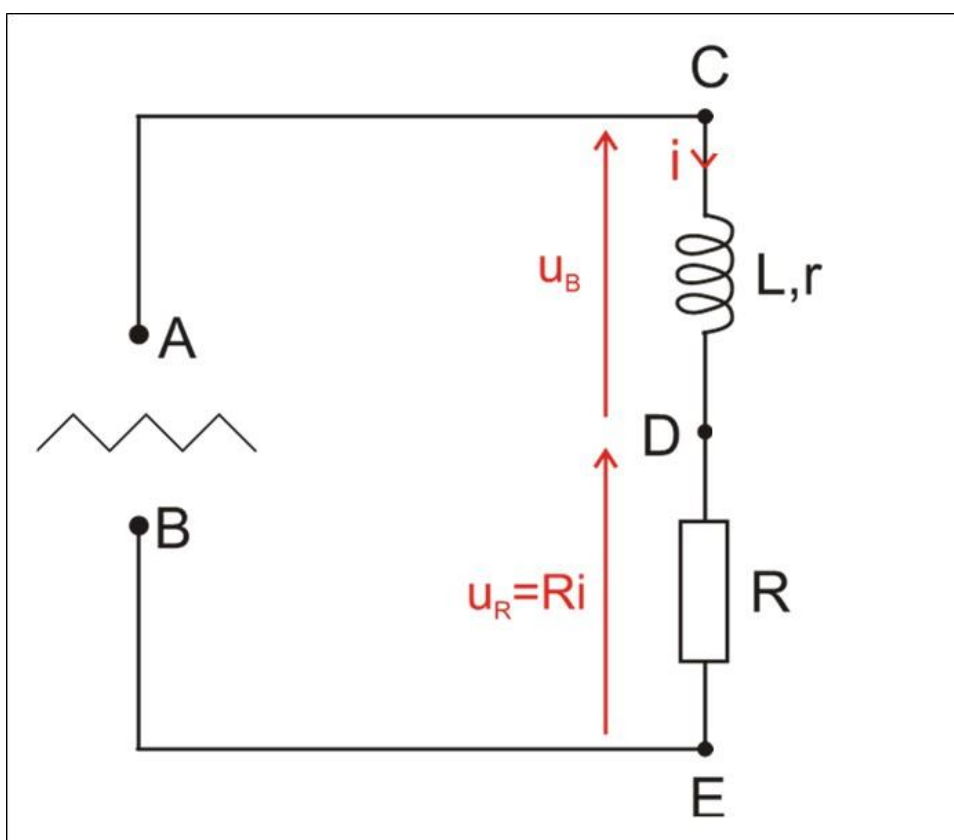


## B3. Propriétés d'une bobine parcourue par i variable

Expérience préliminaire : Lampe & résistance et lampe & bobine en parallèle.

### a) Expérience : Mise en évidence de la tension induite

Un circuit comprenant une résistance  $R=100\ \Omega$  et une bobine de faible résistance interne  $r$  est alimentée par une **tension  $u_{AB}$  triangulaire**.



A l'aide de l'interface PASCO on délivre une tension triangulaire de fréquence  $f$  et on enregistre les tensions aux bornes de la bobine et de la résistance dans la convention récepteur ( $i$  opposé à  $u$ ).

CHB : Tension bobine  $u_{CD} = u_B = L \cdot \frac{di}{dt}$

CHA : Tension résistance  $u_{DE} = u_R = Ri$

La tension mesurée aux bornes de  $R$  varie de manière triangulaire ce qui signifie que  $i = \frac{u}{R}$  varie selon une fonction affine de dérivée constante tant tôt positive ou négative.



**(Hors programme): Application de la loi de Faraday de II<sup>e</sup> à solénoïde long**

$$\text{Champ : } B = \mu_0 \frac{NI}{\ell} \text{ en T} \quad \text{Flux: } \Phi = B \cdot N \cdot S = \mu_0 \frac{N^2 I}{\ell} \cdot S \text{ en Wb=Tm}^2$$

Si le courant varie, B varie proportionnellement à i qui remplace I. Or d'après la loi de Faraday on sait que si le flux dans la bobine varie, elle se comporte comme un générateur et produit une force électromotrice auto-induite (auto=produite par le courant qui traverse la bobine elle même)

$$\text{Fém(convention générateur) : } e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\mu_0 \frac{N^2}{\ell} \cdot S \cdot \frac{di}{dt}$$

$$\text{Tension bobine(convention récepteur) : } u_B = -e = + L \cdot di/dt$$

$$\text{avec } \boxed{L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} \cdot S} = \frac{\Phi}{I} \text{ en H = Tm}^2/\text{A}$$

