

## Introduction :

<http://ph-chmzrh.e-monsite.com/>

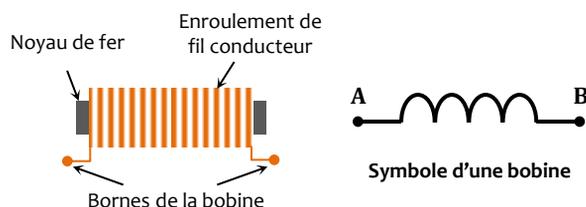
Dans les moteurs à allumage commandé, l'ouverture du circuit primaire par le rupteur déclenche une élévation importante de la tension dans le circuit secondaire de la bobine, et la production d'une étincelle au niveau des électrodes des bougies, permettant la mise en combustion du mélange air-essence dans les cylindres.

- ▶ Qu'est-ce qu'une bobine ?
- ▶ Comment se comporte une bobine dans un circuit électrique ?

## 1. La bobine :

### 1.1. Définition :

Une bobine est constituée d'un enroulement de fil conducteur éventuellement autour d'un noyau en matériau ferromagnétique qui peut être un assemblage de feuilles de tôle ou un bloc de ferrite.



### 1.2. Influence d'une bobine dans un circuit électrique :

#### Activité 1 :

- On mesure à l'aide d'un ohmmètre la valeur de la résistance  $r$  de la bobine à noyau de fer doux.
- On réalise le montage ci-contre et on ajuste la valeur de la résistance  $R$  pour qu'elle soit égale à  $r$ . Les deux lampes  $L_1$  et  $L_2$  sont identiques.
- On ferme l'interrupteur  $K$  et on observe l'éclat des lampes.
  - 1) Les deux lampes brillent-elles instantanément ?
  - 2) Comparer leurs éclats au bout de quelques secondes.
  - 3) Que se passe-t-il lorsqu'on ouvre l'interrupteur  $K$  ?

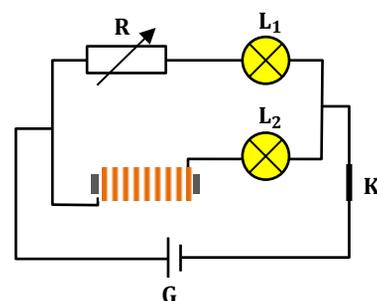


Schéma du montage expérimental

une bobine retarde l'établissement et la rupture (la disparition) du courant dans la branche du circuit où elle est montée. Son effet se manifeste lorsque l'intensité du courant varie. La bobine s'oppose aux variations du courant et tend à lisser celui-ci.



Convention récepteur : les flèches associées à  $i$  et  $u_{AB}$  sont en sens inverse.

### 1.3. Caractéristiques d'une bobine :

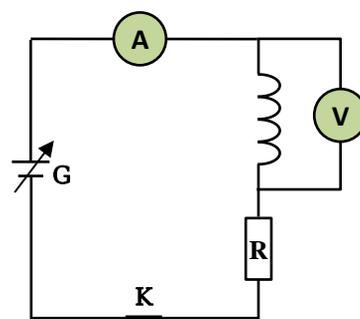
#### Activité 2 :

#### Expérience 1 :

- On réalise le circuit électrique ci-contre comprenant une bobine, un générateur de tension continue réglable, un conducteur ohmique de résistance  $R$ , un ampèremètre, un voltmètre et un interrupteur.
- On fait varier la tension délivrée par le générateur et on mesure à chaque fois la tension  $u_L$  aux bornes de la bobine et l'intensité du courant  $i$  qui la traverse. Les résultats sont reportés dans le tableau ci-après.

$i$ (mA)	0	27	54	82	109
$u_L$ (V)	0	0,27	0,54	0,82	1,09

- 1) Tracer la courbe de variation de la tension  $u_L$  en fonction du courant  $i$ .
- 2) Calculer le coefficient directeur de cette courbe. Que représente-t-il ?
- 3) Comment se comporte la bobine lorsqu'elle est parcourue par un courant continu ?



