BURHAN

Dipôle RL

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/dipole-rl/cours

Chapitre	Semestre
Dipôle RL	Semestre 1

Bobine, inductance et résistance interne

Deux lampes qui ne s'allument pas ensemble

Un générateur de tension continue alimente, à travers un interrupteur K, deux branches en parallèle. Chaque branche contient une lampe ; les deux lampes sont identiques.

La lampe (1) est en série avec une **bobine** : un long fil de cuivre enroulé en $1\,000$ spires autour d'un noyau de fer. La lampe (2) est en série avec un conducteur ohmique de résistance R', égale à celle du fil de la bobine. On ferme K et on observe les lampes.

Devine : L'allumage des deux lampes

Au moment où l'on ferme K, comment s'allument les deux lampes ?

A. Elles s'allument en même temps.

Faux.

Ce serait vrai si les deux branches étaient identiques ; la bobine fait la différence.

B. La lampe (1) s'allume après la (2).

Juste.

Juste : la bobine retarde l'établissement du courant dans sa branche.

C. La lampe (1) s'allume la première.

Faux.

La bobine ne pousse pas le courant : elle le freine quand il commence à circuler.

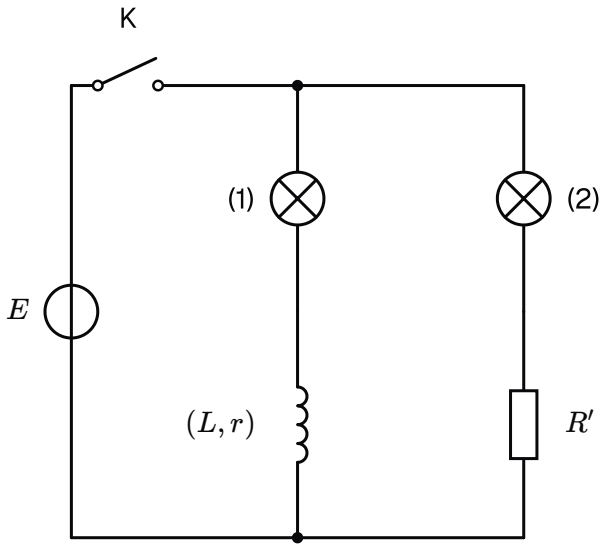
D. La lampe (1) reste éteinte.

Faux.

Une fois le courant établi, la bobine le laisse passer comme un fil résistant.

Correction

La lampe (2) s'allume dès la fermeture. La lampe (1) n'atteint son éclat qu'avec un retard, de l'ordre d'une fraction de seconde. Ensuite, les deux lampes brillent de la même façon. La bobine n'empêche pas le courant : elle **retarde** son établissement.



Montage des deux lampes : la lampe (1) en série avec la bobine, la lampe (2) en série avec un conducteur ohmique.

Définition de l'inductance et de la résistance interne

En clair. Le retard vient de l'enroulement du fil. Une bobine réagit quand l'intensité qui la traverse change : elle freine ce changement. Quand l'intensité ne varie plus, il ne reste que la résistance du fil. Deux grandeurs suffisent donc à décrire une bobine.

Définition : Bobine, inductance et résistance interne

Une **bobine** est un enroulement de fil conducteur, souvent autour d'un noyau de fer. Elle est caractérisée par deux grandeurs :

- son **inductance** L, qui s'exprime en henry (H) ;
- sa **résistance interne** r, celle du fil, en ohm (Ω).

On la note (L, r). Une bobine dont la résistance est négligeable ($r = 0$) est dite **idéale**.

Exemple : Ordres de grandeur des bobines de laboratoire

- Une bobine de 500 spires sans noyau a une inductance d'une dizaine de millihenrys, par exemple $L = 12\,\mathrm{mH} = 1{,}2 \times 10^{-2}\,\mathrm{H}$.
- Avec un noyau de fer, la même bobine atteint quelques dixièmes de henry.
- La bobine d'étude de ce chapitre a $L = 0{,}40\,\mathrm{H}$ et $r = 10\,\Omega$: on la note $(0{,}40\,\mathrm{H}; 10\,\Omega)$.

Sur un schéma, son symbole porte la mention (L, r).

Bobine idéale ou bobine résistante

Vérifie : La résistance du fil devant celle du circuit

Une bobine $(0{,}40\,\mathrm{H};\,10\,\Omega)$ est placée en série avec un conducteur ohmique. Dans quel cas peut-on la traiter comme une bobine idéale ?

A. Avec un conducteur ohmique de $1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$.

Juste.

Juste : r vaut alors 1 % de la résistance du conducteur ohmique ; on peut le négliger.

B. Avec un conducteur ohmique de $10\,\Omega$.

Faux.

Ici r est aussi grande que la résistance du conducteur ohmique : elle compte autant.

C. Dans tous les cas, car r est petite.

Faux.

Une résistance n'est petite que comparée à une autre : tout dépend du circuit.

D. Jamais, car r n'est pas nulle.

Faux.

Aucune bobine réelle n'a $r = 0$; on néglige r quand elle est petite devant les autres résistances.

Correction

On compare r aux autres résistances du circuit. Avec $1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, on a $\dfrac{r}{R} = \dfrac{10}{1\,000} = 0{,}010$. La résistance du fil est négligeable : la bobine se comporte comme une bobine idéale. Avec $10\,\Omega$, ce n'est pas le cas.

À toi : Lire l'étiquette d'une bobine

L'étiquette d'une bobine indique $250\,\mathrm{mH}$ et $12\,\Omega$. Écris son inductance en henrys, en écriture scientifique. Cette bobine est montée en série avec un conducteur ohmique de $1{,}2\,\mathrm{k\Omega}$: peut-on la considérer comme idéale ? Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1

Le préfixe milli vaut 10^{-3}.

Indice 2

Compare la résistance du fil à celle du conducteur ohmique, en ohms toutes les deux.

Indice 3

Point délicat : $1{,}2\,\mathrm{k\Omega}$ vaut $1{,}2 \times 10^{3}\,\Omega$, et non $1{,}2\,\Omega$.

Réponse

$L = 250\,\mathrm{mH} = 2{,}50 \times 10^{-1}\,\mathrm{H}$. Ensuite

$$\begin{aligned}\frac{r}{R} &= \frac{12}{1{,}2 \times 10^{3}} \\ &= 1{,}0 \times 10^{-2}\end{aligned}$$

> La résistance du fil vaut 1 % de celle du conducteur ohmique. Dans ce circuit, la bobine peut être traitée comme idéale.

Dans ce chapitre, tu écris la tension aux bornes d'une bobine et tu mesures une inductance. Tu étudies ensuite le dipôle RL soumis à un échelon de tension : établissement et rupture du courant, constante de temps. Tu termines par l'énergie emmagasinée dans une bobine et par une étude expérimentale.

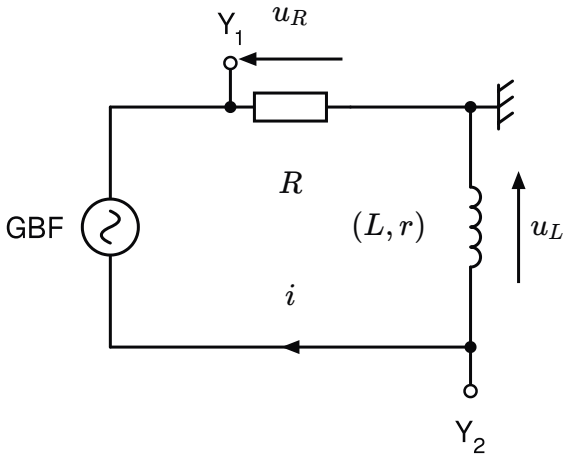
Tension aux bornes d'une bobine

Un courant triangulaire dans une bobine

Un générateur de basses fréquences (GBF) alimente en série un conducteur ohmique de résistance $R = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$ et une bobine de laboratoire. Il délivre une tension **triangulaire** de période $T = 4{,}0\,\mathrm{ms}$.

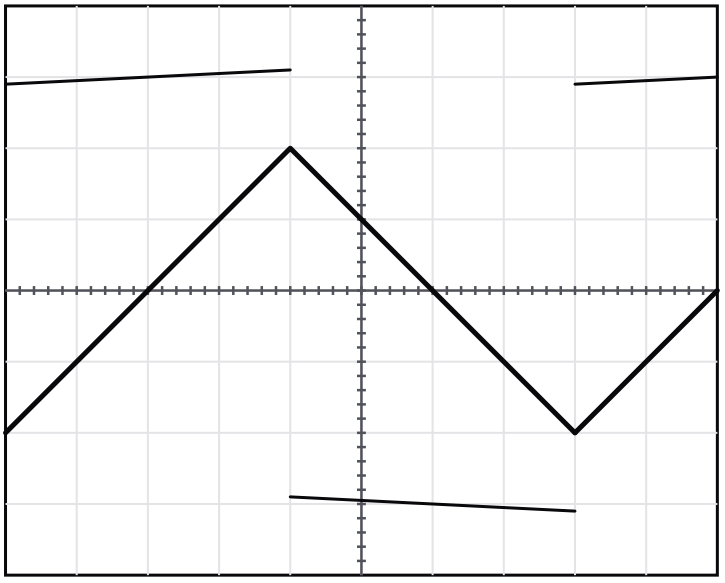
La sortie du GBF est isolée de la masse. La masse de l'oscilloscope est reliée au point commun du conducteur ohmique et de la bobine. Rappel : d'après la loi d'Ohm, $u_R = R\,i$. La voie Y_1, qui affiche u_R, donne donc la forme de i. La voie Y_2 affiche $-u_L$; sa touche d'inversion rétablit u_L.

> **Devine : La tension pendant une montée régulière**
>
> Pendant une demi-période, l'intensité i augmente régulièrement : sa courbe est une portion de droite. À quoi ressemble alors la tension u_L aux bornes de la bobine ?
>
> **A.** Elle augmente elle aussi régulièrement, comme i.
>
> **Faux.**
> Ce serait le cas d'un conducteur ohmique ; la bobine réagit à la variation de i, pas seulement à sa valeur.
>
> **B.** Elle reste nulle.
>
> **Faux.**
> Elle serait nulle pour une bobine idéale parcourue par un courant constant ; ici i change à chaque instant.
>
> **C.** Elle reste pratiquement constante.
>
> **Juste.**
> Juste : i varie à vitesse constante, et la bobine répond à cette vitesse de variation.
>
> **D.** Elle forme un pic au milieu de la demi-période.
>
> **Faux.**
> Rien ne change au milieu de la montée : la pente de i y est la même qu'ailleurs.
>
> **Correction**
> Sur une montée, la pente de $i(t)$ est constante. L'oscillogramme montre alors une tension u_L presque constante, positive. Sur la descente, la pente change de signe et u_L aussi : u_L a la forme de créneaux.



Montage de la tension triangulaire : GBF, conducteur ohmique R et bobine ; masse au point commun.

Lecture de l'oscillogramme de la bobine



Voie Y_1 (u_R) : 1 V/div Voie Y_2 (u_L) : 0,1 V/div Balayage : 0,5 ms/div

Oscillogramme : u_R triangulaire sur la voie Y1, u_L en créneaux sur la voie Y2 inversée.

Les sensibilités sont : $1{,}0\,\mathrm{V/div}$ pour la voie Y_1, $0{,}10\,\mathrm{V/div}$ pour la voie Y_2, et un balayage de $0{,}50\,\mathrm{ms/div}$.