Rem :

- 1) Si la bobine comporte un noyau de fer, la perméabilité  $\mu$  augmente et ainsi B et L sont amplifiés. Cependant B et I ne sont plus strictement proportionnels et L dépend de la fréquence du signal appliqué.
- 2) Noter qu'une tension continue appliquée à une bobine de faible résistance conduit à une intensité élevée !! Pour faire intervenir l'inductance il faut appliquer une tension variable.
- 3) Déconnecter une bobine traversée par un courant provoque un di/dt élevé et une surtension.

**Application : Mesure bobine cylindrique par RLC-mètre.**

N= 120 spires

Diamètre: d=90 mm, rayon: r=

Section:  $S = \frac{\pi}{4} d^2 =$

longueur: l = 41cm =

Calcul théorique :  $L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} \cdot S =$  mH

Mesure RLC-mètre : L =

Résistance interne : r=

Mesurer avec RLC Mètre

2 bobine courtes PHYWE

N=600 spires L<sub>mes</sub>= H

N=1200 spires L<sub>mes</sub>= H

On constate L augmente avec N au carré! Avec noyau de fer fermé L augmente d'un facteur ??? mais dépend de la fréquence.



### c) Loi d'Ohm d'une bobine avec résistance interne

Lorsqu'on ne peut pas négliger la résistance  $r$  de la bobine, la tension  $ri$  s'ajoute à la tension induite  $L \frac{di}{dt}$  sur la bobine idéale. On obtient ainsi la loi d'Ohm pour une bobine réelle:

$$u_B = ri + L \frac{di}{dt} \quad (\text{Loi d'Ohm d'une bobine})$$

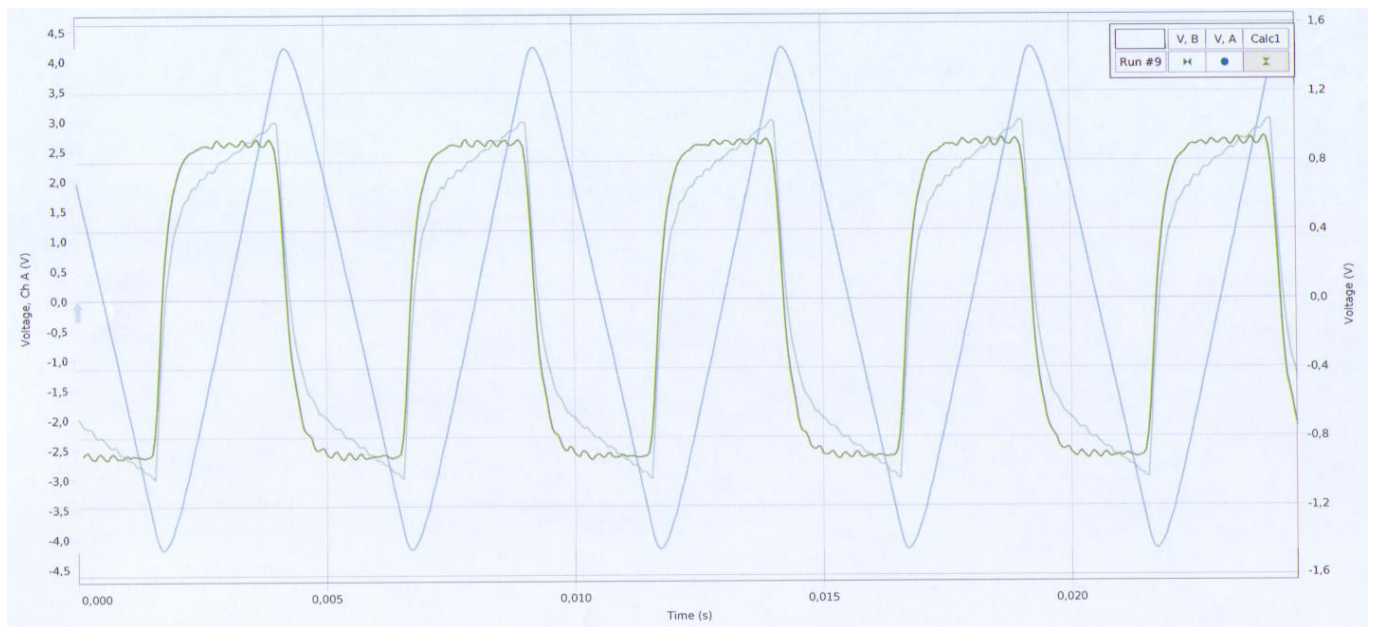
Schéma :

Si  $r \approx 0$ ,  $u_B = L \frac{di}{dt}$  la bobine est alors appelée **inductance pure**.

