
la rigole de fusion des métaux

complémentaire

un métal à température de fusion peu élevée (7 cm de fil de soudure à l'étain par exemple)
un morceau de carton épais

la manipulation :

- enfiler la rigole de fusion sur la carcasse, le côté aplati vers l'intérieur
- placer, de l'autre côté de la carcasse, la bobine de 600 spires
- fermer le circuit magnétique en vissant le barreau feuilleté sur la carcasse
- introduire le morceau de carton entre la bobine et la rigole de fusion
- connecter la bobine au secteur (**attention**)
- au bout de 2 à 3 minutes, le métal a fondu, la rigole est très chaude
- débrancher la bobine (**attention**)
- constater que la carcasse n'est pas chaude, grâce à sa structure feuilletée
-

on vient de mettre en œuvre une application des courants de Foucault

5. Le soudage

attention : la bobine de 600 spires va être reliée au secteur ; il faut donc prendre toutes les mesures de sécurité

le matériel utilisé : dans le coffret

la carcasse métallique
une bobine de 600 spires
la bobine pour soudage

complémentaire

deux plaques d'acier, propres, de faible épaisseur

la manipulation :

- enfile la bobine de 600 spires sur la carcasse
- place la bobine à 6 spires de l'autre côté
- introduire les deux plaques métalliques entre les électrodes de la bobine à 6 spires ; les maintenir à l'aide d'une pince tout en maintenant, grâce aux poignées isolées de la bobine de soudage, les deux plaques en contact avec les électrodes
- connecter la bobine à 600 spires au secteur (**attention**)
- un arc électrique jaillit entre les deux électrodes, formant un point de soudure (si on reste trop longtemps, il se forme un trou dans le métal)
- débrancher la bobine (**attention**)

cette manipulation illustre, elle aussi, de façon spectaculaire, la naissance de courants de Foucault dans toute masse métallique plongée dans un champ magnétique variable en fonction du temps.