Sur une montée, u_R passe de $-2{,}0\,\mathrm{V}$ à $2{,}0\,\mathrm{V}$ en 4 divisions, soit $2{,}0\,\mathrm{ms}$. Pendant ce temps, $u_L \approx 0{,}30\,\mathrm{V}$. Sur la descente, $u_L \approx -0{,}30\,\mathrm{V}$. La tension u_L suit le signe de la pente de i.

> **Vérifie : La vitesse de variation de l'intensité**
>
> Pendant une montée, que vaut $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$?

A. $2{,}0 \times 10^{3}\ \mathrm{A \cdot s^{-1}}$

Faux.

C'est la pente de u_R, en volts par seconde : il reste à diviser par R.

B. $2{,}0\ \mathrm{A \cdot s^{-1}}$

Juste.

Juste : la pente de u_R, divisée par R.

C. $2{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{A \cdot s^{-1}}$

Faux.

La durée est en millisecondes : $2{,}0\,\mathrm{ms} = 2{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}$. Le résultat est mille fois plus grand.

D. $4{,}0\ \mathrm{A \cdot s^{-1}}$

Faux.

La variation de u_R vaut $4{,}0\,\mathrm{V}$ en $2{,}0\,\mathrm{ms}$, et non en $1{,}0\,\mathrm{ms}$.

Correction

La pente de u_R vaut

$$\begin{aligned}&\frac{\Delta u_R}{\Delta t}\\ &= \frac{4{,}0}{2{,}0 \times 10^{-3}}\\ &= 2{,}0 \times 10^{3}\ \mathrm{V \cdot s^{-1}}\end{aligned}$$

Comme $i = \dfrac{u_R}{R}$, on divise par $R = 1{,}0 \times 10^{3}\,\Omega$: $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 2{,}0\ \mathrm{A \cdot s^{-1}}$.

Le modèle admis de la tension aux bornes

Rappel : en convention récepteur, la flèche de la tension aux bornes d'un dipôle est dessinée en sens inverse du courant.

L'oscillogramme suggère que u_L dépend de la vitesse de variation de i. Le modèle suivant, admis, traduit cette observation. Il ajoute la tension due à la résistance du fil.

Propriété : Tension aux bornes d'une bobine

En **convention récepteur**, la tension u_L aux bornes d'une bobine (L, r) traversée par un courant d'intensité i est :

$$u_L = r\,i + L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}.$$

- En **régime permanent**, l'intensité est constante : $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$ et $u_L = r\,i$. La bobine se comporte alors comme un conducteur ohmique de résistance r.
- Pour une bobine **idéale**, $u_L = L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$.

Exemple : Tension aux bornes de la bobine d'étude

La bobine d'étude a $L = 0{,}40\,\mathrm{H}$ et $r = 10\,\Omega$.

- Courant constant, $i = 0{,}10\,\mathrm{A}$: $u_L = r\,i = 10 \times 0{,}10 = 1{,}0\,\mathrm{V}$.
- Dans le montage étudié plus loin, à l'instant où $i = 50\,\mathrm{mA}$, on a $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 7{,}5\,\mathrm{A\cdot s^{-1}}$:

$$\begin{aligned} u_L &= 10 \times 0{,}050 \\ &\quad + 0{,}40 \times 7{,}5 \\ &= 3{,}5\,\mathrm{V} \end{aligned}$$

Le terme $L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ vaut ici $3{,}0\,\mathrm{V}$: il l'emporte nettement.

Attention : Une bobine en courant constant laisse passer le courant

✗ « En régime permanent, la bobine ne laisse plus passer le courant : $u_L = 0$ et $i = 0$. »

✓ Quand i est constante, seul le terme $L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ s'annule. La bobine conduit alors le courant comme un conducteur ohmique de résistance r : $u_L = r\,i$. Dans un circuit série, le courant permanent vaut $I_0 = \dfrac{E}{R + r}$, et non 0.

Mesurer une inductance avec l'oscilloscope

Méthode : Inductance tirée d'une tension triangulaire

1. **Monte** en série le GBF, un conducteur ohmique de résistance R connue et la bobine. Règle le GBF en tension triangulaire.
2. **Branche** l'oscilloscope : GBF à sortie isolée, masse au point commun, u_R sur une voie, u_L sur l'autre, voie inversée.
3. **Vérifie** que le terme $r\,i$ reste petit devant u_L ; sinon, augmente la fréquence du GBF.
4. **Mesure** la pente de u_R sur une montée, puis divise-la par R : tu obtiens $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$.
5. **Lis** u_L sur la même montée et calcule $L = u_L \Big/ \dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$.

Exemple : L'inductance de la bobine de laboratoire

Sur la montée, $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 2{,}0\,\mathrm{A\cdot s^{-1}}$ et $u_L \approx 0{,}30\,\mathrm{V}$. L'étiquette donne $r = 5{,}0\,\Omega$. L'intensité ne dépasse pas $2{,}0\,\mathrm{mA}$, donc $r\,i \leq 0{,}010\,\mathrm{V}$: trente fois moins que u_L. On néglige ce terme :

$$L = \frac{u_L}{\mathrm{d}i/\mathrm{d}t} = \frac{0{,}30}{2{,}0} = 0{,}15\,\mathrm{H}$$

Chiffres significatifs. Un résultat ne peut pas être plus précis que les mesures qui le produisent. On l'écrit avec le nombre de chiffres significatifs de la donnée qui en a le moins. Les zéros de tête ne comptent pas : $0{,}050\,\mathrm{A}$ en a deux.

Ainsi $\dfrac{0{,}30}{2{,}0}$ s'écrit $0{,}15$, et non $0{,}150$. Cette règle s'applique dans tout le chapitre.

> **À toi : Une bobine plus inductive sur le même montage**
>
> On remplace la bobine par une autre, sans changer le GBF ni $R = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$. La tension u_R est la même qu'avant. Sur la voie Y_2 inversée, à $0{,}10\,\mathrm{V/div}$, le créneau de la montée est à $3{,}6$ divisions. Calcule l'inductance L de cette bobine. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.
>
> **Indice 1**
> u_R n'a pas changé : la valeur de $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ non plus.
> **Indice 2**
> Convertis les divisions en volts avec la sensibilité de la voie Y_2.
> **Indice 3**
> Point délicat : divise u_L par $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$, et non par la pente de u_R.
>
> **Réponse**
> La voie Y_2 donne $u_L = 3{,}6 \times 0{,}10 = 0{,}36\,\mathrm{V}$. L'intensité varie toujours à $2{,}0\,\mathrm{A\cdot s^{-1}}$. Donc
>
> $$L = \frac{0{,}36}{2{,}0} = 0{,}18\,\mathrm{H}.$$

Continuité du courant et diode de roue libre

Ouvrir un circuit qui contient une bobine

Une bobine à noyau de fer est parcourue par un courant établi de quelques centaines de milliampères. On ouvre brusquement l'interrupteur. Une petite étincelle jaillit alors entre ses contacts, dans l'air. Avec un conducteur ohmique seul, rien de tel ne se produit.

> **Devine : L'origine de l'étincelle**
>
> Pourquoi une étincelle jaillit-elle à l'ouverture, alors que le générateur ne délivre que quelques volts ?
>
> **A.** Le générateur augmente sa tension à l'ouverture.
> **Faux.**

Le générateur délivre la même tension avant et après : il n'est pas en cause.

B. L'air conduit toujours un peu le courant.

Faux.

Il faut une tension très élevée pour qu'une étincelle traverse l'air ; reste à savoir d'où elle vient.

C. La bobine s'oppose à la chute brutale du courant.

Juste.

Juste : une chute très rapide de i rend $L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ très grand en valeur absolue.

D. Le fil de la bobine chauffe brusquement.

Faux.

L'effet Joule chauffe le fil, mais il ne crée pas une tension de plusieurs milliers de volts.

Correction

Le courant doit passer de sa valeur à zéro en un temps très court. La bobine s'oppose à cette variation : d'après son modèle, la tension $L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ devient très grande en valeur absolue. Cette surtension fait jaillir l'étincelle.

En clair. La lampe en retard et l'étincelle disent la même chose : une bobine **freine les variations** de l'intensité. À la fermeture, elle retarde la montée du courant. À l'ouverture, elle s'oppose à sa chute. Cette propriété est admise. Elle est liée à l'énergie que la bobine emmagasine, étudiée en fin de chapitre.

Continuité de l'intensité dans une bobine

Propriété : Continuité de l'intensité du courant dans une bobine

L'intensité i du courant qui traverse une bobine est une **fonction continue du temps** : elle ne peut pas varier brusquement, même lorsque la tension appliquée au circuit varie brusquement. En revanche, la tension u_L aux bornes de la bobine peut subir une discontinuité.

Une bobine **s'oppose aux variations** de l'intensité du courant qui la traverse : elle retarde l'établissement du courant et sa rupture.

Exemple : Valeurs juste après la fermeture du montage d'étude

Le montage d'étude associe en série un générateur $E = 6{,}0\,\mathrm{V}$, un conducteur ohmique $R = 50\,\Omega$ et la bobine $(0{,}40\,\mathrm{H};\,10\,\Omega)$. Avant la fermeture, $i = 0$.

- Par continuité, $i(0) = 0$ juste après la fermeture ; donc $u_R(0) = R \times 0 = 0$.
- Rappel : d'après la loi d'additivité des tensions, $u_R + u_L = E$. Donc $u_L(0) = 6{,}0\,\mathrm{V}$.

La tension aux bornes de la bobine a sauté de 0 à $6{,}0\,\mathrm{V}$; l'intensité, elle, part de zéro.

Attention : Ce qui est continu et ce qui ne l'est pas

✗ « Juste après la fermeture, $u_L = 0$, puisque u_L était nulle avant. »

✓ La continuité est une propriété de l'intensité i ; la tension u_L, elle, peut sauter. À la fermeture, u_L saute de 0 à E. À l'ouverture avec une diode de roue libre, u_L change de signe, tandis que i garde sa valeur.

Vérifie : La grandeur qui garde sa valeur

Le courant est établi dans le montage d'étude : $i = 0{,}10\ \text{A}$. On ouvre l'interrupteur ; une diode de roue libre est en place. Quelle grandeur a la même valeur juste avant et juste après l'ouverture ?

A. L'intensité i dans la bobine.

Juste.

Juste : c'est la continuité de l'intensité du courant dans une bobine.

B. La tension u_L aux bornes de la bobine.

Faux.

u_L peut sauter : elle change même de signe ici.

C. L'intensité débitée par le générateur.

Faux.

L'interrupteur ouvert isole le générateur : son courant tombe à zéro.

D. Toutes les tensions du circuit.

Faux.

La continuité concerne i ; $u_R = R\,i$ en découle, mais u_L, elle, peut sauter.

Correction

Seule l'intensité dans la bobine est continue : juste après l'ouverture, $i = 0{,}10\ \text{A}$, dans le même sens. Le courant passe désormais par la diode. Le générateur, lui, ne débite plus rien.

La surtension sans diode

Exemple : Ordre de grandeur d'une surtension

La bobine d'étude, $L = 0{,}40\ \text{H}$, est parcourue par $0{,}10\ \text{A}$. Sans diode, on ouvre l'interrupteur. Supposons que l'intensité tombe à zéro en $1{,}0\ \mu\text{s}$. La pente vaut alors, en valeur absolue :

$$\left|\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right| \approx \frac{0{,}10}{1{,}0 \times 10^{-6}} \approx 1{,}0 \times 10^{5}\ \text{A}\cdot\text{s}^{-1}$$

La tension $L\left|\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right|$ atteint environ $4{,}0 \times 10^{4}\ \text{V}$: assez pour une étincelle.