Noter que si le courant  $i$  ne varie plus, la bobine se comporte comme une **résistance pure**  $u_B=r \cdot i$ . Si une bobine est branchée sur une tension continue, le courant peut devenir élevé et brûler la bobine !!

Mesure Pasco : **Bobine courte N=900, R=100Ω, L=                    H r=        Ω        f= 300 Hz**

Calc1: Correspond à  $L \cdot \frac{di}{dt}$  sans tenir compte de  $r$



## d) Energie magnétique emmagasinée par une bobine

### (1) Puissance électrique instantanée reçue par une bobine

Rappel de la classe de 2<sup>e</sup> : La puissance électrique  $P$  reçue par un récepteur traversé par un courant d'intensité  $I$ , et aux bornes duquel règne la tension  $U$ , s'écrit :  $P = UI$ .

Si la puissance varie au cours du temps, la puissance instantanée à l'instant  $t$  est égale au produit de la tension instantanée à l'instant  $t$  par l'intensité instantanée à l'instant  $t$  :  $p = ui$

Appliquons cette relation à la bobine :

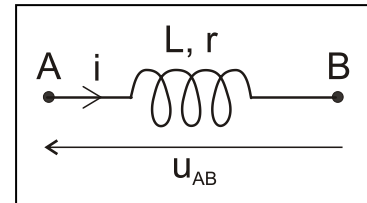
$$p = u_{AB} \cdot i$$

Or :

$$u_{AB} = ri + L \frac{di}{dt}$$

Finalement :

$$p = ri^2 + Li \frac{di}{dt}$$



### (2) Energies mises en jeu

Rappel de la classe de 2<sup>e</sup> : L'énergie électrique  $E_{\text{électrique}}$  reçue au cours d'une durée  $\Delta t$  par un récepteur dont la puissance électrique est  $P$ , est donnée par la relation :  $E_{\text{électrique}} = P \cdot \Delta t$ .

Appliquons cette relation pour écrire l'énergie électrique (infinitement petite) reçue par la bobine au cours d'une durée  $dt$  infinitement petite pendant laquelle la puissance instantanée  $p$  peut être considérée comme constante :

On suppose  $i > 0$  qui augmente de manière linéaire

$$\begin{aligned} dE_{\text{électrique}} &= p \cdot dt \\ &= ri^2 dt + Li \frac{di}{dt} \cdot dt \\ &= ri^2 dt + Li \cdot di \end{aligned}$$

$i$  en A

$t$  en s

- \*  $ri^2 dt$  représente l'énergie électrique (infinitement petite) transformée par effet Joule en énergie calorifique dans la résistance  $r$ .
- \*  $L \cdot i \cdot \frac{di}{dt} \cdot dt = Li \cdot di$  représente l'énergie électrique (infinitement petite) transformée en énergie magnétique et emmagasinée dans la bobine pendant l'intervalle  $dt$  où  $i$  augmente de  $di$ .

Remarque sur l'expérience préliminaire :

Si  $i$  augmente de  $di > 0$ , l'énergie magnétique de la bobine augmente de  $dE = Li \cdot di$ .

Ainsi la bobine reçoit de l'énergie du circuit et empêche le courant d'augmenter vite et donc la lampe s'allume plus tard dans l'expérience d'introduction.

Si  $i$  diminue de  $di < 0$ , la bobine cède l'énergie  $dE = Li \cdot di$  au circuit et maintient ainsi le courant, mais dans l'expérience ce courant traverse les 2 lampes  $\Rightarrow$  pas de différence à l'extinction.