Convention récepteur

## Expérience 2 :

- On réalise le circuit électrique ci-contre comprenant une bobine de très faible résistance et d'inductance  $L = 0,15 \text{ H}$ , un générateur de basse fréquence (GBF) délivrant une tension triangulaire de fréquence  $500 \text{ Hz}$  et de valeur maximale  $5 \text{ V}$ , un conducteur ohmique de résistance  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .
- On visualise, à l'aide d'un oscilloscope, la tension aux bornes de la bobine et la tension aux bornes du conducteur ohmique. On obtient l'oscillogramme de la figure ci-contre.

**Données :** la sensibilité verticale :  $S_v = 1 \text{ V/div}$

la sensibilité horizontale :  $S_h = 0,5 \text{ ms/div}$

- Quelle est la tension détectée par chacune des voies  $Y_1$  et  $Y_2$  ?
- Comment peut-on obtenir le graphique représentant l'intensité  $i(t)$  du courant dans le circuit en fonction du temps.
- Sur une demi période, l'intensité du courant peut s'écrire sous forme :

$$i(t) = a \cdot t + b$$

- Déterminer la valeur du coefficient  $a$ . Quel est son unité ?
  - Quelle est la valeur de la tension  $u_L(t)$  aux bornes de la bobine dans ce cas ? Calculer le rapport  $L = u_L(t)/a$ , appelé l'inductance de la bobine.
  - En déduire l'expression de tension  $u_L(t)$  en fonction de  $L$  et  $di(t)/dt$ .
- Proposer une expression générale de la tension  $u_L(t)$  aux bornes d'une bobine de résistance  $r$  et d'inductance  $L$ .

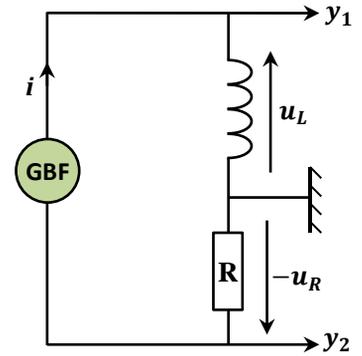
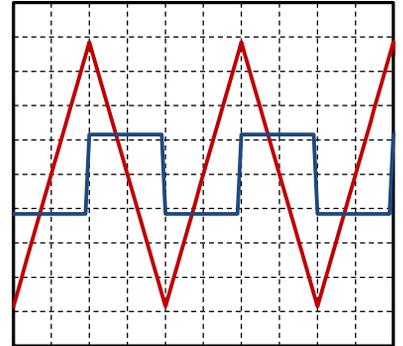


Schéma du montage expérimental



Les tensions détectées par  $Y_1$  et  $Y_2$

Une bobine est caractérisée par sa résistance  $r$  et son inductance  $L$ .

avec  $r$  en ohm ( $\Omega$ ) et  $L$  en henry (H).

La valeur de l'inductance est souvent faible (inférieure à  $1 \text{ H}$ ) et pour l'augmenter on place un noyau de fer dans la bobine.

La tension  $u_L$  aux bornes d'une bobine ( $L, r$ ) est donnée par la relation :

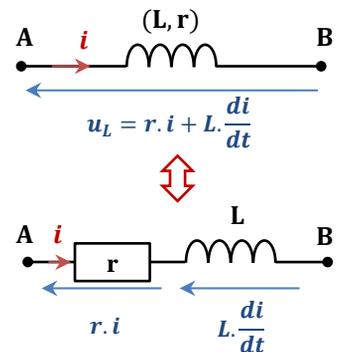
$$u_L = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$$

- Lorsque la bobine est parcourue par un courant d'intensité constante (régime permanent),  $\frac{di}{dt} = 0$  et  $u_L = r \cdot i$  : la bobine se comporte comme un conducteur ohmique de résistance  $r$ .
- Lorsque l'intensité  $i$  du courant dans la bobine varie et lorsque le terme  $r \cdot i$  est négligeable devant le terme  $L \cdot \frac{di}{dt}$ , alors  $u_L = L \cdot \frac{di}{dt}$ .
- Si la variation de  $i$  est très rapide,  $\frac{di}{dt}$  peut prendre une valeur très importante; il en est de même de  $L \cdot \frac{di}{dt}$  : une tension importante peut alors apparaître aux bornes de la bobine. C'est le phénomène de surtension.