Attention : Ouvrir sans chemin de retour pour le courant

✗ « On peut ouvrir sans précaution un circuit qui contient une bobine : le courant s'arrête, c'est tout. »

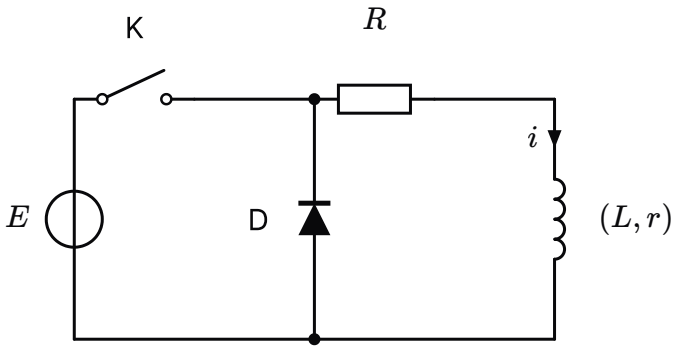
✓ Sans chemin pour le courant, i chute en un temps très court et la surtension peut atteindre des milliers de volts. Elle abîme l'interrupteur et les composants voisins. Une diode de roue libre offre ce chemin et supprime la surtension.

Le rôle de la diode de roue libre

Rappel : une diode laisse passer le courant de son anode vers sa cathode, et le bloque dans l'autre sens. On la suppose idéale : tension nulle à ses bornes quand elle conduit.

La diode est branchée aux deux bornes du groupe formé par le conducteur ohmique et la bobine, cathode du côté de la borne positive du générateur.

- Interrupteur fermé : la diode est bloquée ; tout le courant traverse le conducteur ohmique et la bobine.
- Interrupteur ouvert : la diode devient passante. Le courant continue de circuler, dans le même sens, dans la maille formée par la diode, le conducteur ohmique et la bobine.



Diode de roue libre D, branchée aux bornes du groupe formé par R et la bobine.

À toi : Le courant juste après l'ouverture

Dans le montage de la figure, l'interrupteur est fermé depuis longtemps : $i = 0{,}10\ \text{A}$, avec $R = 50\ \Omega$. On l'ouvre à l'instant $t = 0$. Donne, juste après l'ouverture, l'intensité dans la bobine et son sens, le composant qui conduit le courant, et la tension u_R. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1
Applique la continuité de l'intensité du courant dans une bobine.
Indice 2

Suis le courant : quel chemin lui reste-t-il quand l'interrupteur est ouvert ?

Indice 3

Point délicat : le courant du générateur s'annule, mais pas celui de la bobine.

Réponse

Par continuité, l'intensité dans la bobine vaut encore $0{,}10\,\mathrm{A}$, dans le même sens qu'avant. Le générateur ne débite plus : le courant passe par la diode, devenue passante. Dans le conducteur ohmique :

$$u_R = R\,i = 50 \times 0{,}10 = 5{,}0\,\mathrm{V}.$$

Équation différentielle de l'établissement du courant

Le montage d'étude et sa voie Y1

Le montage d'étude associe en série un générateur idéal de tension $E = 6{,}0\,\mathrm{V}$, un interrupteur K, la bobine $(0{,}40\,\mathrm{H};\, 10\,\Omega)$ et un conducteur ohmique $R = 50\,\Omega$. Une diode de roue libre protège le montage.

La voie Y_1 de l'oscilloscope affiche $u_R = R\,i$: suivre u_R, c'est suivre i, à un facteur R près. À $t = 0$, on ferme K.

Devine : La courbe affichée à la fermeture

Que montre la voie Y_1 après la fermeture de K ?

A. u_R saute tout de suite à sa valeur finale.

Faux.

Un saut de u_R serait un saut de i : la continuité de l'intensité l'interdit.

B. u_R part de 0 et croît vers une valeur limite.

Juste.

Juste : i part de 0, puis augmente de moins en moins vite.

C. u_R monte, puis retombe à 0.

Faux.

En régime permanent, le courant circule encore : u_R ne retombe pas.

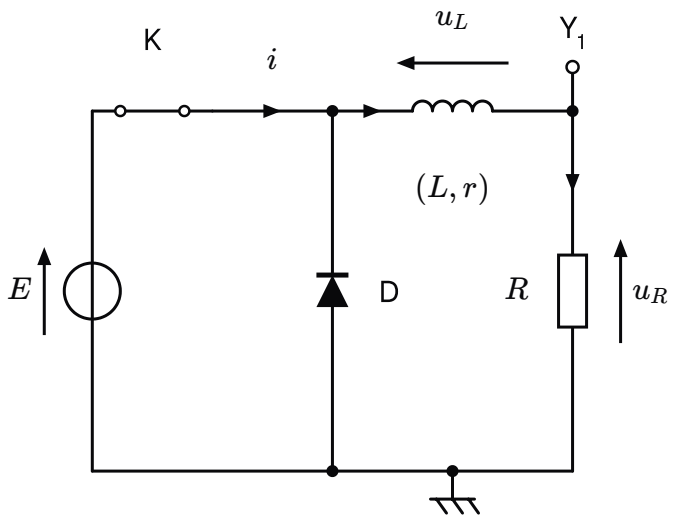
D. u_R reste nulle.

Faux.

La bobine retarde le courant, mais elle ne l'empêche pas.

Correction

À $t = 0$, $i(0) = 0$ par continuité, donc $u_R(0) = 0$. Ensuite le courant s'établit : u_R croît, de plus en plus lentement, vers une valeur constante. La suite de cette section met cette courbe en équation.



Montage d'étude : générateur E, interrupteur K, bobine, conducteur ohmique R et diode ; voie Y1 sur u_R.

Un dipôle soumis à un échelon

Rappel : au chapitre précédent, un échelon de tension était produit en fermant ou en ouvrant un interrupteur. Ici, la fermeture de K fait passer de 0 à E la tension appliquée à l'ensemble de la bobine et du conducteur ohmique.

Définition : Dipôle RL et échelon de tension

Un **dipôle RL** est l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance R et d'une bobine (L, r). Sa résistance totale est $R + r$.

Le dipôle est soumis à un **échelon de tension** lorsque la tension appliquée passe brusquement d'une valeur constante à une autre :

- **échelon montant**, de 0 à E : c'est l'**établissement** du courant ;
- **échelon descendant**, de E à 0 : c'est la **rupture** du courant.

Le régime pendant lequel l'intensité varie est le **régime transitoire** ; il est suivi du **régime permanent**, où l'intensité est constante.

Exemple : Le dipôle RL du montage d'étude

- Le dipôle RL est formé du conducteur ohmique et de la bobine : sa résistance totale vaut $R + r = 50 + 10 = 60\,\Omega$.
- À la fermeture de K, la tension appliquée passe de 0 à $6{,}0\,\mathrm{V}$: échelon montant, établissement du courant.

- À l'ouverture, la diode conduit ; la tension aux bornes du dipôle passe de $6{,}0\,\mathrm{V}$ à 0 : échelon descendant, rupture du courant.

Mise en équation de l'établissement

Pourquoi est-ce vrai ? Deux outils suffisent. La loi d'additivité relie les tensions de la maille. Le modèle de chaque dipôle exprime sa tension en fonction de i. En les combinant, on obtient une relation entre i et sa dérivée : une équation différentielle. La preuve suit l'énoncé.

Propriété : Équation différentielle de l'établissement du courant

Un dipôle RL, formé d'un conducteur ohmique de résistance R et d'une bobine (L, r), est soumis à l'instant $t = 0$ à un échelon de tension montant de 0 à E. L'intensité i du courant vérifie, pour $t \geq 0$:

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{R + r}{L}\, i = \frac{E}{L}.$$

Démonstration

Étape 1. On oriente le circuit dans le sens du courant débité par le générateur, et on flèche les tensions u_R et u_L en convention récepteur.

Étape 2. Loi d'additivité des tensions dans le circuit série, pour $t \geq 0$:

$$u_R + u_L = E.$$

Étape 3. Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$. D'après la tension aux bornes d'une bobine, $u_L = r\,i + L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$. On remplace :

$$R\,i + r\,i + L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = E.$$

Étape 4. On divise par L, non nulle :

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{R + r}{L}\, i = \frac{E}{L}.$$

À retenir : Gestes à retenir pour établir l'équation

Le geste : flécher u_R et u_L en convention récepteur, écrire $u_R + u_L = E$, remplacer chaque tension par son expression, puis diviser par L. Le coefficient de i, $\dfrac{R + r}{L}$, contient la résistance **totale** du circuit.

Vérifie : La loi qui ouvre la preuve

Dans la preuve, quelle loi donne la relation $u_R + u_L = E$?

A. La loi des nœuds.

Faux.

Le générateur, la bobine et le conducteur ohmique sont en série : la loi des nœuds ne relie pas leurs tensions.

B. La loi d'Ohm.

Faux.

La loi d'Ohm donne $u_R = R\,i$, à l'étape 3, et non la somme des tensions.

C. La continuité de l'intensité.

Faux.

Elle fixe la valeur de i à $t = 0$; elle ne relie pas les tensions.

D. La loi d'additivité des tensions.

Juste.

Juste : c'est l'étape 2 de la preuve.

Correction

L'étape 2 applique la loi d'additivité des tensions au circuit série : la tension E du générateur est la somme de u_R et de u_L. L'étape 3 remplace ensuite u_R par la loi d'Ohm, et u_L par le modèle de la bobine.

Exemple : L'équation du montage d'étude, en nombres

Avec $R + r = 60\,\Omega$, $L = 0{,}40\,\mathrm{H}$ et $E = 6{,}0\,\mathrm{V}$:

$$\begin{aligned}\frac{R+r}{L} &= \frac{60}{0{,}40}\\ &= 1{,}5 \times 10^{2}\,\mathrm{s}^{-1}\end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned}\frac{E}{L} &= \frac{6{,}0}{0{,}40}\\ &= 15\,\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}^{-1}\end{aligned}$$

L'équation s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + 1{,}5 \times 10^{2}\,i = 15$, avec i en ampères et t en secondes. À $t = 0$, $i = 0$: l'intensité démarre avec la pente $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}(0) = 15\,\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

Mettre en forme et contrôler l'homogénéité

Méthode : Mettre en équation un dipôle RL

1. **Schématise** le circuit de la phase étudiée : établissement, ou rupture avec la diode. Oriente le courant i.
2. **Flèche** chaque tension en convention récepteur : u_R et u_L, opposées au sens de i.

3. **Écris** la loi d'additivité des tensions dans la maille parcourue par le courant.
4. **Remplace** : $u_R = R\,i$ et $u_L = r\,i + L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$.
5. **Mets en forme** : divise par L pour que $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ ait le coefficient 1, puis regroupe les termes en i.

Contrôle d'homogénéité. Les termes d'une équation ont tous la même unité. Ici, $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ s'exprime en $\mathrm{A\cdot s^{-1}}$. Le terme $\dfrac{E}{L}$ aussi : un volt divisé par un henry donne des ampères par seconde. Donc $\dfrac{R+r}{L}$ s'exprime en $\mathrm{s^{-1}}$, l'inverse d'une durée. La section sur la constante de temps exploite ce résultat.

