

# Comportement d'une bobine dans un circuit: le phénomène d'autoinduction.

Les photos sont extraites du site de Mr Philippe Morin: <http://freephysique.free.fr/index.html>

Comment transformer une tension de 12 volts en 25000volts! C'est ce que réalise n'importe quelle bobine d'allumage d'automobile afin de produire une étincelle aux bornes de la bougie et déclencher l'explosion des gaz du cylindre. Quel phénomène se produit dans la bobine responsable de cette élévation de tension?

## 1-Présentation d'une bobine:

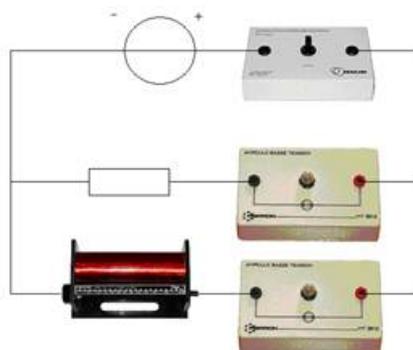
Constituée de fil de cuivre isolé, enroulé autour d'un noyau central. La bobine ci-dessous comprend 3000 spires .Elle est caractérisée par sa résistance  $r=8,5 \Omega$  et une autre grandeur symbolisée par la lettre L appelée inductance. Sur cette bobine L est réglable de 0,1 à 1,1 H (henrys) en faisant coulisser un noyau de fer à l'intérieur.

La photo de droite représente une gamme de bobines d'inductances diverses.

Nous allons étudier le rôle de ce nouveau paramètre de la bobine à partir d'expériences.



## 2-Une première expérience:

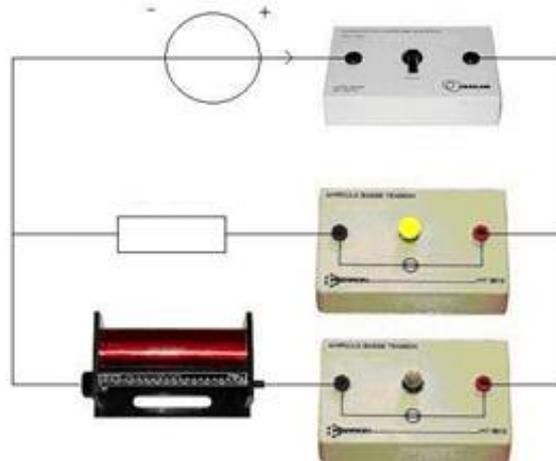


Dispositif expérimental: le montage ci-dessus comprend: un générateur ,un interrupteur K et deux branches de circuit placées en parallèle.

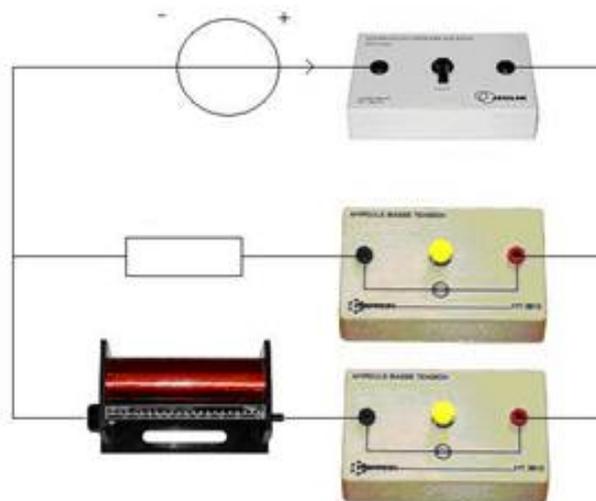
La branche 1 comprend, en série, un conducteur ohmique de résistance de  $8,5\Omega$  avec une ampoule  $6V; 0,1A$ .

La branche 2 comprend, une bobine avec noyau de fer doux de résistance mesurée  $8,5\Omega$  et une ampoule  $6V; 0,1A$ .

