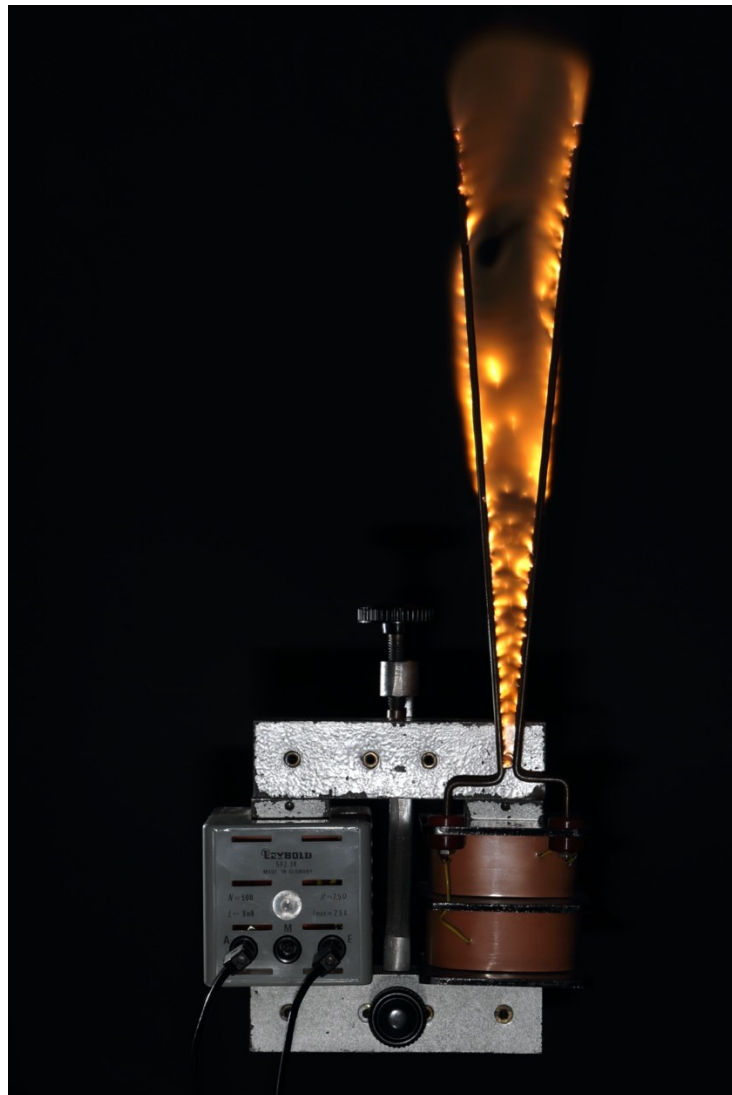


# 8.

## Induction électromagnétique



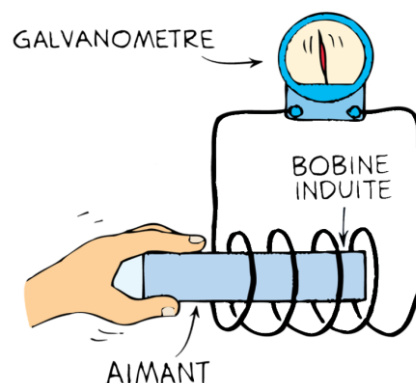
## Sommaire

1	Expérience de Faraday .....	1
2	Cause du phénomène d'induction électromagnétique .....	2
2.1	Définition du flux magnétique .....	2
2.2	Expression du flux magnétique dans le cas d'un champ magnétique uniforme .....	2
2.3	Interprétation de Faraday .....	3
3	Loi de Lenz .....	3
4	Loi de Faraday .....	4
5	Applications techniques .....	5
5.1	L'alternateur.....	5
5.2	Le transformateur .....	7
5.2.1	Principe de fonctionnement.....	7
5.2.2	Loi du transformateur .....	8
5.2.3	Conservation de l'énergie .....	8
5.2.4	Transmission de puissance électrique .....	9
6	Pour en savoir plus .....	10
7	Exercices.....	12

## 1 Expérience de Faraday

L'expérience d'Oersted avait montré que tout courant électrique crée un champ magnétique. En 1831, deux physiciens, Michael Faraday en Angleterre et Joseph Henry aux Etats-Unis, découvrirent indépendamment qu'un champ magnétique peut également créer un courant électrique. Leur découverte allait changer le monde en permettant d'alimenter les habitations en électricité.

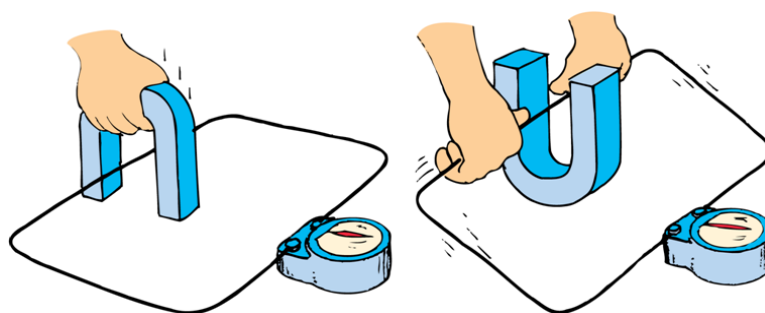
Considérons un circuit fermé constitué d'une bobine connectée à un galvanomètre, sans source de tension. Lorsqu'un aimant est plongé à l'intérieur de la bobine, on peut observer une impulsion de courant électrique dans le circuit. Dès que l'aimant s'immobilise à l'intérieur de la bobine, le courant électrique s'annule. En retirant l'aimant de la bobine, on observe de nouveau une impulsion de courant électrique, mais cette fois dans le sens inverse.



Conclusion :

Toute variation du champ magnétique à travers un circuit y induit une tension électrique  $e$ . Ce phénomène est appelé **induction électromagnétique**. Si le circuit est fermé, la tension induite y fait circuler un courant induit  $i$ .

On peut donc générer une tension électrique sans pile ou autre source de tension, simplement en variant le champ magnétique à l'intérieur d'une spire :



La f.é.m. induite apparaît dès qu'il y a un mouvement relatif entre l'induit (la spire) et l'inducteur (l'aimant). Que l'aimant soit inséré dans la spire ou que le fil de la spire soit inséré entre les branches de l'aimant est sans importance. Les observations sont les mêmes pour le même mouvement relatif. Sans mouvement relatif, le courant induit s'annule.

### ■ As-tu-compris ?

- 1) Faraday a découvert qu'une f.é.m. induite est produite par...
  - A. un champ magnétique
  - B. un champ magnétique variable
  - C. un champ électrique
  - D. un champ électrique variable
- 2) Quelle est la relation entre la fréquence de la f.é.m. induite dans une bobine et la fréquence à laquelle un aimant est plongé et ressorti de la bobine.

## 2 Cause du phénomène d'induction électromagnétique

### 2.1 Définition du flux magnétique

Faraday a découvert que du courant induit circule dans l'induit dès que le nombre de lignes de champ magnétique à travers la surface délimitée par le circuit induit varie. Afin de caractériser ce nombre, Faraday introduit une nouvelle grandeur physique, le *flux magnétique*.

Le **flux magnétique**  $\Phi$  à travers une surface est une mesure du nombre de lignes de champ magnétique qui la traversent.