Ce phénomène est à l'origine de l'apparition d'une étincelle entre les lames d'un interrupteur lors de son ouverture et pour l'éviter on utilise une diode de roue libre.

Exemple de bobine	Valeur de l'inductance
Une spire de $1 \text{ m}$ de diamètre	$10^{-6} \text{ H}$
Bobine de $1000$ spires sans noyau de fer	$10^{-3} \text{ H}$
Bobine de $1000$ spires avec noyau de fer	$1 \text{ H}$
Enroulements d'électroaimants	$100 \text{ H}$

Ordre de grandeur d'inductances



Le dipôle RL

## 2. Réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension :

Le dipôle **RL** est constitué d'un conducteur ohmique, de résistance  $R$ , et d'une bobine, d'inductance  $L$  et de résistance interne  $r$ , montés en série. On dit qu'un dipôle **RL** est soumis à un échelon de tension si la tension appliquée à ses bornes passe brutalement de  $0$  à une valeur constante  $E$ , ou inversement de  $E$  à  $0$ .



Le dipôle RL

## 2.1. Établissement du courant dans une bobine :

### Activité 3 :

- On réalise le montage expérimental ci-contre : il comporte un générateur de tension continue de force électromotrice  $E$ , un conducteur ohmique de résistance  $R$ , une bobine de résistance  $r$  et d'inductance  $L$ , une diode et un interrupteur  $K$ . Les voies  $Y_1$  et  $Y_2$  sont reliées au système d'acquisition d'un ordinateur ou à un oscilloscope à mémoire.
- On ferme l'interrupteur  $K$  afin de réaliser l'acquisition.
- On affiche les courbes représentant les différentes tensions en fonction du temps.

**Données :**  $E = 6 \text{ V}$  ;  $L = 1 \text{ H}$  ;  $R_t = R + r = 100 \Omega$

### Étude expérimentale :

- Quelle est la tension détectée par chacune des voies  $Y_1$  et  $Y_2$  ? et celle obtenue en affichant  $Y_1 - Y_2$  ?
- Comment évolue l'intensité du courant dans la bobine ?
- L'établissement du courant dans le circuit est-il instantané ?

### Étude théorique :

- Montrer que l'intensité du courant dans le circuit vérifie l'équation différentielle suivante :

$$\tau \cdot \frac{di(t)}{dt} + i(t) = \frac{E}{R_t}$$

quelle est la dimension de  $\tau$  ?

- La solution de cette équation s'écrit sous la forme :  $i(t) = A \cdot e^{-\alpha t} + B$  avec  $A$ ,  $B$  et  $\alpha$  des constantes.

Déterminer  $A$ ,  $B$  et  $\alpha$ . En déduire que  $i(t) = I_p \cdot (1 - e^{-t/\tau})$ .

- Calculer  $i(\tau)$  et  $\left(\frac{di(t)}{dt}\right)_{t=0}$ . En déduire deux méthodes permettant de déterminer graphiquement la constante  $\tau$ .
- Trouver l'expression de  $u_L(t)$  la tension aux bornes de la bobine lorsqu'on néglige sa résistance  $r$  devant la résistance  $R$  du conducteur ohmique.

L'établissement du courant dans une bobine d'un dipôle RL soumis à un échelon de tension est un phénomène transitoire caractérisé par une constante de temps  $\tau$ .

L'intensité du courant dans la bobine obéit à l'équation différentielle :

$$\tau \cdot \frac{di(t)}{dt} + i(t) = \frac{E}{R_t}$$

avec  $\tau = L/R_t$ , la constante de temps (en s).

La constante de temps dépend de  $L$  et de  $R_t$  ; elle augmente avec  $L$  et diminue avec  $R_t$ .

La solution de cette équation s'écrit :

$$i(t) = I_p \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

avec  $I_p = E/R_t$ , l'intensité du courant en régime permanent (en A).

Pour déterminer la constante  $\tau$  graphiquement :

- On trace la tangente à la courbe  $i(t)$  à l'instant  $t = 0$ . Cette tangente coupe l'asymptote  $i = I_p$  à l'instant  $t = \tau$ .
- On peut également déterminer l'abscisse du point de la courbe  $i(t)$  d'ordonnée  $0,63 \cdot I_p$  : elle est égale à la constante de temps.