À toi : L'équation avec un autre conducteur ohmique

Dans le montage d'étude, on remplace le conducteur ohmique de $50\,\Omega$ par un conducteur ohmique de $110\,\Omega$. Écris l'équation différentielle de l'établissement avec des nombres, puis donne la pente de $i(t)$ à $t = 0$. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1
La résistance totale du circuit change ; E et L ne changent pas.
Indice 2
À $t = 0$, $i = 0$: l'équation donne directement $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}(0)$.
Indice 3
Point délicat : le coefficient de i s'écrit avec $R + r$, et non avec R seul.

Réponse
La résistance totale vaut $R + r = 110 + 10 = 120\,\Omega$. Alors

$$\begin{aligned}\frac{R+r}{L} &= \frac{120}{0{,}40}\\ &= 3{,}0\times10^{2}\,\mathrm{s^{-1}}\end{aligned}$$

et $\dfrac{E}{L} = 15\,\mathrm{A\cdot s^{-1}}$ comme avant. L'équation s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + 3{,}0\times10^{2}\,i = 15$. À $t = 0$, $i = 0$: la pente vaut encore $15\,\mathrm{A\cdot s^{-1}}$. Elle ne dépend pas de la résistance.

Solution et courbes de l'établissement du courant

Vers quelle intensité tend le courant

Devine : L'intensité atteinte en régime permanent

Dans le montage d'étude, l'équation s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + 1{,}5\times10^{2}\,i = 15$. Quand l'intensité ne varie plus, quelle valeur atteint-elle ?

A. $0{,}12\,\mathrm{A}$
Faux.

C'est $\dfrac{E}{R}$: la résistance du fil de la bobine est oubliée.

B. $0{,}10\ \text{A}$

Juste.

Juste : $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$ donne $i = \dfrac{15}{150}$.

C. $0{,}60\ \text{A}$

Faux.

C'est $\dfrac{E}{r}$: le conducteur ohmique de $50\ \Omega$ est oublié.

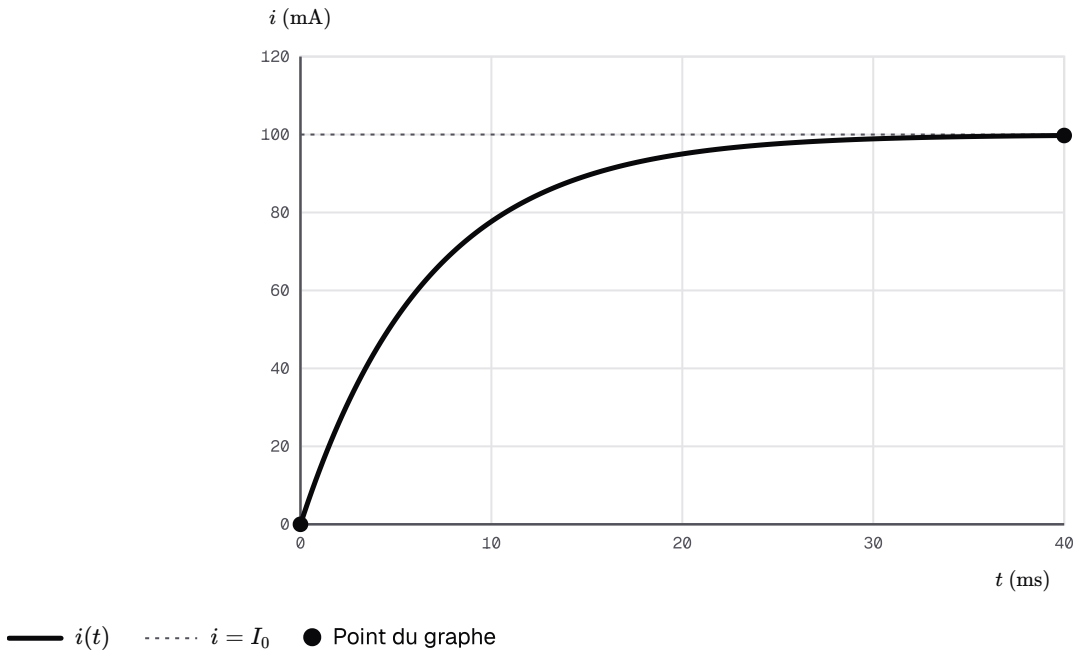
D. Elle augmente sans limite.

Faux.

Plus i grandit, plus $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 15 - 150\,i$ diminue : la croissance s'arrête.

Correction

En régime permanent, $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$. L'équation devient $1{,}5 \times 10^{2}\,i = 15$, soit $i = 0{,}10\ \text{A}$. C'est aussi $\dfrac{E}{R + r} = \dfrac{6{,}0}{60}$: la bobine se comporte alors comme une résistance r.



Intensité i(t) à la fermeture du montage d'étude, en milliampères : elle tend vers I_0 = 100 mA.

Rappel : l'exponentielle, outil admis. Pour une constante $\tau > 0$, la fonction $t \mapsto e^{-t/\tau}$ vérifie :

- $e^{0} = 1$, et $e^{-t/\tau}$ tend vers 0 quand t tend vers $+\infty$;
- sa dérivée est $t \mapsto -\dfrac{1}{\tau}\,e^{-t/\tau}$;
- $e^{-1} \approx 0{,}37$, $e^{-2} \approx 0{,}14$, $e^{-3} \approx 0{,}050$ et $e^{-5} \approx 0{,}0067$.

Tu étudies cette fonction en mathématiques ; ici, seules ces propriétés servent.

Forme proposée de la solution

Pourquoi est-ce vrai ? La courbe ressemble à une constante diminuée d'une exponentielle qui s'éteint. On propose donc une solution de la forme $A + B\,e^{-t/\tau}$ et on la remplace dans l'équation. Les constantes sont imposées par l'identification, puis par la continuité de i.

Propriété : Intensité du courant à l'établissement et constante de temps

La solution de l'équation différentielle de l'établissement du courant qui vérifie $i(0) = 0$ est :

$$i(t) = I_0 \left(1 - e^{-t/\tau}\right),$$

avec l'**intensité en régime permanent** et la **constante de temps** :

$$I_0 = \frac{E}{R + r}, \qquad \tau = \frac{L}{R + r}.$$

La tension aux bornes du conducteur ohmique, $u_R = R\,i$, a la même allure que $i(t)$: elle tend vers $R\,I_0$.

Démonstration

Étape 1. On cherche une solution de la forme $i(t) = A + B\,e^{-t/\tau}$, où A, B et τ sont des constantes, $B \neq 0$ et $\tau > 0$. La dérivée de $t \mapsto e^{-t/\tau}$ est $t \mapsto -\dfrac{1}{\tau}\,e^{-t/\tau}$ (outil admis), donc :

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = -\frac{B}{\tau}\,e^{-t/\tau}.$$

Étape 2. On substitue dans l'équation différentielle de l'établissement du courant :

$$B\,e^{-t/\tau}\left(\frac{R + r}{L} - \frac{1}{\tau}\right) + \frac{R + r}{L}\,A = \frac{E}{L}.$$

Étape 3. Cette égalité est vraie pour tout $t \geq 0$ et $e^{-t/\tau}$ varie avec t : le coefficient de $e^{-t/\tau}$ est nul et le terme constant vaut $\dfrac{E}{L}$. Comme $B \neq 0$:

$$\tau = \frac{L}{R + r}, \qquad A = \frac{E}{R + r} = I_0.$$

Étape 4. Avant la fermeture, aucun courant ne circule. D'après la continuité de l'intensité du courant dans une bobine, $i(0) = 0$, donc $A + B = 0$ et $B = -I_0$. Ainsi $i(t) = I_0\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$.

À retenir : Ce qui fixe chacune des trois constantes

- τ vient du coefficient de $e^{-t/\tau}$, qui doit être nul pour tout t.
- $A = I_0$ vient du terme constant.
- $B = -I_0$ vient de la continuité de l'intensité : $i(0) = 0$.

Une solution juste vérifie à la fois l'équation et la valeur initiale.

Vérifie : L'argument qui donne la constante B

Dans la preuve, quelle information fixe la constante $B = -I_0$?

A. L'identification du coefficient de $e^{-t/\tau}$.

Faux.

Ce coefficient nul donne la valeur de τ, pas celle de B.

B. La valeur de i en régime permanent.

Faux.

Le terme constant fixe $A = I_0$; B reste libre à ce stade.

C. La continuité de l'intensité à $t = 0$.

Juste.

Juste : c'est l'étape 4 de la preuve, avec $i(0) = 0$.

D. La seule propriété $e^0 = 1$.

Faux.

$e^0 = 1$ sert au calcul de $i(0)$, mais il faut savoir que $i(0) = 0$.

Correction

L'étape 4 utilise la continuité de l'intensité du courant dans une bobine : avant la fermeture, $i = 0$, donc $i(0) = 0$. Avec $e^0 = 1$, cela donne $A + B = 0$, soit $B = -A = -I_0$.

Exemple : Intensité du montage d'étude à 10 ms

$I_0 = \dfrac{E}{R+r} = \dfrac{6{,}0}{60} = 0{,}10\ \text{A}$, et

$$\tau = \frac{L}{R+r} = \frac{0{,}40}{60} \approx 6{,}7 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

soit $6{,}7\ \text{ms}$. Donc $i(t) = 0{,}10\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$, en ampères. À $t = 10\ \text{ms}$, $\dfrac{t}{\tau} = 1{,}5$ et la calculatrice donne $e^{-1{,}5} \approx 0{,}22$:

$$i \approx 0{,}10 \times 0{,}78 \approx 0{,}078\ \text{A}.$$

Vérifier une solution par substitution

Méthode : Dériver, remplacer, identifier, conclure

1. **Dérive** la fonction proposée, de la forme $A + B\,e^{-t/\tau}$: $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{B}{\tau}\,e^{-t/\tau}$.

2. **Remplace** i et $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ dans l'équation différentielle.
3. **Regroupe** d'un côté les termes en $e^{-t/\tau}$, de l'autre les termes constants.
4. **Identifie** : le coefficient de $e^{-t/\tau}$ doit être nul, ce qui fixe τ ; le terme constant fixe A.
5. **Termine** par la condition initiale, donnée par la continuité de l'intensité : elle fixe B.