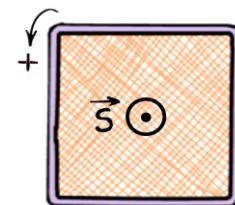
### 2.2 Expression du flux magnétique dans le cas d'un champ magnétique uniforme

Le flux magnétique est proportionnel

- à l'intensité  $B$  du champ magnétique uniforme ;
- à la surface délimitée  $S$  par le circuit.

Puisque le flux magnétique dépend également de l'orientation du circuit par rapport à  $\vec{B}$ , on introduit le *vecteur surface*  $\vec{S}$ , dont les caractéristiques sont les suivantes :

1. *Origine* : le centre de la surface
2. *Direction* : perpendiculaire à la surface
3. *Sens* : On choisit un sens arbitraire positif sur le circuit.  
Le sens de  $\vec{S}$  est donné par la règle de la main droite.
4. *Norme* :  $S = \text{aire de la surface (en m}^2\text{)}$

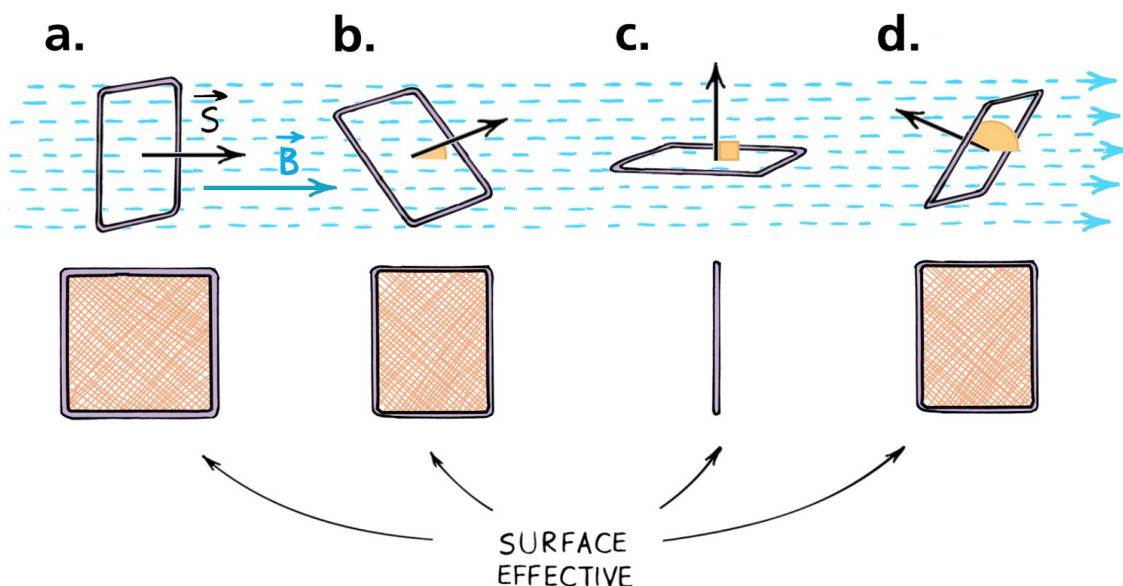


Soit  $\alpha$  est l'angle formé par le vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  et le vecteur surface  $\vec{S}$ . Alors l'expression du flux magnétique à travers la surface s'écrit :

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

L'unité SI du flux magnétique :  $[\Phi] = 1\text{T} \cdot 1\text{m}^2 = 1\text{Tm}^2 = \mathbf{1\text{weber}} = 1\text{Wb}$

Considérons le flux magnétique à travers un cadre qui est orienté de différentes manières à l'intérieur d'un champ magnétique uniforme :



- a.  $\alpha = 0^\circ : \Phi = B \cdot S \cdot \cos 0^\circ = B \cdot S \cdot 1 = B \cdot S = \Phi_{max}$
- b.  $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ : \Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha > 0$
- c.  $\alpha = 90^\circ : \Phi = B \cdot S \cdot \cos 90^\circ = B \cdot S \cdot 0 = 0$
- d.  $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ : \Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha < 0$

Si le circuit est constitué de  $N$  spires, chacune de vecteur surface  $\vec{S}$ , les lignes de champ traversent une surface  $N$  fois plus grande, de sorte que :

$$\Phi = N \cdot \vec{B} \cdot \vec{S} = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

### 2.3 Interprétation de Faraday

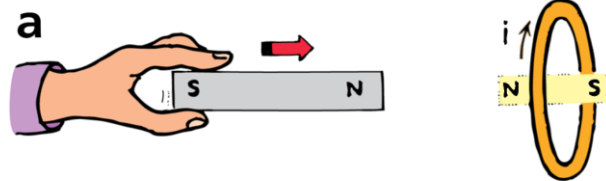
De manière générale, Faraday a formulé la cause du phénomène de l'induction électromagnétique de la manière suivante :

Toute **variation** du flux magnétique à travers un circuit fermé y induit un courant.

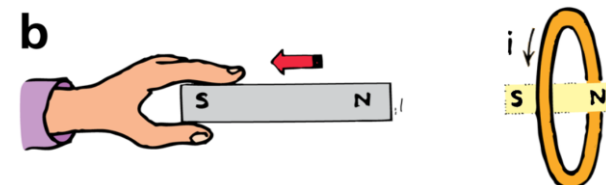
## 3 Loi de Lenz

Le courant induit a un sens tel qu'il s'oppose à la variation du flux magnétique.

- a. Si l'aimant est plongé dans la spire, le courant induit crée un flux magnétique induit qui s'oppose à l'augmentation du flux dans la spire.



- b. Si l'aimant est retiré de la spire, le courant induit crée un flux magnétique induit qui s'oppose à la diminution du flux magnétique dans la spire.

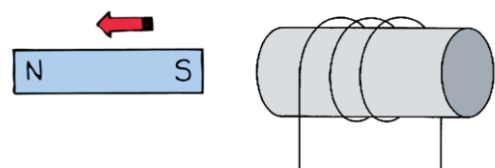


- c. Lorsqu'on plonge un aimant dans une bobine, la bobine induite est parcourue par un courant induit et devient ainsi un électroaimant. D'après la loi de Lenz, cet électroaimant repousse l'aimant. Il faut donc effectuer un travail pour plonger l'aimant dans la bobine. En vertu du principe de la conservation de l'énergie, ce travail fourni est un mode de transformation d'énergie mécanique en énergie électrique dans le circuit induit. La loi de Lenz est donc une conséquence du principe de la conservation de l'énergie.



■ **As-tu-compris ?**

- 3) Indiquer, en justifiant, le sens du courant induit dans la bobine. Quel est l'effet du noyau de fer qui se trouve dans la bobine ?