Initialement l'interrupteur est ouvert.



L'interrupteur est fermé, seule l'ampoule de la branche 1 s'allume....



L'ampoule de la branche 2 s'allume en retard .Puis progressivement brille du même éclat que la première....

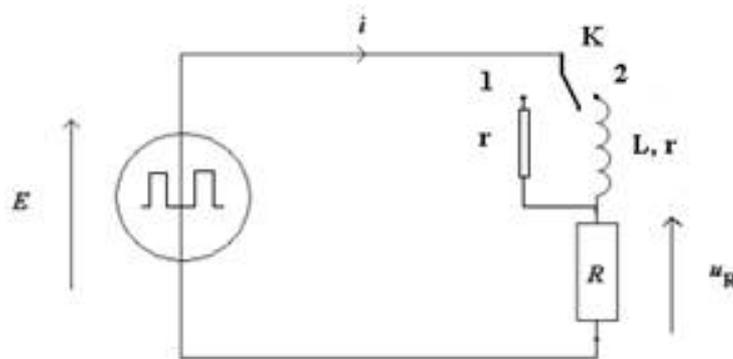
Conclusion: la bobine semble s'opposer temporairement à l'installation du courant dans sa branche.

A l'ouverture de K on peut apercevoir une petite étincelle au niveau du contact entre les deux lames de l'interrupteur.

En l'absence de noyau de fer doux, le retard dans l'installation du courant est imperceptible.

### 3-Autre expérience:

Observons le montage suivant:



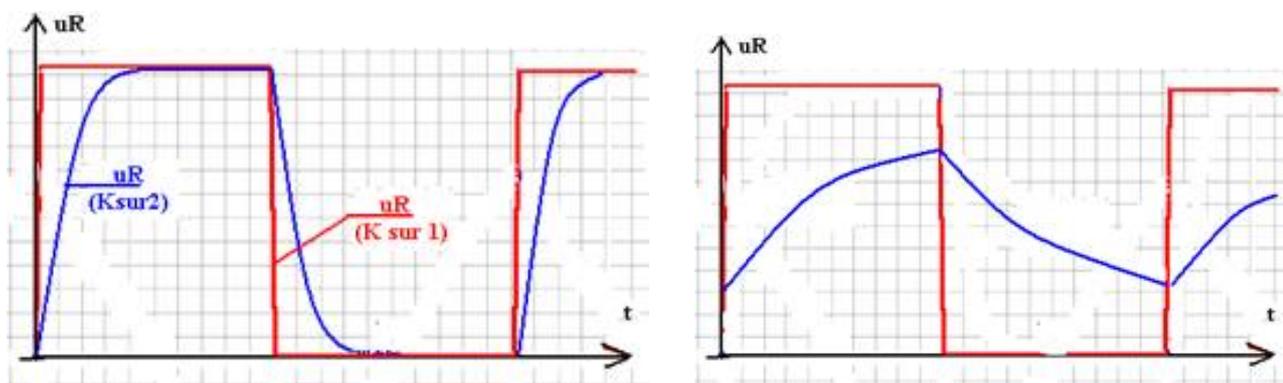
Un générateur délivre une tension périodique du type «échelon». Pendant une demi-période, la tension  $E$  est constante et égale à 6V, et pendant la demi-période qui suit, la tension est nulle (dans ce cas le générateur se comporte comme un interrupteur fermé).

Un commutateur permet d'alimenter la branche 1 purement résistive de résistance  $r=8,5\Omega$ , ou la branche 2 comportant une bobine de même résistance  $r=8,5\Omega$ .

Les 2 branches rejoignent une résistance  $R=1\text{ k}\Omega$ .

La tension  $u_R = R.i$  aux bornes de  $R$  est observée avec un oscilloscope.