Exemple : Une fonction qui n'est pas solution

Une élève propose $i(t) = 0{,}12\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$, en ampères, avec $\tau = \dfrac{L}{R+r}$. Le coefficient de $e^{-t/\tau}$ s'annule, comme dans la preuve. Il reste le terme constant :

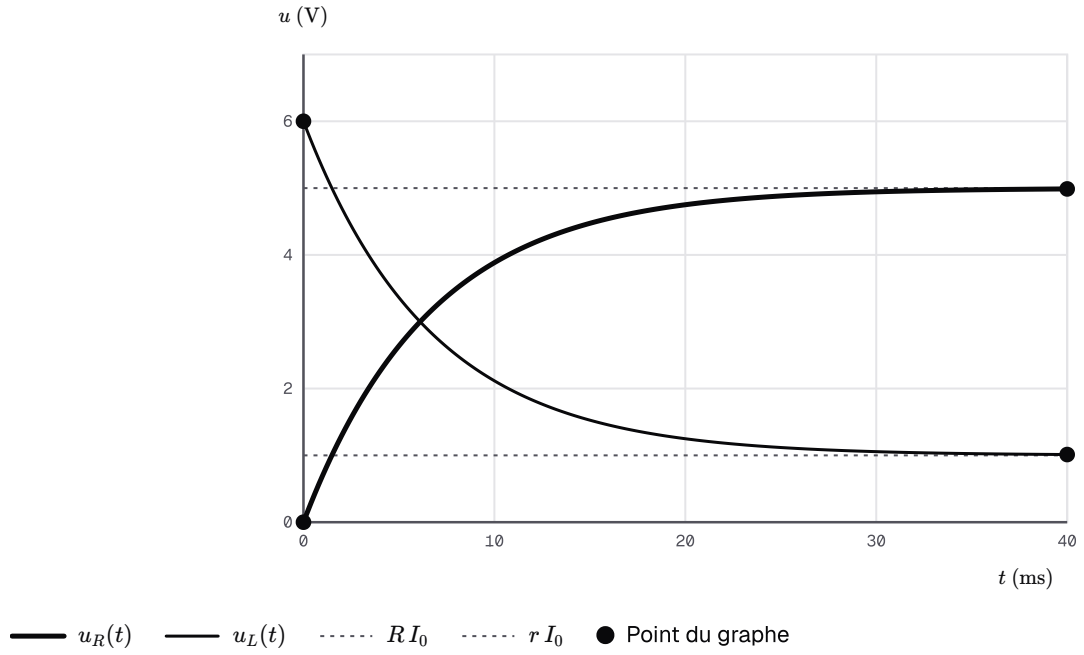
$$\begin{aligned} &\frac{R+r}{L} \times 0{,}12 \\ &= 1{,}5 \times 10^{2} \times 0{,}12 \\ &= 18\ \mathrm{A \cdot s^{-1}} \end{aligned}$$

Il devrait valoir $\dfrac{E}{L} = 15\ \mathrm{A \cdot s^{-1}}$: la fonction n'est pas solution. La valeur $0{,}12\ \mathrm{A}$ est $\dfrac{E}{R}$; la résistance r a été oubliée.

Les tensions pendant l'établissement

Le conducteur ohmique a pour tension $u_R = R\,i = 5{,}0\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$, en volts. Par additivité, $u_L = E - u_R = 1{,}0 + 5{,}0\,e^{-t/\tau}$.

- Au début, u_L vaut $6{,}0\ \mathrm{V}$ et u_R est nulle.
- Ensuite, u_R croît et u_L décroît ; leur somme reste égale à E.
- Pendant ce **régime transitoire**, i varie. Il est suivi du **régime permanent** : $i = I_0$, $u_R = R\,I_0 = 5{,}0\ \mathrm{V}$ et $u_L = r\,I_0 = 1{,}0\ \mathrm{V}$.



Tensions u_R(t) et u_L(t) à la fermeture du montage d'étude : leur somme vaut E = 6,0 V à chaque instant.

Vérifie : Additivité des tensions à $t = \tau$

À l'instant $t = \tau$, $u_R = 5{,}0\,\left(1 - e^{-1}\right) \approx 3{,}2\,\text{V}$. Que vaut alors u_L ?

A. $u_L \approx 3{,}2\,\text{V}$

Faux.

C'est u_R : les deux tensions ne sont égales qu'au croisement des courbes.

B. $u_L \approx 1{,}0\,\text{V}$

Faux.

C'est la valeur du régime permanent, atteinte bien plus tard.

C. $u_L \approx 2{,}8\,\text{V}$

Juste.

Juste : $u_L = E - u_R$.

D. $u_L \approx 6{,}0\,\text{V}$

Faux.

C'est la valeur à $t = 0$; u_L a déjà diminué.

Correction

Par additivité, $u_L = E - u_R \approx 6{,}0 - 3{,}2 \approx 2{,}8\,\text{V}$. L'expression de u_L donne la même valeur : $u_L = 1{,}0 + 5{,}0\,e^{-1} \approx 2{,}8\,\text{V}$.

À toi : Intensité et tension à $t = 2\tau$

Pour le montage d'étude, calcule i et u_L à l'instant $t = 2\tau$. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1
Remplace $\dfrac{t}{\tau}$ par 2 dans les expressions de $i(t)$ et de $u_L(t)$.
Indice 2
Utilise $e^{-2} \approx 0{,}14$.
Indice 3
Point délicat : u_L tend vers $r\,I_0 = 1{,}0\ \text{V}$, et non vers 0 ; garde ce terme constant.

Réponse

$$\begin{aligned} i(2\tau) &= 0{,}10\left(1 - e^{-2}\right) \\ &\approx 0{,}10 \times 0{,}86 \\ &\approx 0{,}086\ \text{A} \end{aligned}$$

Ensuite

$$\begin{aligned} u_L(2\tau) &= 1{,}0 + 5{,}0\,e^{-2} \\ &\approx 1{,}7\ \text{V}. \end{aligned}$$

L'intensité atteint déjà 86 % de I_0.

Rupture du courant dans un dipôle RL

Ouvrir le montage d'étude

Devine : La voie Y1 après l'ouverture

Le courant $I_0 = 0{,}10\ \text{A}$ est établi dans le montage d'étude. On ouvre K à $t = 0$; la diode de roue libre est en place. Que montre la voie Y_1, qui affiche u_R ?

A. u_R tombe aussitôt à 0.
Faux.
Ce serait une chute brutale de i : la continuité de l'intensité l'interdit.

B. u_R reste à $5{,}0\ \text{V}$.
Faux.
Sans générateur dans la maille, rien n'entretient le courant : il finit par s'annuler.

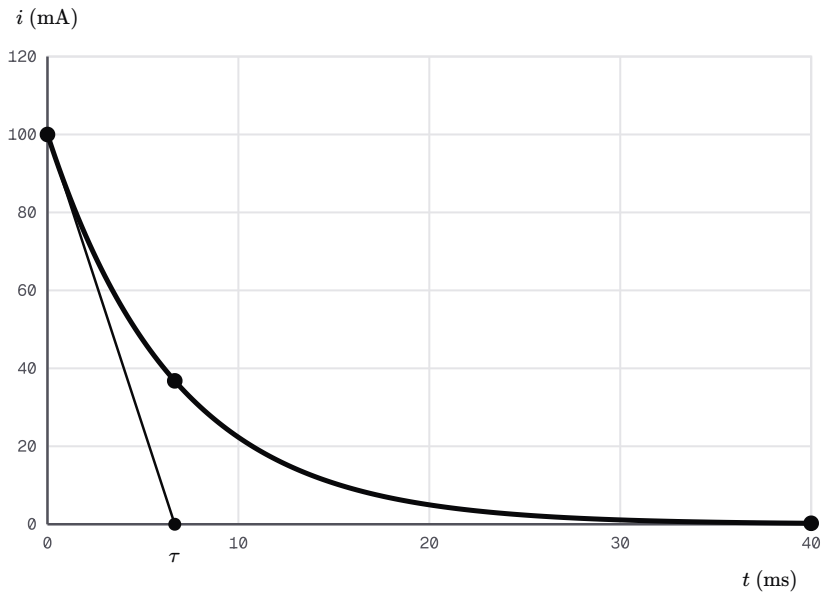
C. u_R devient négative.
Faux.
Le courant garde son sens dans le conducteur ohmique : $u_R = R\,i$ reste positive.

D. u_R décroît de $5{,}0\ \text{V}$ vers 0.
Juste.
Juste : i part de I_0 et décroît de moins en moins vite.

Correction

> Juste après l'ouverture, $i = I_0$ par continuité, donc $u_R = 5{,}0\ \mathrm{V}$. Le courant circule dans la maille de la diode, sans générateur : il décroît jusqu'à s'annuler. La courbe de u_R a la même allure que celle de i.

En clair. Après l'ouverture, le générateur est hors circuit. Le courant parcourt la maille formée de la diode, du conducteur ohmique et de la bobine. La diode idéale a une tension nulle : la tension aux bornes du dipôle RL tombe de E à 0. C'est un échelon descendant.



Rupture du courant : la tangente tracée à t = 0 rencontre l'axe des temps en τ.

Demi-tangente calculée en x = 0 : coefficient directeur ≈ −15 ; elle coupe la droite y = 0 en x ≈ 6,66667.

Mise en équation de la rupture

Pourquoi est-ce vrai ? Les gestes sont ceux de l'établissement, dans la nouvelle maille. Le générateur n'y figure plus : le second membre de l'équation devient nul. La valeur initiale vient encore de la continuité de l'intensité.

Propriété : Équation différentielle et intensité à la rupture du courant

Le courant d'intensité I_0 étant établi dans le dipôle RL, on ouvre l'interrupteur à l'instant $t = 0$. Une **diode de roue libre**, montée en parallèle sur l'ensemble du conducteur ohmique et de la bobine, permet au courant de continuer à circuler. La diode étant supposée idéale, l'intensité vérifie pour $t \geq 0$:

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{R + r}{L}\, i = 0,$$

et la solution qui vérifie $i(0) = I_0$ est :

$$i(t) = I_0\, e^{-t/\tau}, \qquad \tau = \frac{L}{R + r}.$$

Démonstration

Étape 1. Après l'ouverture, le courant circule dans la maille formée du conducteur ohmique, de la bobine et de la diode, dans le même sens qu'avant. La diode idéale passante a une tension nulle à ses bornes.

Étape 2. Loi d'additivité des tensions dans cette maille, avec $u_R = R\,i$ et la tension aux bornes d'une bobine $u_L = r\,i + L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$:

$$R\,i + r\,i + L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0.$$

On divise par L et on obtient l'équation annoncée.

Étape 3. On cherche une solution de la forme $i(t) = B\,e^{-t/\lambda}$, avec $B \neq 0$ et $\lambda > 0$. En substituant, $B\,e^{-t/\lambda}\left(\dfrac{R+r}{L} - \dfrac{1}{\lambda}\right) = 0$ pour tout t, donc $\lambda = \dfrac{L}{R+r} = \tau$.

Étape 4. D'après la continuité de l'intensité du courant dans une bobine, l'intensité juste après l'ouverture est celle d'avant : $i(0) = I_0$, donc $B = I_0$.

À retenir : Ce que la rupture change dans la preuve

- La maille de rupture contient le conducteur ohmique, la bobine et la diode idéale : sa résistance reste $R + r$, donc τ ne change pas.
- Sans générateur, le second membre est nul ; la solution n'a plus de terme constant.
- La continuité donne $i(0) = I_0$, et non 0.

Vérifie : La constante de temps à la rupture

Dans la preuve, pourquoi la constante de temps de la rupture est-elle la même qu'à l'établissement ?

A. Parce que le générateur reste dans la maille.

Faux.
L'interrupteur ouvert isole le générateur : il n'est plus parcouru par le courant.

B. Parce que la maille contient encore R et r.

Juste.
Juste : la diode idéale n'ajoute aucune tension ; c'est l'étape 2 de la preuve.

C. Parce que l'intensité est continue.

Faux.

La continuité fixe $i(0) = I_0$; elle ne dit rien de τ.

D. Parce que seule l'inductance compte dans τ.

Faux.

τ dépend de L et de la résistance de la maille.

Correction

À l'étape 2, l'additivité dans la maille de rupture donne $R\,i + r\,i + L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$: la diode idéale n'ajoute aucune tension. Le coefficient de i est encore $\dfrac{R+r}{L}$, d'où la même constante de temps.