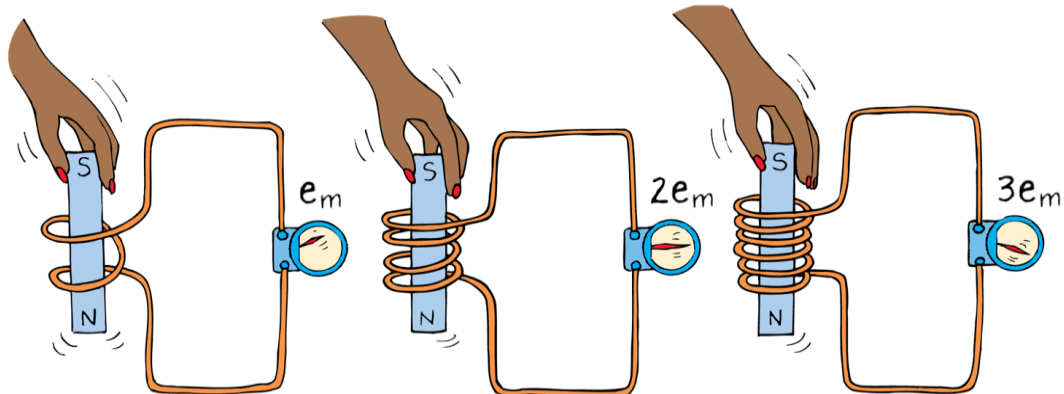


## 4 Loi de Faraday

La f.é.m. induite moyenne  $e_m$  dans un circuit est l'opposé de la variation du flux magnétique par unité de temps :

$$e_m = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Lorsqu'un aimant est plongé de manière identique dans une bobine avec deux fois plus de spires (mais de même vecteur surface), la f.é.m. induite moyenne est deux fois plus grande. Si l'aimant est plongé dans une bobine avec trois fois plus de spires, la f.é.m. induite est trois fois plus grande.



### Remarques

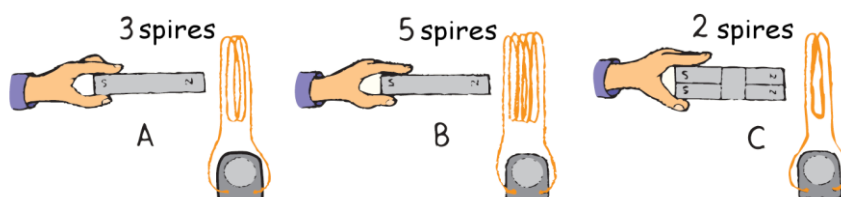
- Le signe négatif dans la loi de Faraday signifie que le sens de la f.é.m. induite est tel que le courant induit s'oppose à la variation du flux magnétique (loi de Lenz).
- La constante de proportionnalité dépend des unités utilisées. Dans le système international (SI), on a convenu qu'elle vaut 1 :

$$\frac{\text{Wb}}{\text{s}} = \frac{\text{T} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A} \cdot \text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V}$$

- L'intensité du courant induit ne dépend pas uniquement de la f.é.m. induite, mais également de la résistance du circuit induit<sup>1</sup>. Par exemple, on peut plonger de manière identique un aimant dans une spire en verre et une spire en cuivre de même surface. La f.é.m. induite est identique dans les deux cas. En revanche, le courant induit dans la spire en verre est nul à cause de la très grande résistance du verre.

### ■ As-tu-compris ?

- 4) Trois aimants sont introduits de manière identique dans les bobines illustrées ci-dessous. Ranger par ordre croissant les tensions induites dans les bobines.



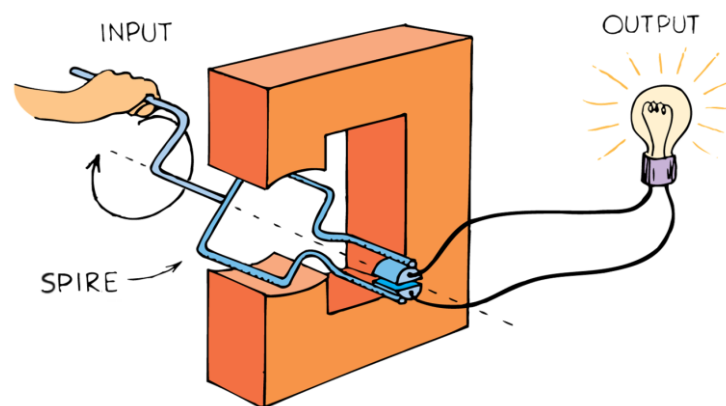
<sup>1</sup> L'intensité du courant induit dépend également de l'*inductance* de la bobine induite, c'est-à-dire de sa tendance à s'opposer à une variation de courant. Nous n'aborderons pas ce sujet dans ce cours.

## 5 Applications techniques

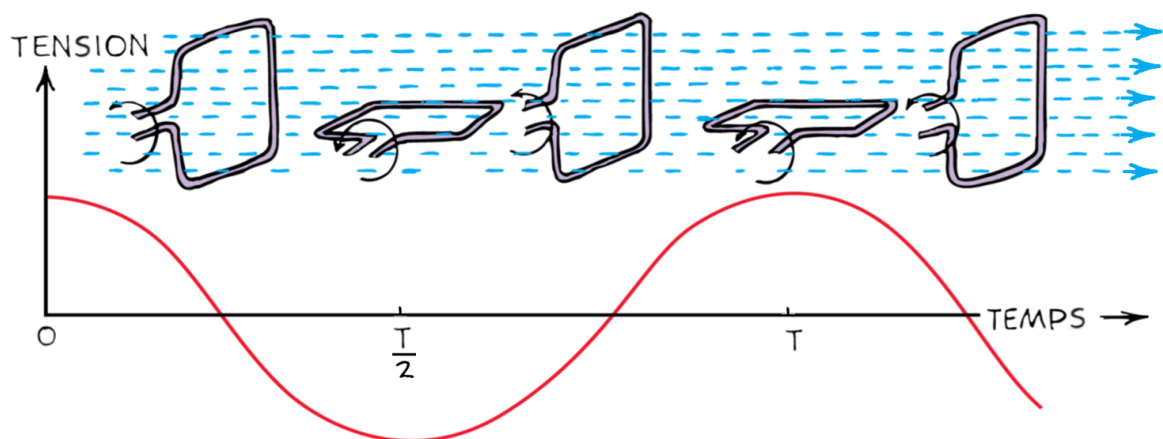
### 5.1 L'alternateur

Lorsqu'on approche et retire un aimant d'une spire de manière répétitive, le sens du courant induit dans la spire alterne. La fréquence de la tension alternative induite dans la spire est égale à la fréquence du mouvement de va-et-vient de l'aimant.

On peut induire une tension dans la spire en la tournant dans un champ magnétique stationnaire. Un tel dispositif est appelé **générateur de courant alternatif** ou simplement **alternateur** (à induit mobile). Le dispositif est identique à celui d'un moteur électrique, mais les rôles d'*input* et d'*output* sont inversés. Dans un moteur électrique, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique. Dans un alternateur, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.



Considérons le cycle d'induction lors d'un tour de rotation de la spire dans un champ magnétique uniforme :



- Lorsque le vecteur surface de la spire est parallèle aux lignes de champ magnétique, le flux magnétique à travers la spire est maximal (en valeur absolue). Le taux de variation instantanée du flux magnétique (et donc la f.é.m. induite) est en revanche nulle dans cette position.
- Lorsque le vecteur surface est perpendiculaire aux lignes de champ, le flux magnétique est nul. Le taux de variation instantanée du flux magnétique est en revanche maximale (en valeur absolue) dans cette position.
- Une rotation uniforme de la spire fait augmenter et diminuer la f.é.m. induite aux bornes de la spire de manière sinusoïdale. La f.é.m. induite dans l'alternateur est une tension alternative.