Observations des oscillogrammes:



Le courant s'installe et se désinstalle instantanément dans la branche 1 (courbe rouge) alors qu'un retard est observé dans la branche 2 de la bobine.(courbe bleue)

Le phénomène est plus net si l'on introduit un noyau de fer doux dans la bobine (fig à droite)

De toute évidence, l'introduction d'un noyau de fer augmente la valeur de l'inductance L.

**La bobine tend à s'opposer à la variation du courant dans le circuit. Comme le fait un condensateur pour la tension à ses bornes, elle réalise ici un lissage du courant dans le circuit dans lequel elle est placée.**

## 4- F.e.m d'autoinduction:loi de Faraday:

### 4-1-Expression de la f.e.m:

Une bobine traversée par un courant est le siège d'un champ magnétique proportionnel à l'intensité du courant:  $B=k.i$ .

Le flux de B à travers la section S de la bobine est donc lui aussi proportionnel à i.

Le coefficient de proportionnalité ne dépend que des caractéristiques de la bobine .

Nous poserons:

$$\Phi = Li$$

{ F en weber(Wb) , L inductance en henry (H) , i en ampère(A) }.

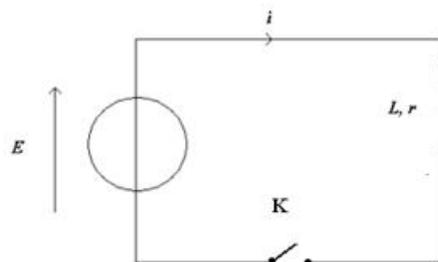
Puisque i est variable, le flux l'est aussi et la bobine est le siège d'une f.e.m e instantanée dite d'autoinduction :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

(le terme «autoinduction»se justifie car la bobine produit son propre champ magnétique source de l'induction: elle est en même temps inducteur et induit).

### 4-2-Signification de cette expression:

Considérons le circuit alimentant la bobine ci-dessous:



Montrons que cette relation explique bien les observations. Orientons le circuit dans le sens de la flèche, cela permettra d'algrébriser les grandeurs électriques.

#### a-Installation du courant:

Lors de la fermeture de K, l'intensité tend à augmenter et  $di/dt > 0$ , et donc  $e < 0$ , la bobine se comporte un générateur en opposition. Cela signifie qu'elle crée temporairement un courant induit en sens inverse de la flèche qui se retranche donc du courant produit par le générateur de f.em E.

#### b-Rupture du courant:

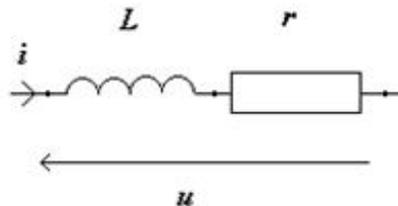
Lors de l'ouverture de K, l'intensité tend à décroître et  $di/dt < 0$ , et donc cette fois  $e > 0$ , la bobine se comporte comme un générateur en série qui tend à s'opposer à l'annulation du courant.!

**Cette f.e.m induite à la date t est d'autant plus grande que la variation de l'intensité est grande et que celle-ci se produit sur une durée courte. Elle augmente aussi avec le facteur L qui caractérise la bobine.**

Cet «esprit de contradiction» de la bobine ne dure que pendant la phase transitoire de variation du courant. Une fois le courant installé,  $i = I$  et  $di/dt = 0$ , la bobine se comporte comme une simple résistance: c'est le **régime permanent**.

## 4-Tension aux bornes d'une bobine (relation de Faraday):

La bobine peut être considérée comme une résistance  $r$  en série avec une inductance  $L$  (voir schéma) bien que les deux parties ne soient pas isolables.



Fléchons la tension  $u$  en respectant la convention récepteur, il vient:

$$u = r.i + L. \frac{di}{dt}$$

Le terme  $ri$  représente la chute de tension «ohmique» inévitable dans la bobine .