Exemple : Intensité du montage d'étude après l'ouverture

Ici $I_0 = 0{,}10\ \mathrm{A}$ et $\tau \approx 6{,}7\ \mathrm{ms}$, donc $i(t) = 0{,}10\,e^{-t/\tau}$, en ampères.

- À $t = \tau$: $i \approx 0{,}10 \times 0{,}37 = 0{,}037\ \mathrm{A}$, soit 37 % de I_0 : c'est le point marqué sur la courbe.
- À $t = 10\ \mathrm{ms}$: $\dfrac{t}{\tau} = 1{,}5$ et $i \approx 0{,}10 \times 0{,}22 \approx 0{,}022\ \mathrm{A}$.
- Sur la figure, la tangente à l'origine coupe l'axe des temps vers $6{,}7\ \mathrm{ms}$, en $t = \tau$. La section suivante justifie ces deux lectures.

Une tension négative aux bornes de la bobine

Avant l'ouverture, $u_L = r\,I_0 = 1{,}0\ \mathrm{V}$. Dans la maille de rupture, l'additivité donne $u_R + u_L = 0$, donc $u_L = -u_R$. Juste après l'ouverture, $u_L = -5{,}0\ \mathrm{V}$: la tension aux bornes de la bobine saute et change de signe. Elle revient ensuite vers 0 avec le courant. La bobine entretient alors le courant, comme un générateur.

Vérifie : Le signe de $u_L après l'ouverture

Que vaut u_L à l'instant $t = \tau$ de la rupture ?

A. $u_L \approx 1{,}8\ \mathrm{V}$

Faux.

La somme $u_R + u_L$ est nulle : u_L a le signe opposé à u_R.

B. $u_L = 0$

Faux.

u_L ne s'annule qu'avec le courant, au bout de quelques τ.

C. $u_L \approx -6{,}0\ \mathrm{V}$

Faux.

Le générateur n'est plus dans la maille : E n'intervient plus.

D. $u_L \approx -1{,}8\ \mathrm{V}$

Juste.

Juste : $u_L = -u_R = -R\,i$.

Correction
À $t = \tau$, $u_R = R\,I_0\,e^{-1} \approx 5{,}0 \times 0{,}368 \approx 1{,}8\,\text{V}$. Donc $u_L = -u_R \approx -1{,}8\,\text{V}$.

À toi : La rupture avec une bobine de 0,20 H

On reprend le montage d'étude avec une bobine $(0{,}20\,\text{H}; 10\,\Omega)$. Le courant $I_0 = 0{,}10\,\text{A}$ est établi, puis on ouvre K. Calcule τ, puis i et u_L à $t = 10\,\text{ms}$. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1
La résistance de la maille de rupture vaut toujours $60\,\Omega$.
Indice 2
Exprime $10\,\text{ms}$ en multiple de τ, puis utilise $e^{-3} \approx 0{,}050$.
Indice 3
Point délicat : dans la maille de rupture, $u_L = -u_R$; le signe de u_L est négatif.

Réponse
$\tau = \dfrac{0{,}20}{60} \approx 3{,}3 \times 10^{-3}\,\text{s}$, donc $10\,\text{ms} = 3\tau$. Alors $i \approx 0{,}10 \times 0{,}050 = 5{,}0 \times 10^{-3}\,\text{A}$, soit $5{,}0\,\text{mA}$.
Enfin :

$$\begin{aligned} u_L &= -R\,i \\ &\approx -50 \times 5{,}0 \times 10^{-3} \\ &\approx -0{,}25\,\text{V} \end{aligned}$$

Constante de temps d'un dipôle RL

La tangente à l'origine de la courbe

Devine : Une bobine deux fois plus inductive

On remplace la bobine du montage d'étude par une bobine d'inductance double, de même résistance r. Que devient la durée du régime transitoire ?

A. Elle double.

Juste.
Juste : la constante de temps $\dfrac{L}{R+r}$ est proportionnelle à L.

B. Elle est divisée par deux.

Faux.
Une inductance plus grande freine davantage les variations : l'établissement est plus lent.

C. Elle ne change pas.

Faux.
L'intensité finale ne change pas, mais la durée pour l'atteindre, si.

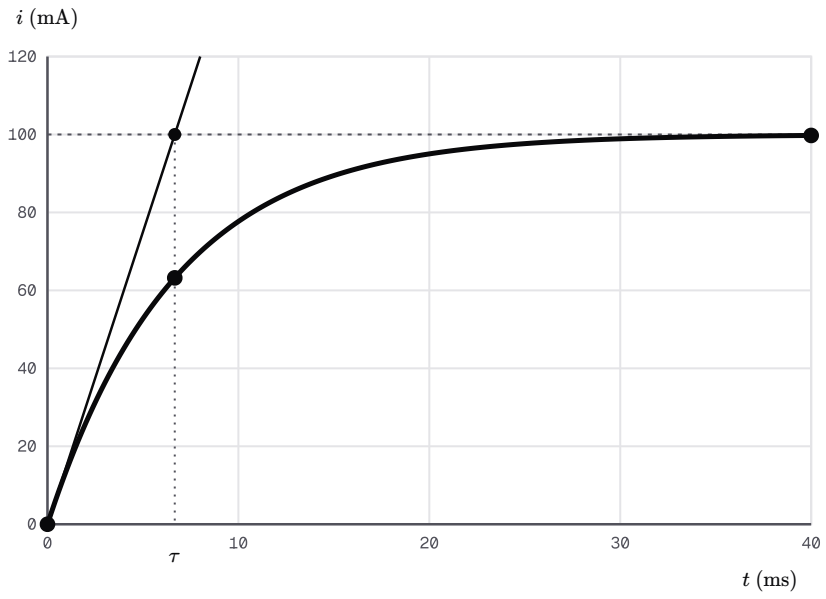
D. Elle est multipliée par quatre.

Faux.

L intervient au premier degré dans τ, pas au carré.

Correction

D'après la solution de l'établissement, $\tau = \dfrac{L}{R+r}$. Doubler L double τ, donc la durée du régime transitoire. L'intensité permanente $I_0 = \dfrac{E}{R+r}$, elle, reste la même.



Intensité à la fermeture et tangente à l'origine : elle coupe la droite i = I_0 à l'instant τ.

Demi-tangente calculée en x = 0 : coefficient directeur ≈ 15 ; elle coupe la droite y = 100 en x ≈ 6,66667.

Sur la figure, la tangente à l'origine a pour pente $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}(0) = 15\ \mathrm{A\cdot s^{-1}}$, soit $15\ \mathrm{mA}$ par milliseconde. Elle atteint $100\ \mathrm{mA}$ au bout d'environ $6{,}7\ \mathrm{ms}$: c'est τ. À cet instant, la courbe passe par environ $63\ \mathrm{mA}$. La section précédente a fait les mêmes lectures sur la courbe de rupture, à 37 %.

Unité de la constante de temps et preuve des lectures

Pourquoi est-ce vrai ? La dimension de τ vient de deux modèles : celui de la bobine et la loi d'Ohm. Les lectures viennent de la solution. On calcule i à l'instant τ, puis on écrit l'équation de la tangente à l'origine.

Propriété : Constante de temps : dimension et lectures graphiques

La constante de temps $\tau = \dfrac{L}{R+r}$ d'un dipôle RL a la **dimension d'un temps** et s'exprime en secondes. Sur les courbes de $i(t)$:

- à l'établissement, $i(\tau) \approx 0{,}63\, I_0$, et la tangente à l'origine coupe l'asymptote $i = I_0$ au point d'abscisse τ ;
- à la rupture, $i(\tau) \approx 0{,}37\, I_0$, et la tangente à l'origine coupe l'axe des temps au point d'abscisse τ ;
- au bout de 5τ, l'intensité diffère de sa valeur finale de moins de $1\,\%$ de I_0 : le régime permanent est pratiquement atteint.

Démonstration

Étape 1. D'après la tension aux bornes d'une bobine, $L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ est une tension : $[L] = \dfrac{[U]\cdot[T]}{[I]}$. D'après la loi d'Ohm, $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$. Donc $\left[\dfrac{L}{R}\right] = [T]$: τ est un temps.

Étape 2. À l'établissement, $i(\tau) = I_0\left(1 - e^{-1}\right)$ avec $e^{-1} \approx 0{,}37$, d'où $i(\tau) \approx 0{,}63\, I_0$. La pente de la tangente à l'origine est $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}(0) = \dfrac{I_0}{\tau}$: cette tangente a pour équation $i = \dfrac{I_0}{\tau}\,t$ et atteint I_0 en $t = \tau$.

Étape 3. À la rupture, $i(\tau) = I_0\, e^{-1} \approx 0{,}37\, I_0$. La tangente à l'origine a pour équation $i = I_0 - \dfrac{I_0}{\tau}\,t$ et s'annule en $t = \tau$.

Étape 4. On a $e^{-5} \approx 0{,}0067$: à $t = 5\tau$, l'écart à la valeur finale vaut $I_0\, e^{-5}$, moins de $1\,\%$ de I_0.

À retenir : Les deux calculs derrière les lectures de τ

- À l'instant τ, $1 - e^{-1} \approx 0{,}63$: d'où les 63 % à l'établissement ; $e^{-1} \approx 0{,}37$: d'où les 37 % à la rupture.
- La tangente à l'origine a pour pente $\dfrac{I_0}{\tau}$ en valeur absolue : elle parcourt l'écart entre valeur initiale et valeur finale en une durée τ.

Vérifie : La raison de la lecture par la tangente

Pourquoi la tangente à l'origine de $i(t)$, à l'établissement, coupe-t-elle la droite $i = I_0$ à l'instant τ ?

A. Parce que $i(\tau) \approx 0{,}63\, I_0$.
Faux.
Cette valeur porte sur la courbe, pas sur la tangente : c'est l'autre lecture.

B. Parce que sa pente vaut $\dfrac{I_0}{\tau}$.
Juste.
Juste : la droite $i = \dfrac{I_0}{\tau}\,t$ atteint I_0 en $t = \tau$; c'est l'étape 2 de la preuve.

C. Parce que le régime permanent est atteint vers 5τ.
Faux.

5τ concerne la courbe ; la tangente atteint I_0 bien avant.

D. Parce que i est continue en $t = 0$.

Faux.

La continuité donne le point de départ, pas la pente de la tangente.

Correction

L'étape 2 de la preuve calcule la pente à l'origine : $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}(0) = \dfrac{I_0}{\tau}$. La tangente a pour équation $i = \dfrac{I_0}{\tau}\,t$; elle vaut I_0 quand $t = \tau$.

Exemple : Constante de temps du montage d'étude, par trois voies

- **Unités.** $1\,\mathrm{H} = 1\,\mathrm{V\cdot s/A}$ et $1\,\Omega = 1\,\mathrm{V/A}$: le quotient d'un henry par un ohm est une seconde.
- **Calcul.** $\tau = \dfrac{0{,}40}{60} \approx 6{,}7 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}$, soit $6{,}7\,\mathrm{ms}$.
- **Lectures.** La tangente et les 63 % donnent toutes deux $\tau \approx 6{,}7\,\mathrm{ms}$ sur la courbe.

Le régime permanent est pratiquement atteint au bout de $5\tau \approx 33\,\mathrm{ms}$: l'écart à I_0 est alors inférieur à $0{,}7\,\mathrm{mA}$.