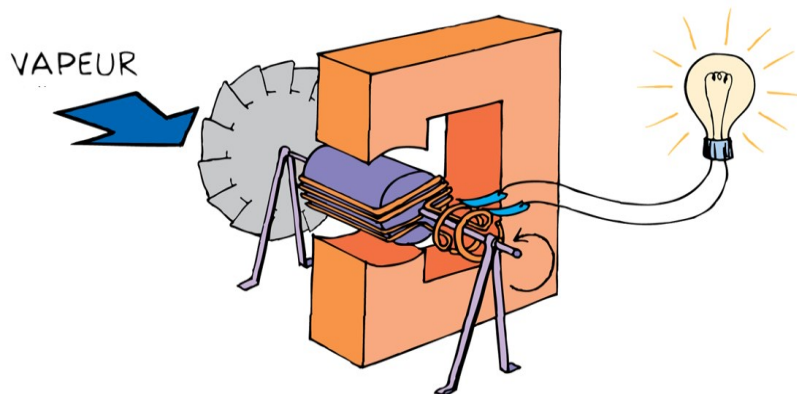
Le courant induit dans l'alternateur est du courant alternatif (AC « *alternating current* »). Le courant du secteur passe par 50 cycles par seconde – il a une fréquence de 50 Hz.

Les générateurs industriels utilisés dans les centrales électriques sont plus complexes. D'énormes bobines constituées d'un très grand nombre de spires enveloppent un noyau de fer (rotor). Ils tournent dans un champ magnétique très intense créé par de puissants électroaimants.

Dans les alternateurs à induit fixe, le rotor est un électroaimant qui est constitué de plusieurs bobines inductrices et le stator est un électroaimant fixe qui est constitué de plusieurs bobines dans lesquels sont induits une tension.

<https://www.tecnipass.com/cours-electricite-courant.triphase-intro.puissance.tri>

Le rotor de l'alternateur est connecté à une **turbine**. L'énergie cinétique du vent ou de l'eau peut être utilisée pour faire tourner la turbine. La plupart des générateurs industriels sont entretenus par de la vapeur d'eau. Un combustible fossile ou nucléaire est utilisé comme source d'énergie pour chauffer de l'eau et créer de la vapeur qui fait tourner la turbine. Une partie de l'énergie de la source est donc transformée en énergie mécanique de la turbine. Le générateur transforme la plupart de cette énergie en énergie électrique.



Un alternateur et un moteur électrique sont des machines réversibles : en échangeant les rôles d'input et d'output, un alternateur peut fonctionner en tant que moteur électrique et vice-versa.

Cette réversibilité est par exemple utilisée par une voiture électrique :

- Lorsque de la puissance est requise pour accélérer la voiture ou monter une colline, le dispositif tire du courant d'une batterie et agit en tant que moteur. De l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique et le rotor tourne.
- En freinant ou en descendant une colline, les roues exercent un moment de force sur le rotor et le font tourner. Le dispositif agit en tant que générateur et recharge la batterie. De l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

#### ■ As-tu compris ?

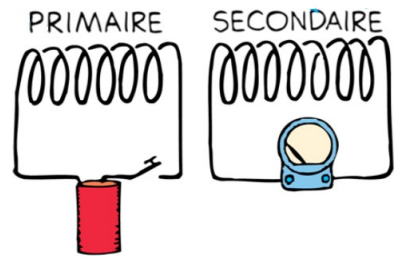
- 5) Quelles sont la principale similitude et la principale différence entre un moteur électrique et un alternateur ?
- 6) Pourquoi un alternateur est-il plus difficile à tourner lorsqu'il est connecté à un récepteur ?
- 7) Est-ce que la f.é.m. induite dans la bobine de l'alternateur est augmentée si l'alternateur tourne plus rapidement ? Justifier.



## 5.2 Le transformateur

### 5.2.1 Principe de fonctionnement

On sait que de l'énergie électrique peut être transportée par un courant électrique à travers un câble. Or, elle peut également être transportée d'un circuit électrique vers un autre, sans aucun contact entre les deux. Un tel dispositif est illustré ci-contre. Le circuit connecté à la source de tension est appelé *primaire (input)*; le circuit connecté au galvanomètre est appelé *secondaire (output)*.



#### Observations :

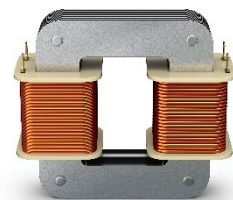
Si l'interrupteur dans le primaire est fermé, une impulsion de courant est mesurée dans le secondaire. Si l'interrupteur est à nouveau ouvert, une nouvelle impulsion de courant circule dans le secondaire, cette fois dans le sens inverse.

#### Explications :

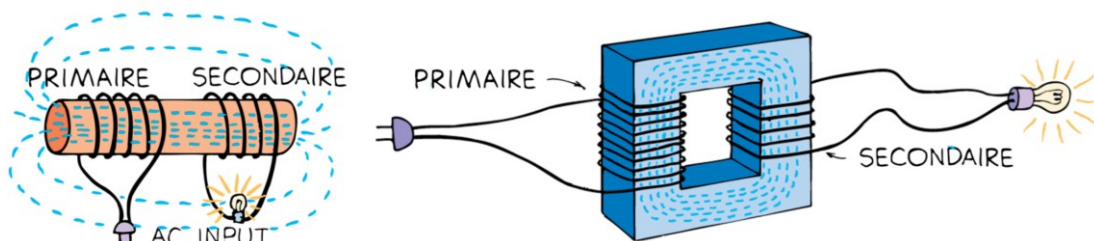
Un champ magnétique intense est créé dans l'axe de la bobine primaire lorsque l'interrupteur est fermé. La bobine primaire subit donc une forte et rapide augmentation du flux magnétique. Or, comme les deux bobines sont face à face, la bobine secondaire subit également une forte variation du flux magnétique et, d'après la loi de Faraday, une tension  $y$  est induite. Cette f.é.m. induite est de courte durée, car dès que le courant et le champ magnétique du primaire atteignent leurs valeurs finales (et ne varient plus), la f.é.m. induite dans le secondaire s'annule. Lorsque l'interrupteur est à nouveau ouvert, le courant dans le primaire tombe à zéro. Le flux magnétique dans la bobine secondaire diminue, induisant de nouveau une tension.

#### Améliorations pratiques :

- Lorsqu'on relie les bobines avec un **noyau de fer**, le champ magnétique dans la bobine primaire est intensifié par l'alignement des domaines magnétiques dans le fer. Outre cette intensification, le fer canalise le champ jusqu'à l'intérieur de la bobine secondaire. La variation du flux magnétique  $y$  est plus importante et les impulsions de courant induit sont plus intenses. Si le noyau de fer forme une boucle, alors toutes les lignes de champ magnétique restent canalisées dans le noyau de fer.
- Au lieu de fermer et d'ouvrir l'interrupteur de manière répétitive, il est plus pratique d'utiliser une source de **tension alternative** dans le primaire. Le courant alternatif (AC) crée un champ magnétique dont le sens et l'intensité varient en permanence. La fréquence des variations du flux magnétique est égale à la fréquence du courant alternatif induit.