## 5-Vérification expérimentale de cette relation:

Le principe de la vérification consiste à faire circuler un **courant périodique triangulaire** de fréquence réglable dans un circuit comprenant la bobine associée en série avec une résistance  $R$  égale à  $1 \text{ k}\Omega$ .

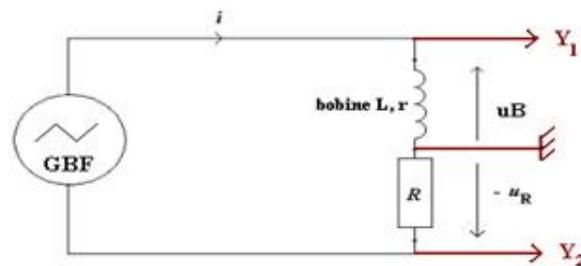
### 5-1-schéma:

Le générateur est un GBF avec fréquencemètre .Il permet de régler la forme, la fréquence et l'amplitude du signal produit.

On a représenté les connexions nécessaires pour observer à l'oscilloscope:

-la tension  $u_B$  aux bornes de la bobine d'inductance  $L$  et de résistance  $r$ .

-la tension  $u_R$  aux bornes de la résistance  $R$ . Celle-ci permettra de relever l'intensité  $i=u_R/R$

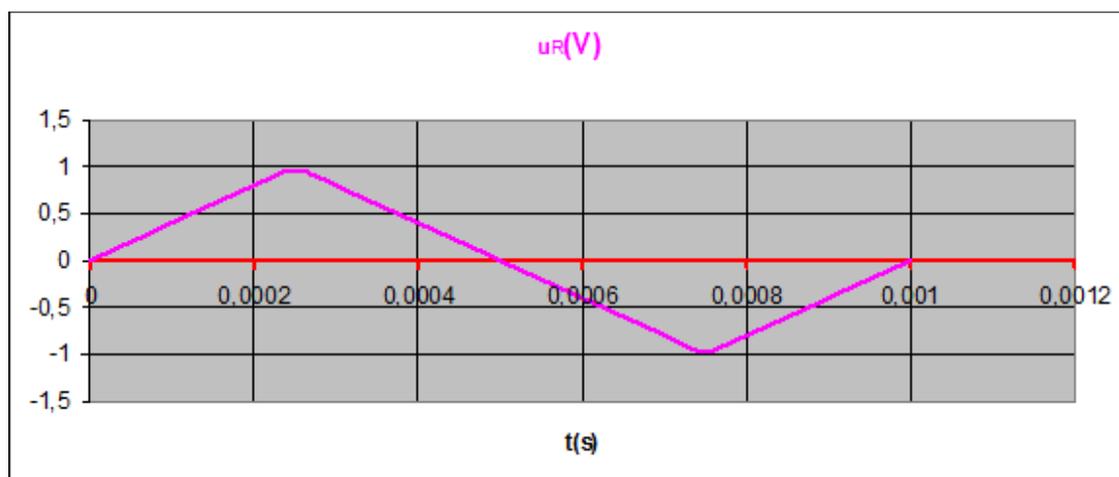


Remarque: une fonction de l'oscilloscope permet l'observation de  $+u_R$  sur l'écran

### 5-2-Allure de la tension aux bornes de la résistance R:

Elle est imposée par le générateur.