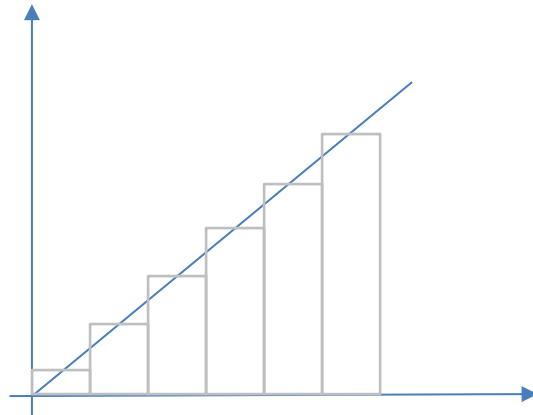
### (3) Energie magnétique emmagasinée dans la bobine

Lorsque l'intensité de courant à travers la bobine augmente de  $di$ , la bobine emmagasine une énergie magnétique (infinitement petite):  $dE_{\text{magnétique}} = Li \cdot di$

Lorsque l'intensité de courant à travers la bobine augmente de 0 à I, elle emmagasine une énergie magnétique totale :

$$\begin{aligned} E_{\text{magn}} &= \int_0^I dE_{\text{magn}} \\ &= \int_0^I Li \cdot di \\ &= \left[ \frac{1}{2} Li^2 \right]_0^I \end{aligned}$$

$$E_{\text{magnétique}} = \frac{1}{2} LI^2$$



Lorsque l'intensité de courant à travers la bobine reste constante égale à I, l'énergie magnétique de la bobine reste constante égale à  $E_{\text{magnétique}}$ .

Lorsque l'intensité de courant à travers la bobine s'annule à partir de la valeur I, la bobine restitue cette énergie au circuit.

### (4) Expérience : étincelles de rupture

Description :

On réalise le circuit ci-dessous.

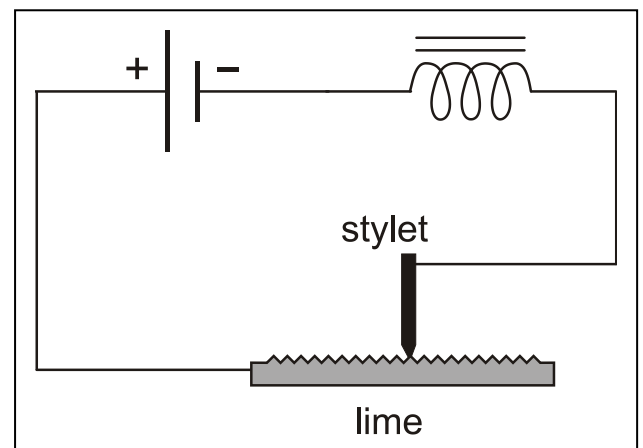
L'interrupteur est constitué par un stylet qu'on déplace sur une lime. La pointe du stylet rencontre successivement les bosses et les creux de la lime réalisant ainsi la fermeture et l'ouverture du circuit.

Observation :

Des étincelles jaillissent entre la pointe du stylet et la lime.

Interprétation :

En ouvrant l'interrupteur d'un circuit parcouru par le courant et comprenant une bobine à forte inductance L, l'intensité de courant diminue brusquement et la bobine est le siège d'une f.é.m. d'auto-induction élevée. Ainsi il apparaît une tension élevée entre les bornes de l'interrupteur. L'air y devient conducteur et une étincelle jaillit : l'énergie magnétique initialement emmagasinée par la bobine y est libérée.



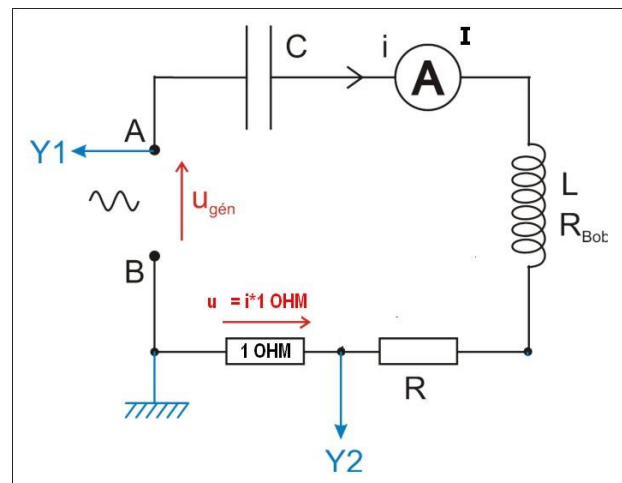
## B4. Oscillations libres dans un circuit RLC

