

SECTION 7-2 RÉVISION

1. Expliquez la différence entre magnétisme et électromagnétisme.
2. Qu'arrive-t-il au champ magnétique d'un électroaimant quand le courant dans la bobine est inversé?
3. Énoncez la loi d'Ohm des circuits magnétiques.
4. Comparez chaque grandeur spécifiée à la question 3 à une grandeur du domaine électrique.

7-3 DISPOSITIFS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

À la section précédente, vous avez appris qu'une tête d'enregistrement est un type de dispositif électromagnétique. Nous proposons ici d'autres dispositifs courants.

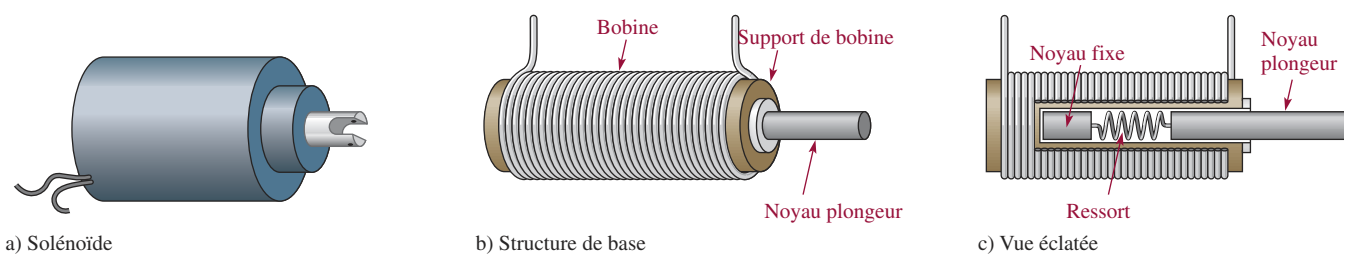
Après l'étude de cette section, vous pourrez

- Décrire le principe de fonctionnement de plusieurs dispositifs électromagnétiques
- Décrire le fonctionnement d'un solénoïde
- Décrire le fonctionnement d'un relais
- Décrire le fonctionnement d'un haut-parleur
- Décrire le fonctionnement d'un équipage mobile d'appareil de mesure analogique

La tête de lecture et d'enregistrement de même que le disque magnéto-optique discutés à la section précédente sont des exemples de dispositifs électromagnétiques. Le transformateur en est un autre et sera étudié en détail au chapitre 14. Cette section présente quelques autres exemples.

Solénoïde

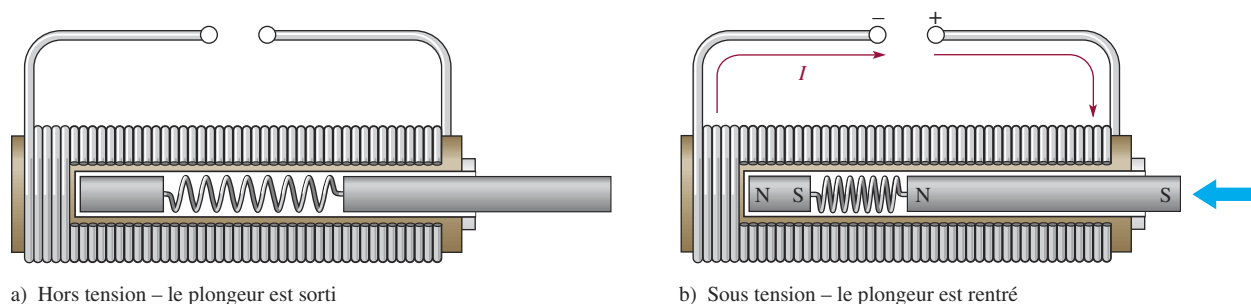
Le **solénoïde** est un type d'élément électromagnétique qui possède un noyau de fer mobile appelé *plongeur*. Le déplacement de ce noyau dépend à la fois du champ électromagnétique et de la force mécanique d'un ressort. La structure de base d'un solénoïde est illustrée à la figure 7-16. On y voit une bobine de fil cylindrique enroulée autour d'un support creux non magnétique. Un noyau de fer fixe se trouve à l'extrémité de l'arbre et le noyau mobile est relié au noyau fixe par un ressort.



▲ FIGURE 7-16

Structure de base d'un solénoïde.