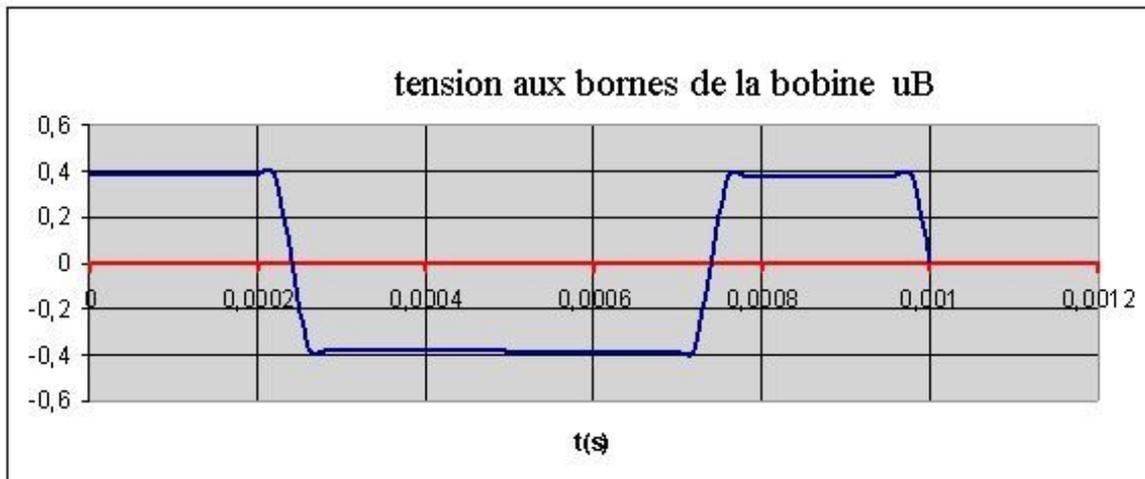
L'amplitude de la tension étant réglée à 1volt, cette courbe représente tout aussi bien l'intensité d'amplitude  $U_R/R=1$  mA. La fréquence sélectionnée ici est de 1000Hz (période  $T=0,001s$ )



### 5-3 Allure de la tension $u_B$ :

La forme de cette tension est dépendante de la fréquence.

Pour la même fréquence de 1000Hz, la tension  $u_B$  a l'allure suivante:



**Lorsque  $i(t)$  est une fonction affine de pente positive, la tension  $u_B$  est une constante positive.**

**Lorsque  $i(t)$  est affine de pente négative,  $u_B$  est une constante négative.**

Il y a donc bien entre ces deux courbes une relation de dérivation.

#### 5-4-vérifions l'accord entre les courbes et la relation de Faraday:

$$u_B = r.i + L \cdot \frac{di}{dt} = r \cdot \left( \frac{u_R}{R} \right) + \frac{L}{R} \left( \frac{du_R}{dt} \right)$$

Choix des paramètres:  $N=1000\text{Hz}$ ,  $L=100\text{mH}$ ,  $R=1\text{k}\Omega$ ,  $r=8,5\Omega$ .

Le terme  $ri=8,5 \times 10^{-3}=8,5\text{mV}$  est négligeable devant  $Ldi/dt=0,1 \cdot (10 \cdot 10^{-4}/2 \cdot 10^{-4})=0,5\text{V}$

Le terme  $du_R/dt$  est égal à la pente du triangle soit +ou-  $400\text{V}\cdot\text{s}^{-1}$ .

L'application numérique donne bien la valeur attendue:

$$u_B = \frac{L}{R} \left( \frac{\Delta u_R}{\Delta t} \right) = \frac{1}{1000} \left( \frac{1}{0,0025} \right) = \frac{1}{1000} (+\text{ou} - 400) = +\text{ou} - 0,4\text{V}$$

La tension  $u_B$  est donc bien une tension en «créneaux» d'amplitude 0,4V comme le montre le graphe ci-dessus.

Pour  $N=1\text{Hz}$ , c'est le terme  $L \cdot di/dt$  qui devient négligeable car la variation de  $i$  par unité de temps est faible, et  $u_B=r \cdot u_R/R$  a une forme triangulaire comme  $u_R$ .

Pour  $N=100\text{Hz}$ , les deux termes sont à prendre en compte,  $u_B$  a la forme d'un «créneau» déformé car le terme  $ri$  est variable suivant  $i$ .