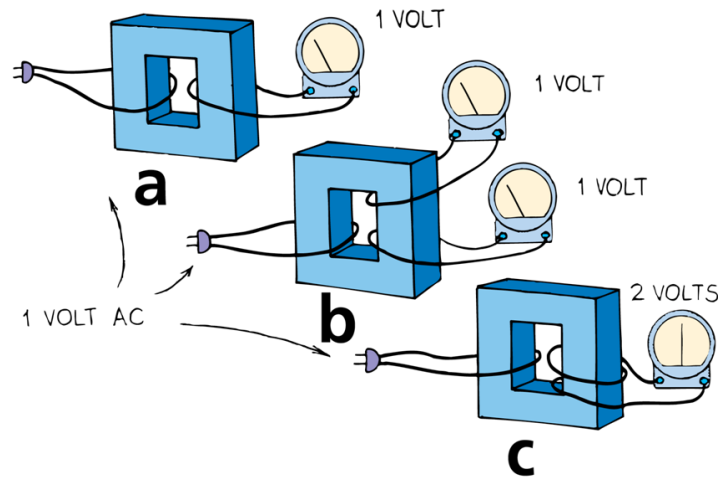


Comme nous l'allons voir, l'amplitude de la tension peut être modifiée du primaire au secondaire. Voilà pourquoi ce dispositif est appelé **transformateur**.



### 5.2.2 Loi du transformateur

- Si la bobine primaire et la bobine secondaire ont le même nombre de spires, les tensions alternatives efficaces<sup>2</sup> aux bornes des deux bobines sont identiques (figure a).
- Si le nombre de spires dans la bobine secondaire est plus grand que le nombre de spires dans la bobine primaire ( $N_2 > N_1$ ), alors la tension alternative efficace induite aux bornes de la bobine secondaire est plus grande que tension alternative efficace induite aux bornes de la bobine primaire ( $U_2 > U_1$ ). C'est un **transformateur élévateur**. (figures b et c).
- Si  $N_2 < N_1$ , alors  $U_2 < U_1$ . C'est un **transformateur réducteur**.



La relation entre les tensions efficaces primaire et secondaire et le nombre respectif de spires s'écrit :

$$\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2}{N_2}$$

Le rapport du nombre de spires dans la bobine primaire et la bobine secondaire détermine de facteur de multiplication de la tension.

### 5.2.3 Conservation de l'énergie

Il pourrait sembler qu'un transformateur permet de produire de l'énergie électrique. Or, un transformateur ne fait que transférer l'énergie électrique du primaire au secondaire et le principe de la conservation de l'énergie reste évidemment valable.

Si on néglige les pertes par effet Joule (transformateur idéal), alors la puissance électrique reçue du primaire est égale à la puissance électrique fournie par le secondaire :

Puissance électrique primaire = Puissance électrique secondaire

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

- Si la tension secondaire est plus grande que la tension primaire (transformateur élévateur), le courant induit secondaire sera moins intense que le courant primaire.
- Inversement, si la tension secondaire est plus petite que la tension primaire (transformateur réducteur), le courant induit secondaire sera plus intense que le courant primaire.

<sup>2</sup> Dans la section 6.2 du chapitre « Pour en savoir plus », on explique la notion de tension efficace.

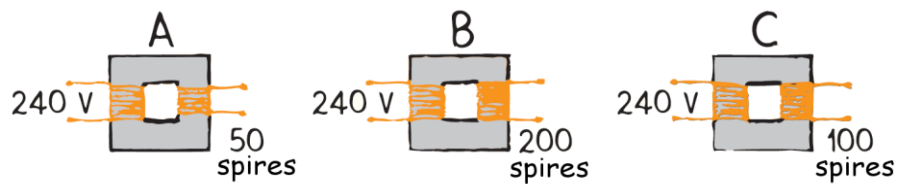
### 5.2.4 Transmission de puissance électrique

La simplicité pratique pour élever ou réduire la tension électrique à l'aide d'un transformateur est la raison principale pour laquelle le réseau électrique fonctionne avec du courant alternatif (AC) plutôt qu'avec du courant continu (DC « *direct current* »). La puissance électrique est transmise sur de grandes distances par des lignes sous haute tension, mais à travers lesquelles circule un courant de faible intensité. Ceci permet de réduire les pertes d'énergie par effet Joule. La puissance électrique est ensuite réduite en plusieurs étapes pour finalement devenir 230 V aux bornes des prises domestiques. À chaque étape, l'énergie est transférée d'un circuit électrique à un autre par induction électromagnétique.



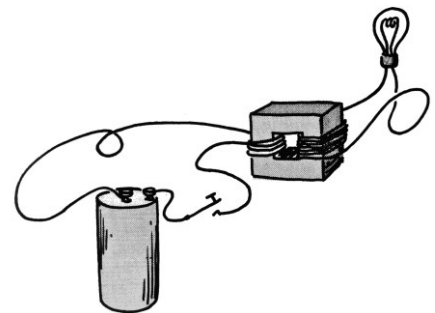
#### ■ As-tu compris

- 9) Chacun des transformateurs est alimenté par une puissance électrique de 100 W, et tous ont 100 spires dans le primaire. Le nombre de spires dans le secondaire varie comme indiqué.



Ranger par ordre décroissant :

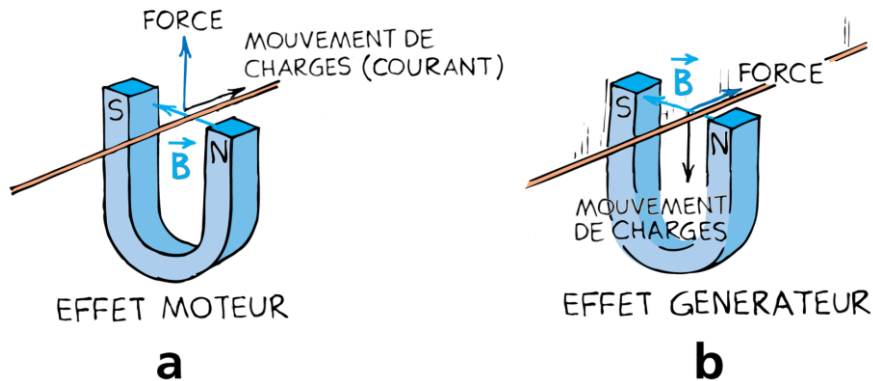
- Les tensions induites dans les secondaires.
  - Les intensités de courant dans les secondaires.
  - Les puissances électriques fournies par les secondaires.
- 10) Une lampe est connectée à une pile via un transformateur. L'interrupteur est d'abord fermé, puis ouvert peu de temps après. Laquelle des affirmations suivantes est correcte ? Justifier.
- La lampe brille pendant que l'interrupteur est fermé.
  - La lampe ne brille pas du tout.
  - La lampe ne brille que brièvement lorsque l'interrupteur est fermé.
  - La lampe ne brille que brièvement lorsque l'interrupteur est ouvert.
  - La lampe brille brièvement lorsque l'interrupteur est fermé et lorsque l'interrupteur est ouvert.



## 6 Pour en savoir plus

### Effet moteur et effet générateur

La réversibilité d'un moteur électrique et d'un alternateur s'explique par le fait qu'un moteur électrique et un alternateur fonctionnent selon le même principe, à savoir que des charges en mouvement subissent une force de Lorentz, orientée perpendiculairement à leur mouvement et au champ magnétique qu'ils traversent.



- Un courant électrique circule dans un câble qui traverse un champ magnétique. Les charges en mouvement subissent une force de Lorentz vers le haut. Puisque les charges ne peuvent pas quitter le câble, ils entraînent le câble entier vers le haut. C'est l'**effet moteur**.
- Un câble est introduit dans un champ magnétique. Les charges dans le câble subissent une force de Lorentz perpendiculaire à leur mouvement, c'est-à-dire le long du câble. Ce déplacement orienté des charges dans le câble est un courant électrique. C'est l'**effet générateur**.