Lire la constante de temps sur une courbe

Méthode : Deux lectures graphiques de la constante de temps

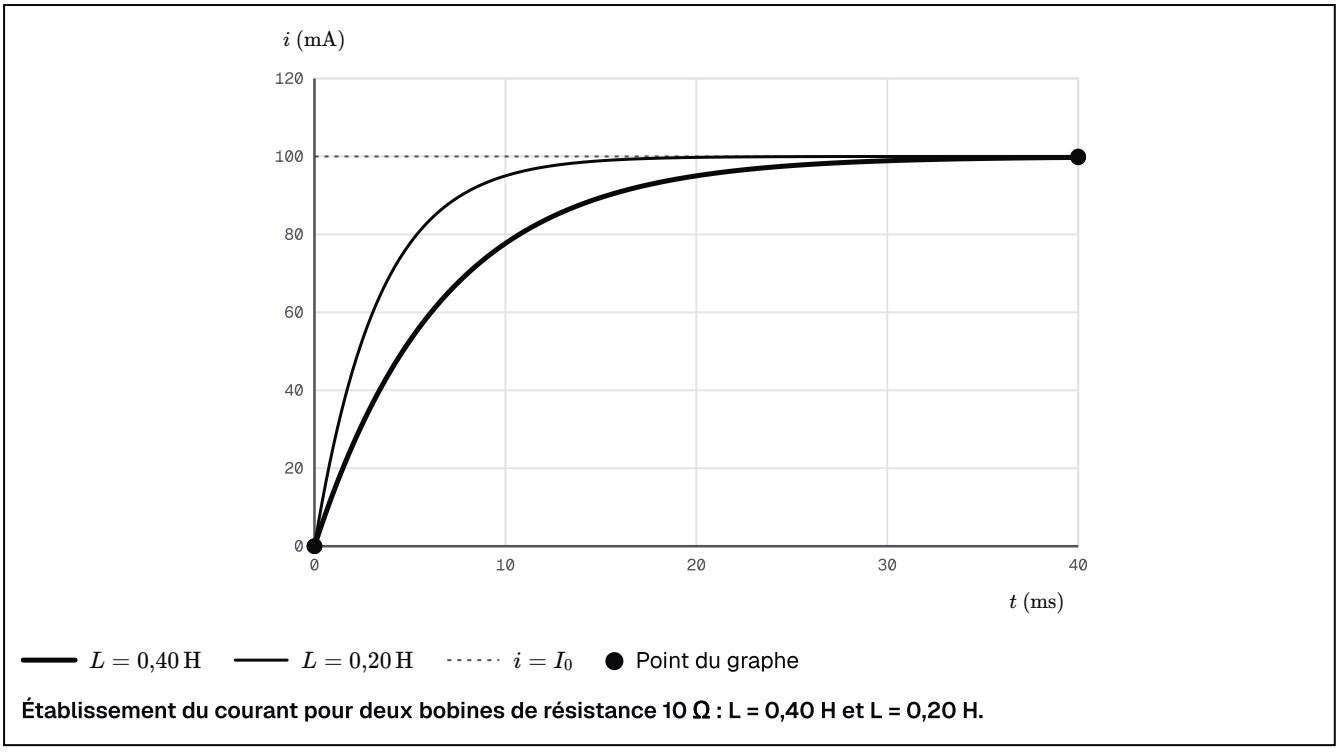
1. **Repère** la valeur initiale et la valeur finale de i : 0 et I_0 à l'établissement, I_0 et 0 à la rupture. Trace l'asymptote horizontale.
2. **Trace** la tangente à la courbe à l'origine des temps. Lis l'abscisse de son intersection avec l'asymptote, ou avec l'axe des temps à la rupture.
3. **Calcule** $0{,}63\,I_0$ à l'établissement, ou $0{,}37\,I_0$ à la rupture. Lis l'instant où la courbe atteint cette valeur.
4. **Compare** les deux lectures entre elles et à $\dfrac{L}{R+r}$. Écris le résultat avec $\approx$: une lecture graphique est approchée.

Attention : La résistance qui entre dans τ

✗ « $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{0{,}40}{50} = 8{,}0\,\mathrm{ms}$. »

✓ Le courant traverse le conducteur ohmique **et** le fil de la bobine : la résistance de la maille est $R + r$. Ici $\tau \approx 6{,}7\,\mathrm{ms}$. En oubliant r, on surestime τ d'environ 20 %, et I_0 aussi : $0{,}12\,\mathrm{A}$ au lieu de $0{,}10\,\mathrm{A}$.

Influence de l'inductance et de la résistance totale



Établissement du courant pour deux bobines de résistance 10 Ω : L = 0,40 H et L = 0,20 H.

Avec $L = 0{,}20\,\mathrm{H}$ et la même résistance totale $R + r = 60\,\Omega$:

$$\tau' = \frac{0{,}20}{60} \approx 3{,}3 \times 10^{-3}\,\mathrm{s},$$

soit $3{,}3\,\mathrm{ms}$. L'intensité permanente ne change pas : $I_0 = 0{,}10\,\mathrm{A}$. La bobine la moins inductive établit son courant le plus vite. Augmenter $R + r$ diminue aussi τ, mais diminue en même temps I_0.

À toi : Constante de temps avec un conducteur ohmique de 110 Ω

On garde la bobine $(0{,}40\,\mathrm{H} ; 10\,\Omega)$ et on remplace le conducteur ohmique de $50\,\Omega$ par un de $110\,\Omega$. Calcule τ, I_0 et la durée du régime transitoire. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1
Calcule d'abord la résistance totale de la maille.
Indice 2
La durée du régime transitoire vaut environ 5τ.
Indice 3
Point délicat : τ et I_0 changent tous les deux, contrairement au changement de bobine.

Réponse
$R + r = 120\,\Omega$. Alors $\tau = \dfrac{0{,}40}{120} \approx 3{,}3 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}$, soit $3{,}3\,\mathrm{ms}$, et

$$I_0 = \frac{6{,}0}{120} = 5{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{A}.$$

Le régime transitoire dure environ $5\tau \approx 17\,\mathrm{ms}$. Le courant s'établit deux fois plus vite, mais il est deux fois plus faible.

Énergie emmagasinée dans une bobine

D'où vient l'énergie après l'ouverture

Devine : Qui fournit l'énergie dissipée

Après l'ouverture du montage d'étude, le générateur ne fournit plus rien. Pourtant le conducteur ohmique est parcouru par un courant pendant une trentaine de millisecondes, et il chauffe. Qui fournit cette énergie ?

A. La diode de roue libre.
Faux.
Une diode idéale passante a une tension nulle : elle ne reçoit ni ne fournit d'énergie.

B. Le générateur, à travers la diode.
Faux.
L'interrupteur ouvert sépare le générateur du reste du circuit.

C. Le conducteur ohmique lui-même.
Faux.
Un conducteur ohmique reçoit de l'énergie électrique et la dissipe ; il n'en fournit pas.

D. La bobine, qui en avait emmagasiné.
Juste.
Juste : elle restitue pendant la rupture l'énergie reçue pendant l'établissement.

Correction
Pendant l'établissement, la bobine a reçu de l'énergie du générateur. Pendant la rupture, elle la rend au circuit : le courant qu'elle entretient dissipe cette énergie par effet Joule, dans R et dans r.

Pourquoi est-ce vrai ? Rappel : un dipôle traversé par le courant i sous la tension u, en convention récepteur, reçoit la puissance $p = u\,i$. Pour la bobine, on remplace u_L par son modèle. Une partie de la puissance chauffe le fil ; l'autre s'accumule. Ce second terme est la dérivée d'une énergie.

L'énergie en fonction de l'intensité

Propriété : Énergie emmagasinée dans une bobine

Une bobine d'inductance L traversée par un courant d'intensité i emmagasine l'énergie :

$$\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}\,L\,i^2.$$

Elle s'exprime en joules (J) quand L est en henrys et i en ampères. Cette énergie est emmagasinée pendant l'établissement du courant et restituée au circuit pendant sa rupture.

Démonstration

Étape 1. La puissance électrique reçue par la bobine est $p = u_L\, i$. D'après la tension aux bornes d'une bobine :

$$p = r\, i^2 + L\, i\, \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}.$$

Étape 2. Le terme $r\, i^2$ est la puissance dissipée par effet Joule dans le fil. Le terme restant est la puissance emmagasinée par la bobine.

Étape 3. Par la dérivée d'un carré, $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2}\, L\, i^2\right) = L\, i\, \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$: la puissance emmagasinée est la dérivée de $\frac{1}{2}\, L\, i^2$.

Étape 4. L'énergie emmagasinée a donc la même dérivée que $\frac{1}{2}\, L\, i^2$: elle lui est égale à une constante près. Sans courant, la bobine n'emmagasine aucune énergie : la constante est nulle, et $\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}\, L\, i^2$.

À retenir : Le terme de puissance qui s'accumule

La puissance reçue se partage en deux termes. Le terme $r\, i^2$ est perdu par effet Joule. Le terme $L\, i\, \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ est la dérivée de $\frac{1}{2}\, L\, i^2$: c'est lui qui s'accumule dans la bobine.

Vérifie : Le terme dissipé dans le fil

Dans la preuve, quel terme de la puissance reçue par la bobine est dissipé par effet Joule ?

A. $r\, i^2$

Juste.

Juste : c'est l'étape 2 de la preuve, l'effet Joule dans le fil.

B. $L\, i\, \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$

Faux.

Ce terme est la puissance emmagasinée : il s'annule en régime permanent.

C. $u_L\, i$

Faux.

C'est la puissance totale reçue par la bobine, somme des deux termes.

D. $E\, i$

Faux.

C'est la puissance fournie par le générateur au circuit entier.

Correction

L'étape 1 écrit $p = u_L\, i = r\, i^2 + L\, i\, \dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$. L'étape 2 attribue $r\, i^2$ à l'effet Joule dans le fil. Le reste est emmagasiné.

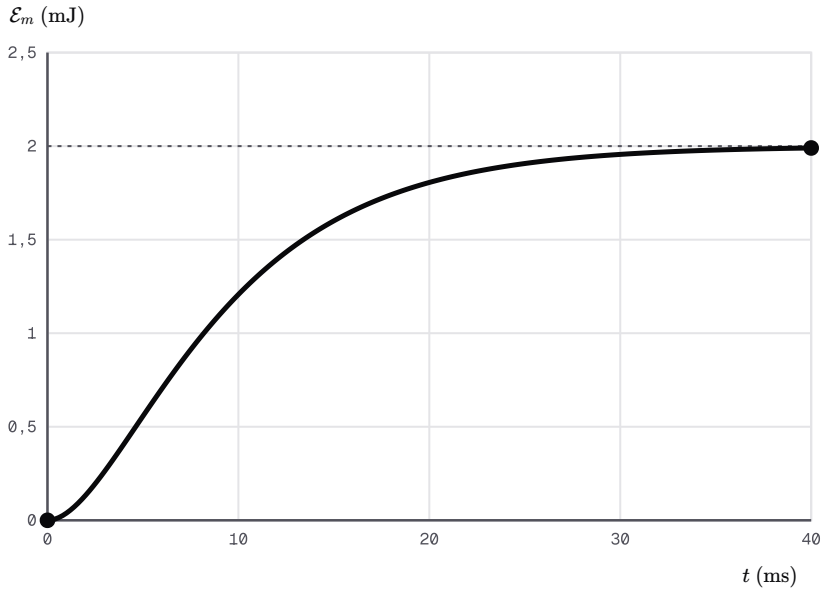
Exemple : Énergie de la bobine d'étude en régime permanent

En régime permanent, $i = I_0 = 0{,}10\ \mathrm{A}$:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_m &= \frac{1}{2}\, L\, I_0^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 0{,}40 \times 0{,}10^2 \\ &= 2{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{J} \end{aligned}$$

soit $2{,}0\ \mathrm{mJ}$. Avec la bobine de $0{,}20\ \mathrm{H}$ et le même courant, l'énergie est deux fois plus petite : $1{,}0\ \mathrm{mJ}$.