cf cahier

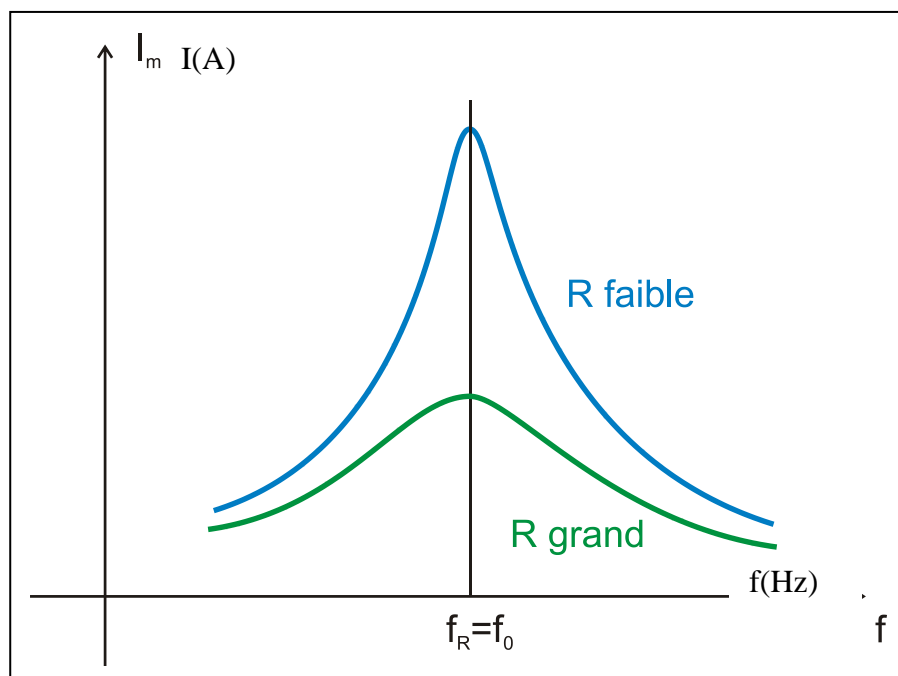
- Description et expérience
- Equation différentielle
- Solutions de l'équation différentielle
- Représentations graphiques
- Enregistrement expérimental sur PASCO, effet de R
- Approche énergétique

### g) Oscillations forcées. Résonance

- \* Excitation: Un générateur excite un circuit RLC avec une tension alternative sinusoïdale  $u_{\text{gén}}$  de fréquence variable.
- \* Réponse: Le circuit répond à cette excitation par un courant alternatif  $i$ , dont nous observons intensité efficace  $I$  à l'aide d'un ampèremètre.
- \* En même temps, nous visualisons les courbes de  $u_{\text{gén}}$  et  $i$  en fonction du temps à l'aide d'un oscilloscope.



La courbe de réponse  $I(f)$  ( $I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m$ ) dépend de la résistance (de l'amortissement) totale du circuit.



- \* Le circuit effectue des oscillations de même fréquence que celle du générateur: il effectue des oscillations forcées.
- \* L'amplitude  $I_m$  de l'intensité dans le circuit dépend de la fréquence du générateur et de la valeur de la résistance totale dans le circuit.
- \*  $I_m$  passe par un maximum: c'est la **résonance**. La fréquence de résonance est égale à la fréquence propre du circuit.
- \*  $u(t)$  et  $i(t)$  sont en phase à la résonance.

### Analogie oscillateur mécanique et électrique !

#### Comparaison entre l'oscillateur mécanique et l'oscillateur électrique

Grandeurs mécaniques	Grandeurs électriques
Elongation $x$	charge du condensateur $q_A$
Vitesse $v_x = \frac{dx}{dt}$	Intensité de courant $i = -\frac{dq_A}{dt}$
Energie potentielle élastique $E_p = \frac{1}{2} kx^2$	Energie emmagasinée dans le condensateur $E_{\text{cond}} = \frac{1}{2} \frac{q_A^2}{C}$
Energie cinétique $E_c = \frac{1}{2} mv^2$	Energie emmagasinée dans la bobine $E_{\text{bob}} = \frac{1}{2} Li^2$
Masse $m$ (inertie)	Inductance $L$ (inertie)
Raideur $k$	Inverse de la capacité $1/C$
Tension du ressort $T_x$	Tension électrique du condensateur $u_c$
Frottement	Résistance électrique

Simulation : [http://www.walter-fendt.de/html5/phfr/oscillatingcircuit\\_fr.htm](http://www.walter-fendt.de/html5/phfr/oscillatingcircuit_fr.htm)