### Courant alternatif et valeurs efficaces

Une source de tension continue (par exemple une pile) crée un courant continu (DC). Le mouvement des électrons libres est orienté tout le temps dans le même sens à travers le circuit électrique. Même si le courant n'est pas constant, tant qu'il circule dans le même sens, le courant est DC.

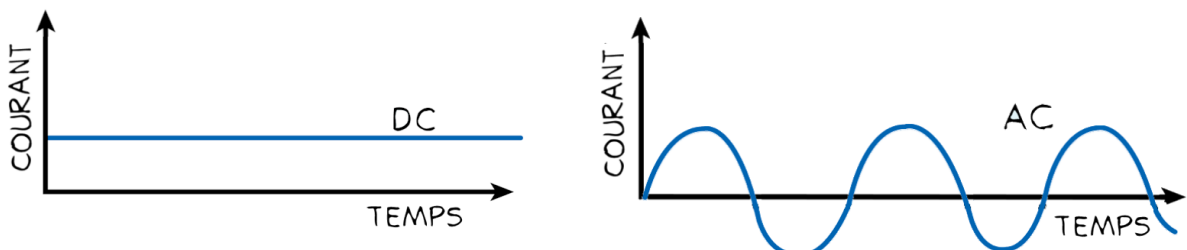
Une source de tension alternative (par exemple un alternateur) crée à ses bornes une tension alternative sinusoïdale

$$u = u_{max} \sin(2\pi ft)$$

qui crée à travers une résistance ohmique  $R$  un courant alternatif (AC) sinusoïdal

$$i = \frac{u}{R} = i_{max} \sin(2\pi ft)$$

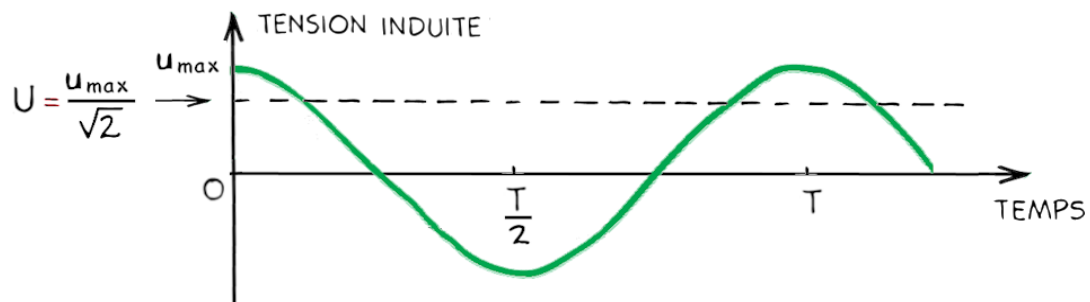
Les électrons libres effectuent des oscillations autour d'une position moyenne relativement fixe.



En définissant la **tension efficace**  $U = \frac{u_{max}}{\sqrt{2}}$  et l'**intensité de courant efficace**  $I = \frac{i_{max}}{\sqrt{2}}$ , la puissance consommée par la résistance s'écrit  $P_{él} = U I$ .

Une tension alternative de valeur efficace  $U$  et un courant alternatif de valeur efficace  $I$  transforment la même puissance électrique qu'une tension continue de valeur  $U$  et un courant continu de valeur  $I$ . Dans les deux cas, on a :  $P_{él} = U I$ .

En courant alternatif, un voltmètre et un ampèremètre indiquent toujours des valeurs efficaces.



La tension aux bornes des prises domestiques en Europe est une tension alternative de valeur maximale aux alentours de 325 V, soit une valeur efficace égale à  $U = \frac{325 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V}$ .



Le sens du courant électrique dans les câbles alterne avec une fréquence de 50 Hz, c'est-à-dire que les électrons libres changent de sens de circulation toutes les 1/100 secondes.

Aux États-Unis, la tension aux bornes des prises domestiques est une tension alternative de valeur efficace égale à 120 V. Le sens du courant électrique dans les câbles vibre avec une fréquence de 60 Hz, c'est-à-dire que les électrons libres changent de sens de circulation toutes les 1/120 secondes.

Le courant qui sort des prises de la maison est AC. Le courant dans un dispositif qui fonctionne avec une batterie, tel qu'un ordinateur ou téléphone portable, est DC. Avec un convertisseur AC/DC, on peut faire fonctionner un tel dispositif en le branchant aux prises AC.

## 7 Exercices

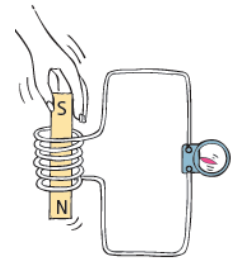
### Induction

1. Quel est la dimension de l'unité du flux magnétique ?
  - A.  $1 \text{ Wb} = 1 \text{ A} \cdot \text{m}^2$
  - B.  $1 \text{ Wb} = 1 \text{ A} \cdot \text{m}$
  - C.  $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$
  - D.  $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}$
  - E.  $1 \text{ Wb} = 1 \text{ A} \cdot \text{T}$
2. Si on laisse tomber un aimant dans un long tuyau vertical en cuivre, il tombe plus lentement qu'un objet non magnétique. Expliquer. Pourquoi l'expérience ne fonctionne pas si on utilise un tuyau en verre ?
3. Les têtes de lecture (« pickups ») d'une guitare électrique consistent en des bobines enroulées autour d'aimants permanents. Les aimants magnétisent les cordes en acier de la guitare. Quand les cordes vibrent, une tension est induite dans les bobines. La tension est ensuite accrue par un amplificateur et du son est produit par un haut-parleur. Pourquoi une guitare électrique ne fonctionne-t-elle pas avec des cordes en nylon ?
4. À l'aéroport, avant de pouvoir monter dans l'avion, les passagers doivent passer à travers une porte de sécurité. Celle-ci consiste en une grande bobine traversée par un champ magnétique alternatif de faible intensité. Que se passe-t-il si un passager dispose d'un petit objet en fer (tel qu'un couteau) qui fait varier le flux magnétique à travers la bobine ?
5. Lorsqu'un véhicule roule au-dessus d'une bobine encastrée sous la route, le champ magnétique à travers la bobine varie. Pourquoi ? Peux-tu donner une application pratique de ce dispositif dans le réglage du trafic ?
6. Si tu places un anneau métallique dans une région où règne un champ magnétique qui alterne rapidement, l'anneau va devenir chaud au toucher. Pourquoi ? En donner une application pratique.
7. Un fil est enroulé en une seule spire fermée et un aimant est plongé dans la spire. Une tension est induite et un courant induit circule dans le fil. Un second fil, deux fois plus long, est déformé en deux spires. L'aimant est plongé de manière identique dans les spires. La f.é.m. induite vaut le double, mais le courant induit reste identique à celui dans la spire individuelle. Pourquoi ?
8. On introduit un aimant droit à l'intérieur d'une bobine reliée à un voltmètre. Laquelle des affirmations est fausse ?
  - A. La valeur de la f.é.m. induite dépend de l'aimant utilisé.
  - B. La valeur de la f.é.m. induite dépend de la nature du pôle introduit dans la bobine.
  - C. La valeur de la f.é.m. induite dépend de la vitesse avec laquelle l'aimant est introduit dans la bobine.
  - D. La valeur de la f.é.m. induite dépend du nombre de spires de la bobine.