Évolution et restitution de l'énergie



Énergie emmagasinée par la bobine d'étude pendant l'établissement : elle tend vers 2,0 mJ.

À la rupture, la bobine restitue ses $2{,}0\ \mathrm{mJ}$. La diode idéale n'en reçoit rien. Le conducteur ohmique et le fil, parcourus par le même courant, dissipent l'énergie proportionnellement à leurs résistances. Dans le conducteur ohmique :

$$\begin{aligned} &\frac{R}{R+r} \times 2{,}0 = \frac{50}{60} \times 2{,}0 \\ &\approx 1{,}7\ \mathrm{mJ} \end{aligned}$$

Le fil de la bobine dissipe le reste, environ $0{,}33\ \mathrm{mJ}$.

Attention : Énergie et tension aux bornes de la bobine

✗ « À la fermeture, $u_L = E$ est maximale : la bobine contient alors le plus d'énergie. »

✓ L'énergie dépend de l'intensité, pas de la tension. À la fermeture, $i = 0$: l'énergie est nulle, alors que $u_L = 6{,}0\,\text{V}$. En régime permanent, $u_L = 1{,}0\,\text{V}$ seulement, et l'énergie est maximale, $2{,}0\,\text{mJ}$.

À toi : L'énergie emmagasinée à $t = 2\tau$

Dans le montage d'étude, $i(2\tau) \approx 0{,}086\,\text{A}$ pendant l'établissement. Calcule l'énergie emmagasinée par la bobine à cet instant, et compare-la à sa valeur finale. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1
Applique l'expression de l'énergie emmagasinée dans une bobine, avec $L = 0{,}40\,\text{H}$.
Indice 2
Élève l'intensité au carré avant de multiplier.
Indice 3
Point délicat : l'intensité vaut 86 % de I_0, mais l'énergie n'en vaut pas 86 %.

Réponse

$$\mathcal{E}_m = \frac{1}{2} \times 0{,}40 \times 0{,}086^2$$
$$\approx 1{,}5 \times 10^{-3}\,\text{J}$$

soit environ $1{,}5\,\text{mJ}$. C'est à peu près les trois quarts de $2{,}0\,\text{mJ}$, car $0{,}86^2 \approx 0{,}74$.

Étude expérimentale d'un dipôle RL

Un générateur de signaux carrés à la place de l'interrupteur

Devine : L'intérêt des signaux carrés

Au laboratoire, on remplace le générateur et l'interrupteur par un GBF qui délivre une tension en créneaux : 0, puis E, puis 0, et ainsi de suite. Quel est l'intérêt de ce choix ?

A. La constante de temps devient plus grande et se lit mieux.
Faux.
$\tau = \dfrac{L}{R+r}$ ne dépend pas du générateur.

B. La résistance du fil de la bobine n'intervient plus.
Faux.
Le courant traverse toujours le fil : r compte encore dans $R + r$.

C. Établissements et ruptures se répètent : la courbe reste stable.
Juste.

Juste : chaque créneau produit un échelon montant, puis un échelon descendant.

D. Le régime transitoire disparaît de l'écran.

Faux.

Il est toujours là, à chaque échelon : c'est lui qu'on observe.

Correction

Pendant un créneau à E, le courant s'établit. Pendant un créneau à 0, il est rompu : le GBF ferme alors la maille, comme un fil. Si chaque créneau dure au moins 5τ, chaque régime transitoire est complet. Le phénomène se répète à chaque période : l'oscilloscope en donne une image stable.

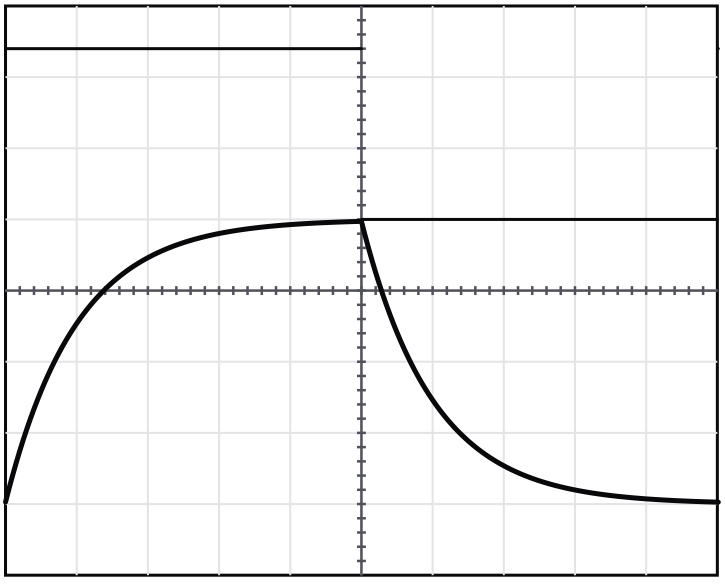
Méthode : Montage, protocole, exploitation de l'étude au GBF

Montage. Le GBF, dont la masse est reliée à celle de l'oscilloscope, alimente en série la bobine étudiée et un conducteur ohmique $R = 100\,\Omega$, placé du côté de la masse. La voie Y_1 affiche u_R ; la voie Y_2, la tension u_G du GBF.

Protocole. On règle des créneaux de 0 à E, de fréquence $50\,\mathrm{Hz}$: chaque créneau dure $10\,\mathrm{ms}$. On ajuste les sensibilités pour que la courbe occupe l'écran.

Exploitation. On lit E et le palier de u_R, puis τ. On en tire I_0, r et L, que l'on compare aux indications de la bobine.

L'écran de l'oscilloscope au GBF



Voie Y_1 (u_R) : 1 V/div, zéro 3 divisions au-dessous du centre

Voie Y_2 (u_G) : 2 V/div, zéro 1 division au-dessus du centre Balayage : 2 ms/div

Oscillogramme au GBF : u_R sur la voie Y1, créneaux u_G sur la voie Y2 ; un établissement puis une rupture.

Les sensibilités sont : $1{,}0\,\mathrm{V/div}$ pour Y_1, $2{,}0\,\mathrm{V/div}$ pour Y_2, balayage $2{,}0\,\mathrm{ms/div}$. Le zéro de Y_1 est trois divisions sous le centre.

- Le créneau de u_G s'élève de $2{,}4$ divisions : $E = 2{,}4 \times 2{,}0 = 4{,}8\,\mathrm{V}$.
- Le palier de u_R est à $4{,}0$ divisions au-dessus de son zéro : il vaut $4{,}0\,\mathrm{V}$.
- La courbe de u_R atteint $0{,}63 \times 4{,}0 \approx 2{,}5\,\mathrm{V}$ au bout d'environ $1{,}0$ division : $\tau \approx 2{,}0\,\mathrm{ms}$.

Vérifie : L'intensité en régime permanent

Quelle est l'intensité I_0 du courant en régime permanent ?

A. $I_0 = 48\,\mathrm{mA}$

Faux.
C'est $\dfrac{E}{R}$: la tension aux bornes de R n'est pas E, car la bobine en prend une partie.

B. $I_0 = 4{,}0\,\mathrm{A}$

Faux.
C'est la valeur de u_R en volts, prise pour une intensité : il faut diviser par R.

C. $I_0 = 40\,\mathrm{mA}$

Juste.
Juste : $I_0 = \dfrac{4{,}0}{100}$.

D. $I_0 = 24\,\mathrm{mA}$

Faux.
Ce nombre vient de la voie Y_2 : le palier de u_R se lit sur la voie Y_1.

Correction
En régime permanent, $u_R = R\,I_0$. Donc

$$I_0 = \frac{4{,}0}{100} = 4{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{A},$$

soit $40\,\mathrm{mA}$.

Inductance et résistance tirées de l'écran

Méthode : De l'oscillogramme de u_R à L et r

1. **Relève** les sensibilités : verticale de chaque voie, en $\mathrm{V/div}$, et horizontale, en $\mathrm{ms/div}$.
2. **Convertis** chaque lecture : divisions verticales multipliées par la sensibilité de la voie, divisions horizontales par le balayage.
3. **Calcule** $I_0 = \dfrac{u_R}{R}$ à partir du palier de u_R.
4. **Lis** τ par la tangente à l'origine ou par les 63 % du palier.

5. **Déduis** $R + r = \dfrac{E}{I_0}$, puis r, puis $L = \tau\,(R + r)$.

Exemple : Résistance et inductance de la bobine étudiée

- Résistance totale : $R + r = \dfrac{4{,}8}{4{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}2 \times 10^{2}\,\Omega$, donc $r = 20\,\Omega$.
- Inductance :

$$\begin{aligned} L &= \tau\,(R + r) \\ &\approx 2{,}0 \times 10^{-3} \times 120 \\ &\approx 0{,}24\,\mathrm{H} \end{aligned}$$

Écart à l'indication. La notice de la bobine annonce $L = 0{,}25\,\mathrm{H}$. L'écart relatif vaut

$$\frac{0{,}25 - 0{,}24}{0{,}25} = 0{,}04,$$

soit 4 %. Il vient des lectures sur l'écran, au dixième de division près, de la tolérance de R et de la résistance interne du GBF, négligée ici. Un écart de quelques pour cent est donc attendu.

Exploiter un second enregistrement

À toi : Résistance et inductance d'une seconde bobine

On étudie une autre bobine avec le même conducteur ohmique, $R = 100\,\Omega$. On règle $E = 6{,}0\,\mathrm{V}$ et une fréquence de $10\,\mathrm{Hz}$. Le palier de u_R vaut $5{,}0\,\mathrm{V}$, et la lecture des 63 % donne $\tau \approx 5{,}0\,\mathrm{ms}$. Calcule I_0, r et L. Écris ta réponse avant de dévoiler la correction.

Indice 1
Commence par $I_0 = \dfrac{u_R}{R}$, au palier.

Indice 2
La résistance totale vaut $\dfrac{E}{I_0}$; retranche R pour obtenir r.

Indice 3
Point délicat : convertis τ en secondes avant de calculer L.

Réponse
$I_0 = \dfrac{5{,}0}{100} = 5{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{A}$. Puis $R + r = \dfrac{6{,}0}{5{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}2 \times 10^{2}\,\Omega$, donc $r = 20\,\Omega$. Enfin :

$$\begin{aligned} L &\approx 5{,}0 \times 10^{-3} \times 120 \\ &\approx 0{,}60\,\mathrm{H} \end{aligned}$$

Ce qu'il faut savoir faire.

- écrire $u_L = r\,i + L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ en convention récepteur, et mesurer L avec une tension triangulaire ;

- utiliser la continuité de l'intensité et expliquer le rôle de la diode de roue libre ;
- établir l'équation différentielle, à l'établissement et à la rupture, puis vérifier sa solution ;
- calculer et lire τ, et exploiter un oscillogramme ;
- calculer l'énergie emmagasinée dans une bobine.

Le mot du prof. Au chapitre suivant, tu associes une bobine et un condensateur : c'est le circuit RLC.

SOURCES

Référentiel BURHAN du chapitre « Dipôle RL » (2bac · pc · physique-chimie)