La tension aux bornes de la bobine est :  $u_L(t) = E \cdot \left(1 - \frac{R}{R_t} \cdot (1 - e^{-t/\tau})\right)$

- Lorsque  $r$  est négligeable devant  $R$ ,  $\tau = L/R$  et  $u_L(t) = E \cdot e^{-t/\tau}$

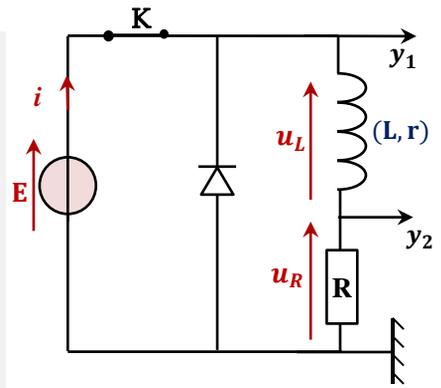
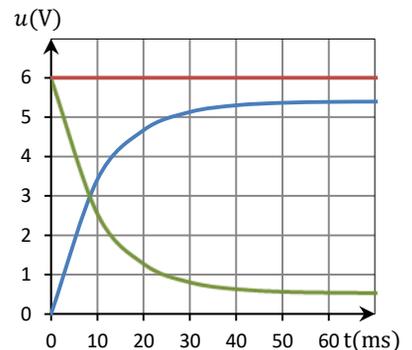
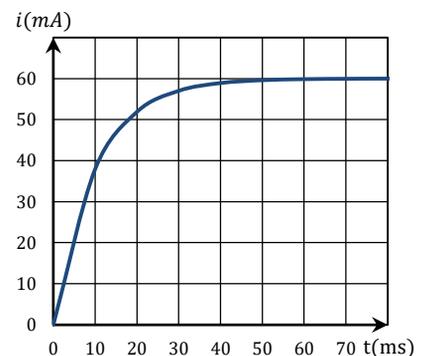


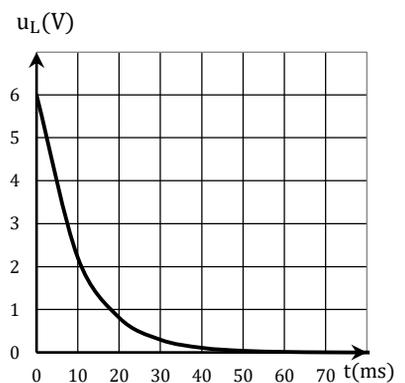
Schéma du montage expérimental



Les courbes représentant les tensions détectées par les voies  $Y_1$ ,  $Y_2$  et  $Y_1 - Y_2$



Évolution de l'intensité du courant dans le dipôle RL



Évolution de la tension  $u_L$  aux bornes de la bobine de résistance négligeable.

## 2.2. Rupture du courant dans une bobine :

### Activité 4 :

- On garde le même montage de l'activité 3.
- On ouvre l'interrupteur K afin de réaliser l'acquisition.
- On affiche les courbes représentant les différentes tensions en fonction du temps.

#### Étude expérimentale :

- Quelle est la tension détectée par chacune des voies Y<sub>1</sub> et Y<sub>2</sub> et celle obtenue en affichant Y<sub>2</sub> - Y<sub>1</sub> ?
- Comment évolue l'intensité du courant dans la bobine ?
- La disparition du courant dans le circuit est-elle instantanée ?

#### Étude théorique :

- Montrer que l'intensité du courant dans le circuit vérifie l'équation différentielle suivante :

$$\tau \cdot \frac{di(t)}{dt} + i(t) = 0$$

- La solution de cette équation s'écrit sous la forme :  $i(t) = A \cdot e^{-\alpha t} + B$  avec A, B et  $\alpha$  des constantes. Déterminer A, B et  $\alpha$ . En déduire que  $i(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau}$ .
- Calculer  $i(\tau)$  et  $\left(\frac{di(t)}{dt}\right)_{t=0}$ . En déduire deux méthodes permettant de déterminer graphiquement la constante  $\tau$ .
- Trouver l'expression de  $u_L(t)$  la tension aux bornes de la bobine lorsqu'on néglige sa résistance r devant la résistance R du conducteur ohmique.