9. On déplace un aimant vers l'intérieur d'une bobine, puis on laisse l'aimant au repos à l'intérieur de la bobine, puis on retire de nouveau l'aimant hors de la bobine. Un ampèremètre est en outre reliée à la bobine.

Laquelle des affirmations est correcte ?

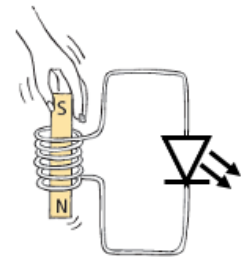
- A. On a un courant induit quand on déplace l'aimant vers la bobine.
- B. On a un courant induit quand l'aimant est au repos à l'intérieur de la bobine.
- C. On a un courant induit quand on éloigne l'aimant de la bobine.
- D. On a un courant induit lors des deux mouvements.
- E. On a un courant induit pendant tout le temps.



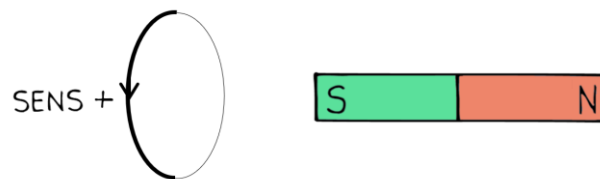
10. On déplace un aimant vers l'intérieur d'une bobine, puis on laisse l'aimant au repos à l'intérieur de la bobine, puis on retire de nouveau l'aimant hors de la bobine. Une LED est en outre reliée à la bobine.

Laquelle des affirmations est correcte ?

- A. La LED brille quand on déplace l'aimant vers la bobine.
- B. La LED brille quand l'aimant est au repos à l'intérieur de la bobine.
- C. La LED brille quand on éloigne l'aimant de la bobine.
- D. La LED brille lors des deux mouvements.
- E. La LED brille tout le temps.

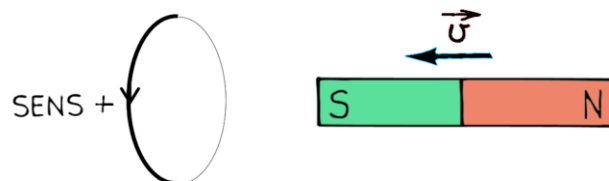


11. L'aimant représenté est au repos à proximité d'une spire conductrice. Laquelle des affirmations est correcte ?



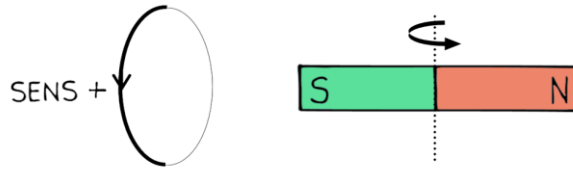
- A. Il n'apparaît aucun courant induit dans la spire.
- B. Il apparaît un courant induit dans la spire qui circule dans le sens positif.
- C. Il apparaît un courant induit dans la spire qui circule dans le sens négatif.
- D. Il apparaît un courant induit qui change continuellement de sens.

12. On approche l'aimant de la spire. Laquelle des affirmations est correcte ?



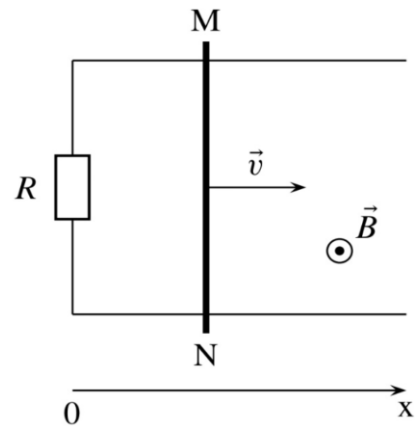
- A. Il n'apparaît aucun courant induit dans la spire.
- B. Il apparaît un courant induit dans la spire qui circule dans le sens positif.
- C. Il apparaît un courant induit dans la spire qui circule dans le sens négatif.
- D. Il apparaît un courant induit qui change continuellement de sens pendant le mouvement de l'aimant.

13. L'aimant effectue un mouvement circulaire uniforme à proximité de la spire. Laquelle des affirmations est correcte ?

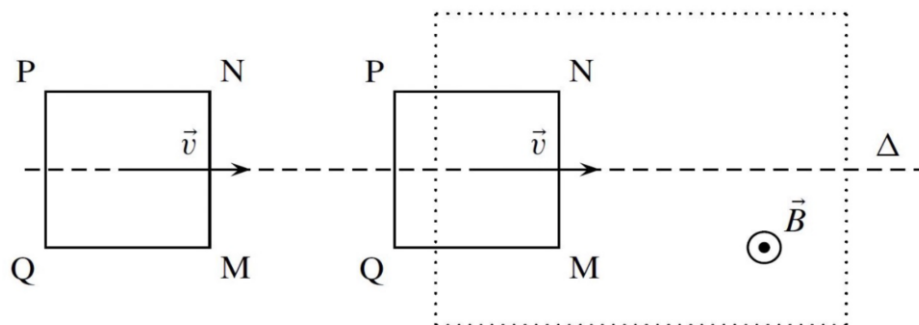


- A. Il n'apparaît aucun courant induit dans la spire.  
 B. Il apparaît un courant induit dans la spire qui circule dans le sens positif.  
 C. Il apparaît un courant induit dans la spire qui circule dans le sens négatif.  
 D. Il apparaît un courant induit qui change continuellement de sens pendant le mouvement de l'aimant.
14. On retire en 0,18 s une boucle de fil circulaire, mesurant 70 mm de diamètre, hors d'un champ magnétique uniforme d'intensité 0,25 T et perpendiculaire au plan de la boucle. Calculer la f.é.m. induite moyenne.

15. Sur deux rails conducteurs parallèles horizontaux reliés par un conducteur ohmique de résistance  $R = 2,5 \Omega$  se déplace une barre de cuivre MN de longueur  $l = 25 \text{ cm}$  et animée d'une vitesse constante  $v = 2,5 \text{ m/s}$  parallèle aux rails. L'ensemble est placé dans un champ magnétique  $\vec{B}$ , vertical et dirigé vers le haut. Ce champ magnétique est supposé uniforme d'intensité  $B = 40 \text{ mT}$  entre les rails, et nul partout ailleurs.



- a. Calculer le flux magnétique à travers le circuit à l'instant où l'abscisse de la barre MN vaut 10 cm.  
 b. Calculer la f.é.m. induite.  
 c. Calculer l'intensité du courant induit et préciser son sens (en justifiant).
16. Une spire plane a la forme d'un carré de côté  $a = 40 \text{ cm}$ . Elle est entraînée à la vitesse constante  $v = 4 \text{ m/s}$  parallèlement à l'axe  $\Delta$ . Elle passe d'une zone où le champ magnétique est nul dans une zone où règne un champ magnétique uniforme d'intensité  $B = 0,5 \text{ T}$  perpendiculaire au plan de la spire. La résistance totale de la spire est de  $2 \Omega$ . On pose  $t = 0$  lorsque le segment MN entre dans le champ  $\vec{B}$ .

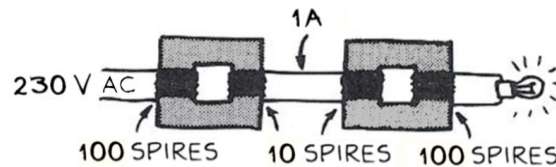


- a. Donner en fonction du temps la f.é.m. induite.  
 b. En déduire le sens et l'intensité du courant induit dans la spire.