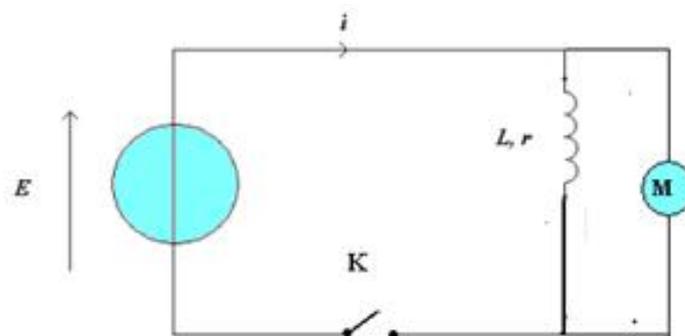
## 6-L'énergie stockée dans une bobine:

### 6-1-mise en évidence:

La bobine d'allumage qui se trouve sous le capot d'un véhicule libère une énergie très importante lorsque le moteur fonctionne. Elle assure la commande en haute tension des bougies et déclenche l'explosion des gaz dans les cylindres.

Comment mettre en évidence par une expérience simple qu'une bobine stocke de l'énergie magnétique?

Observons le montage ci-dessous; il comporte un moteur et une bobine avec **noyau de fer** de forte inductance.



Fermer l'interrupteur et puis l'ouvrir. Le moteur électrique se met en rotation quelques secondes puis s'arrête.

Lorsque nous ouvrons l'interrupteur, le moteur tourne, il effectue donc un travail pour monter une charge par exemple. Le générateur de f.e.m  $E$  étant déconnecté, c'est la bobine qui fournit l'énergie nécessaire!

**Remarque:** il apparaît aussi une étincelle entre les lames de l'interrupteur, dite «étincelle de rupture» car la tension  $u = L.(di/dt)$  aux bornes de la bobine se reporte momentanément entre les lames et celle-ci peut être très grande: elle est nommée souvent «surtension»de rupture.

Ce phénomène de surtension est mis à profit pour réaliser l'étincelle dans la bougie d'allumage d'un moteur à explosion.

**Remarque:** le noyau de fer canalise les lignes de champ dans la bobine; il en résulte une forte augmentation du champ magnétique et de l'inductance  $L$  de celle-ci.

La bobine d'allumage comprend deux enroulements coaxiaux:

-L'enroulement primaire «basse tension» est relié à la borne + de la batterie, l'autre extrémité est connectée à la masse du véhicule. Un circuit de commande électronique ouvre brutalement le circuit primaire (\*). Une surtension induite prend naissance  $u_1=Ldi/dt$  voisine de 300 volts aux bornes de cet enroulement.

-L'enroulement secondaire «haute tension»possédant un grand nombre de spires élève la tension de 300V à 25kV .C'est cette tension qui est appliquée aux bornes de la bougie.

(\*) l'ouverture du circuit était auparavant réalisée par un système mécanique de rupture par «vis platine» commandée par une came tournant avec le moteur. Ce système moins fiable, car subissant une usure importante, est désormais remplacé par un circuit de commande à transistors.

(voir description technique complète d'une bobine d'allumage dans fiche pédagogique)

## 6-2-Expression de l'énergie magnétique:

La relation peut être trouvée en réalisant **une analogie entre bobine et condensateur**.

Le condensateur soumis a une tension U stocke de l'énergie électrique:  $E=0,5.C.U^2$ .

Les relations reliant la tension et l'intensité du courant pour un condensateur s'appliquent pour la bobine à condition de substituer la tension u avec l'intensité i et de remplacer la capacité C par l'inductance L.

(Ainsi par exemple, la relation  $i=CdUc/dt$  pour le condensateur est remplacé par  $U_B= L.di/dt$ )

L'énergie électrique citée plus haut est remplacée par l'énergie magnétique.  $E'=0,5.Li^2$ .

Nous admettrons ce résultat sans plus de démonstration.

**L'énergie magnétique stockée dans une bobine d'inductance L, parcourue par n courant i, est égale à:**

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

avec  $E_m$  en joule (J); L en henry(H) et i en ampère(A)