La disparition du courant dans une bobine d'un dipôle RL soumis à un échelon de tension est un phénomène transitoire .

L'intensité du courant dans la bobine obéit à l'équation différentielle :

$$\tau \cdot \frac{di(t)}{dt} + i(t) = 0$$

avec  $\tau = L/R_t$ , la constante de temps (en s).

La solution de cette équation s'écrit :

$$i(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

avec  $I_0 = E/R_t$ , l'intensité du courant initiale.

Pour déterminer la constante  $\tau$  graphiquement :

- On trace la tangente à la courbe  $i(t)$  à l'instant  $t = 0$ . Cette tangente coupe l'axe des temps à l'instant  $t = \tau$ .
- On peut également déterminer l'abscisse du point de la courbe  $i(t)$  d'ordonnée  $0,37 \cdot I_0$  : elle est égale à la constante de temps.

La tension aux bornes de la bobine est :  $u_L(t) = -\frac{R}{R_t} \cdot E \cdot e^{-t/\tau}$

- Lorsque r est négligeable devant R,  $\tau = L/R$  et  $u_L(t) = -E \cdot e^{-t/\tau}$

L'intensité du courant traversant une bobine, d'un dipôle RL soumis à un échelon de tension, est une fonction du temps continue à tout instant y compris l'instant  $t=0$ , tandis que la tension entre ces bornes est fonction du temps discontinue à  $t=0$ .

	Établissement du courant	Rupture du courant
L'intensité du courant i	$i(0^+) = i(0^-) = 0$	$i(0^+) = i(0^-) = \frac{E}{R_t}$
La tension électrique u <sub>L</sub>	$u_L(0^+) = E$ ; $u_L(0^-) = 0$ $u_L(0^+) \neq u_L(0^-)$	$u_L(0^+) = -\frac{R}{R_t} \cdot E$ ; $u_L(0^-) = \frac{r}{R_t} \cdot E$ $u_L(0^+) \neq u_L(0^-)$

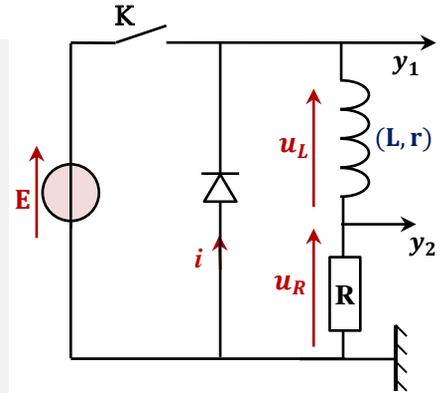
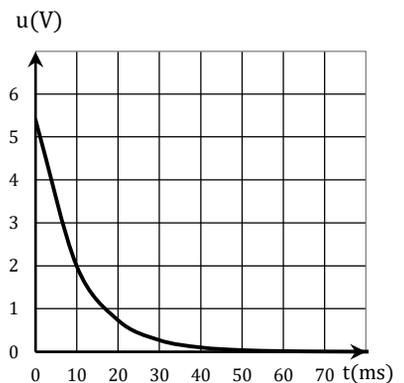
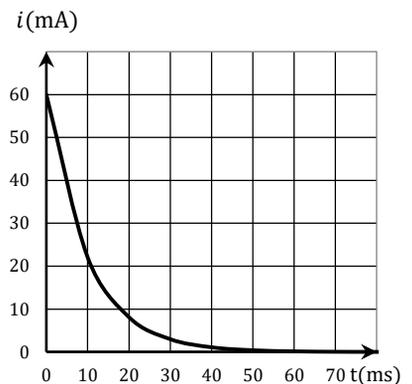


Schéma du montage expérimental



Évolution des tensions u<sub>R</sub>(t) et -u<sub>L</sub>(t)



Évolution de l'intensité du courant dans le dipôle RL

## 2.3. L'énergie emmagasinée dans une bobine :

### Activité 5 :

- On réalise le montage expérimental ci-contre : il comporte un générateur de tension continue de force électromotrice  $E$ , une bobine de résistance  $r$  et d'inductance importante  $L$ , un moteur et un interrupteur  $K$ .

- On ferme l'interrupteur  $K$ , puis on l'ouvre.