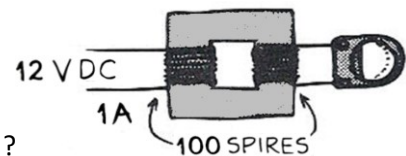
## Transformateur

17. Quelle est la différence entre un transformateur élévateur et un transformateur réducteur ?
18. Si la tension dans le secondaire vaut le double de la tension dans le primaire, que peux-tu dire du rapport entre le courant dans le primaire et le courant dans le secondaire ?
19. La bobine primaire d'un transformateur reçoit une puissance électrique de 100 W. Quelle puissance électrique est fournie par la bobine secondaire (le transformateur étant idéal) ?
20. Dans le circuit illustré, quelle tension règne aux bornes de la lampe et quelle intensité de courant la traverse ?



21. Considérer le transformateur ci-contre.

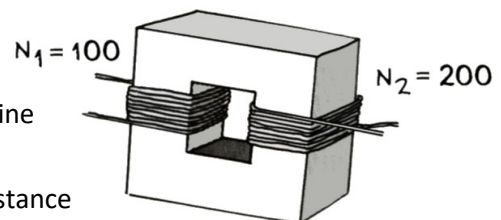
- a. Quelle tension règne aux bornes de l'ampèremètre et quelle intensité de courant mesure-t-il ?
- b. Quelle est la réponse si la tension primaire vaut 12 V AC ?



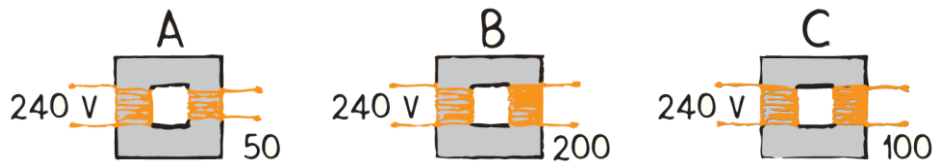
22. Un transformateur idéal a 50 spires dans le primaire et 250 spires dans le secondaire. Le primaire est connecté à 12 V AC.
  - a. Quelle est la f.é.m. induite dans le secondaire ?
  - b. Montrer que lorsqu'un appareil de résistance  $10 \Omega$  est connecté au secondaire, il est parcouru par un courant de 6 A.
  - c. Quelle puissance électrique est fournie au primaire ?
23. Un train électrique miniature requiert 6 V pour fonctionner correctement. Si la bobine primaire de son transformateur a 240 spires, combien de spires la bobine secondaire doit-elle avoir si le primaire est connecté à une prise de 240 V ?
24. Un tube néon nécessite une tension d'allumage de 12000 V. Quel devrait être le rapport entre le nombre de spires des bobines primaire et secondaire si le transformateur d'un tube néon est connecté à 240 V ?

25. Une tension alternative de 100 V est appliquée à la bobine primaire de 100 spires d'un transformateur supposé idéal.

- a. Quelle tension efficace est induite dans la bobine secondaire de 200 spires ?
- b. Si le secondaire est connecté à une lampe de résistance  $50 \Omega$ , quelle est l'intensité du courant alternatif dans le secondaire ?
- c. Quelle est la puissance dans le secondaire ?
- d. Quelle est la puissance dans le primaire ?
- e. Quelle est l'intensité du courant alternatif fournie au primaire ?
- f. Le transformateur élève la tension mais réduit le courant. D'après la loi d'Ohm, une tension plus grande produit un courant plus grand. Y a-t-il une contradiction ?



26. On a un transformateur dont le circuit primaire a une puissance de 100 W et est constitué par une bobine de 100 spires. Le nombre de spires de la bobine du circuit secondaire est indiqué dans chaque figure. Indiquer à chaque fois l'affirmation qui est correcte.



- a. La tension secondaire ...
- est maximale dans le cas A
  - est maximale dans le cas B
  - est maximale dans le cas C
  - est identique dans les 3 cas
  - ne peut être déterminé dans aucun des cas
- b. L'intensité de courant dans le circuit secondaire ...
- est maximale dans le cas A
  - est maximale dans le cas B
  - est maximale dans le cas C
  - est identique dans les 3 cas
  - ne peut être déterminé dans aucun des cas
- c. La puissance électrique fournie par le secondaire ...
- est maximale dans le cas A
  - est maximale dans le cas B
  - est maximale dans le cas C
  - est identique dans les 3 cas
  - ne peut être déterminé dans aucun des cas
27. Une puissance électrique de 100 kW est fournie à un quartier d'une ville par une paire de lignes électriques entre lesquelles règne une tension alternative de 12000 V.
- Quelle est l'intensité du courant dans les lignes.
  - Chacune des deux lignes a une résistance électrique de  $10 \Omega$ . Quelle est la différence de potentiel entre les deux extrémités d'une ligne ? (Attention, cette tension n'est pas celle entre les deux câbles).
  - Quelle puissance est dissipée sous forme d'énergie thermique par effet Joule dans les deux lignes ? Comparer cette puissance avec la puissance électrique fournie au quartier.

## Révision

Répondre par vrai ou faux.

	<b>Affirmation</b>	<b>Vrai</b>	<b>Faux</b>
1	La formule permettant de calculer le flux magnétique à travers une spire s'écrit $\phi = B \cdot S$ .		
2	La variation du flux magnétique par unité de temps s'exprime en V.		
3	Le phénomène d'induction se manifeste toujours sous forme d'un courant électrique.		
4	Il peut avoir apparition d'un courant induit, lorsque le flux magnétique reste constant.		
5	Le courant induit s'oppose à la variation de flux qui lui donne naissance.		
6	La f.é.m. induite est d'autant plus grande que la variation du flux magnétique est grande.		
7	La f.é.m. induite est d'autant plus grande que la variation du flux magnétique est rapide.		
8	Un alternateur produit un courant alternatif sinusoïdal.		
9	On peut abaisser une tension à l'aide d'un transformateur.		
10	On peut produire de l'énergie électrique à l'aide d'un transformateur.		

## Crédits Photos

© Henri Weyer – **p.0** (page titre)

© mipan / Shutterstock.com (250766437) – **p.7** (transformateur)

© bit mechanic / Shutterstock.com (1466569919) – **p.9** (transformateur)

© Boris Bulychev / Shutterstock.com (2152399885) – **p.12** (pickup guitare)

## Crédits Illustrations

Des remerciements particuliers sont adressés à Paul G. HEWITT. Les illustrations sont, sauf indication contraire, l'œuvre de Paul G. Hewitt et des auteurs du cours.

Des remerciements particuliers sont adressés à Paul G. HEWITT. Les illustrations sont, sauf indication contraire, l'œuvre de Paul G. Hewitt et des auteurs du cours. Les illustrations de Paul G. HEWITT ont été retravaillées par Laurent HILD, avec l'autorisation écrite et personnelle de l'auteur. Les illustrations originales sont des livres :

© HEWITT, Paul G., *Conceptual physics*, 2015, Pearson

© HEWITT, Paul G., SUCHOCKI John, *Conceptual physical science – Practice Book*, 2012, Pearson

© EPSTEIN Lewis C., HEWITT, Paul G., *Thinking Physics* – 1981, Insight Press