1) Qu'observe-t-on ? Interpréter.

2) Montrer que la puissance électrique reçue par la bobine est :

$$P_e = P_r + P_m$$

$$\text{avec : } P_r = r \cdot i^2 \quad \text{et} \quad P_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{di^2}{dt}$$

3) Que représente chacune des grandeurs  $P_r$  et  $P_m$  ?

4) En déduire que l'énergie magnétique emmagasinée par la bobine est :

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$$

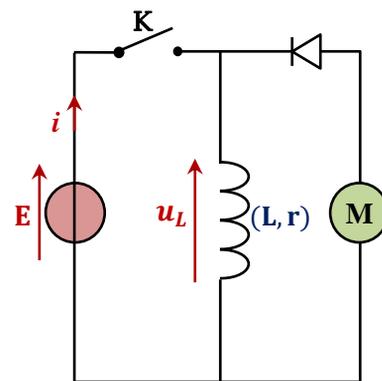


Schéma du montage expérimental

Une bobine d'inductance  $L$ , parcourue par un courant d'intensité  $i$ , emmagasine une énergie magnétique  $E_m$  égale à :

$$E_m(t) = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2(t)$$

$E_m$  s'exprime en joule (J),  $L$  en henry (H) et  $i$  en ampère (A).

### Application :

On réalise le montage électrique représenté sur la figure 1, qui contient :

- un générateur de tension de force électromotrice  $E$  et de résistance interne négligeable ;
- deux conducteurs ohmiques de résistance  $R_0 = 45 \Omega$  et  $r$  ;
- une bobine (b) d'inductance  $L_0$  et de résistance  $r_0$  ;
- un interrupteur  $K$ .

On ferme l'interrupteur  $K$  à un instant choisi comme origine des dates ( $t = 0$ ).

Un système de saisie informatique approprié permet de tracer la courbe (C<sub>1</sub>) représentant la tension  $u_{AM}(t)$  et la courbe (C<sub>2</sub>) représentant la tension  $u_{BM}(t)$  (figure 2).

1) Etablir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité  $i(t)$  du courant.

2) Trouver la valeur de  $E$ .

3) Déterminer la valeur de  $r$  et montrer que  $r_0 = 5 \Omega$ .

4) La droite (T) représente la tangente à la courbe (C<sub>2</sub>) à l'instant de date  $t = 0$  (figure 2). Vérifier que  $L_0 = 0,18 \text{ H}$ .

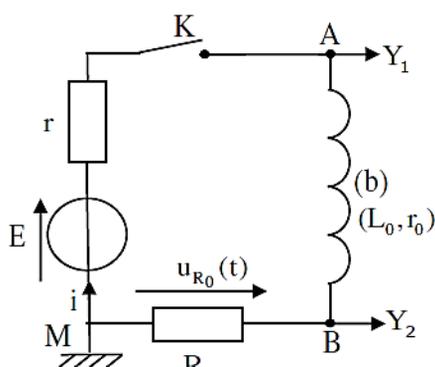


Figure 1

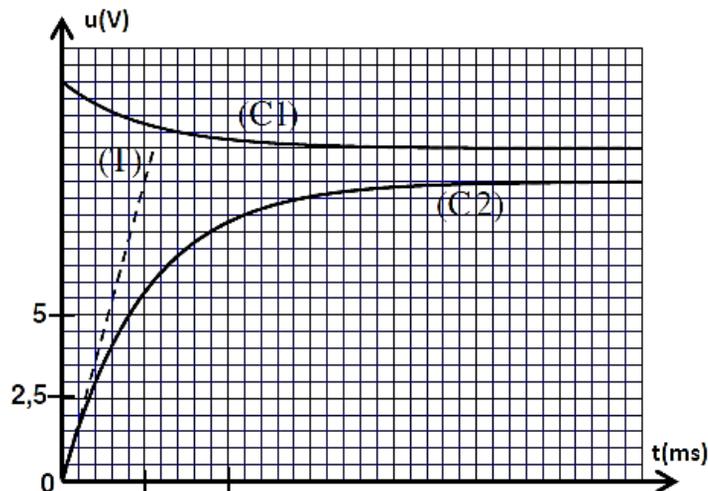


Figure 2