Au repos (ou hors tension), le plongeur est sorti comme le montre la figure 7-17 a). Le solénoïde est mis sous tension quand un courant circule dans la bobine, tel qu'illustré à



a) Hors tension – le plongeur est sorti

b) Sous tension – le plongeur est rentré

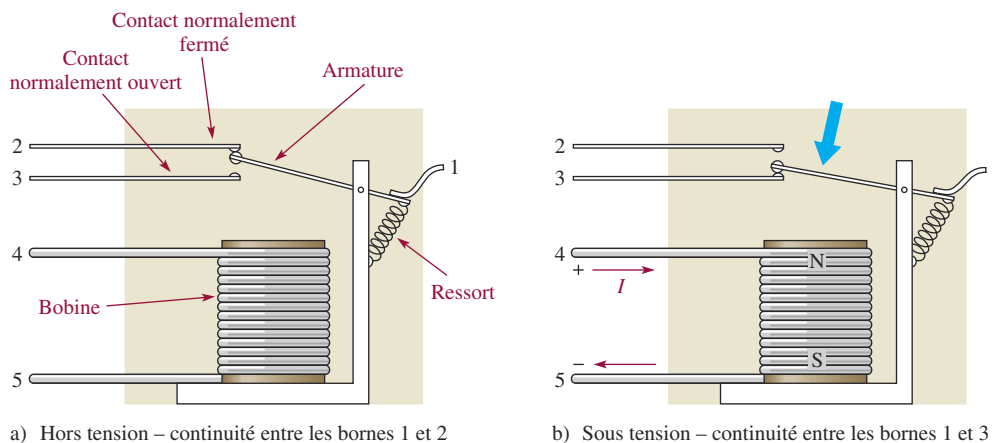
▲ FIGURE 7-17

Principe de fonctionnement d'un solénoïde.

la partie b). Le courant crée un champ électromagnétique qui aimante les noyaux de fer tel qu'indiqué. Le pôle sud du noyau fixe attire le pôle nord du noyau mobile, entraînant ce dernier dans le cylindre creux. Le plongeur s'enfonce et comprime le ressort. Tant que le courant est maintenu dans la bobine, le plongeur est gardé à l'intérieur par la force d'attraction des champs magnétiques. Lorsque le courant cesse, les champs magnétiques disparaissent et la force emmagasinée dans le ressort se libère et pousse le plongeur. Le solénoïde sert, entre autres, à ouvrir ou fermer des robinets ou au verrouillage automatique des portes d'une automobile.

Relais

Les **relais** diffèrent des solénoïdes de par leur action électromagnétique qui sert à ouvrir ou à fermer des contacts électriques au lieu de produire un mouvement mécanique. La figure 7-18 illustre le principe de fonctionnement d'un relais muni d'un contact normalement fermé et d'un contact normalement ouvert de type unipolaire bidirectionnel. Lorsqu'il n'y a pas de courant dans la bobine, l'armature est plaquée contre le contact supérieur par le ressort, assurant ainsi la continuité entre la borne 1 et la borne 2, comme le montre la figure 7-18 a). Lorsque le relais est activé par un courant dans la bobine, l'armature est abaissée par la force d'attraction du champ magnétique et la connexion s'établit avec le contact inférieur, assurant la continuité entre la borne 1 et la borne 3, tel qu'illustré à la figure 7-18 b).



a) Hors tension – continuité entre les bornes 1 et 2

b) Sous tension – continuité entre les bornes 1 et 3

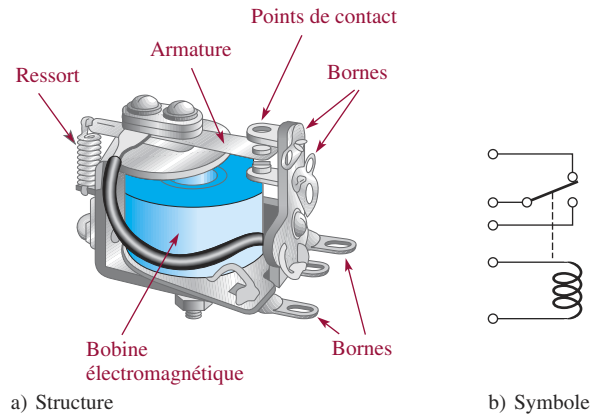
▲ FIGURE 7-18

Structure de base d'un relais unipolaire bidirectionnel.

La figure 7–19 illustre un relais type et son symbole.

► **FIGURE 7–19**

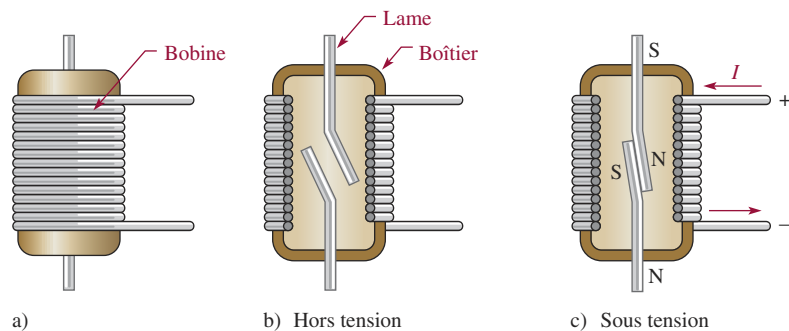
Relais type.



Un autre type de relais très répandu est le *relais à anche*, présenté à la figure 7–20. Comme le relais à armature, le relais à anche emploie une bobine électromagnétique. De minces lames de matériau magnétique forment les contacts à l'intérieur du relais. En l'absence de courant, les lames demeurent en position ouverte, comme le montre la figure 7–20 b). Lorsqu'un courant traverse la bobine, les lames créent un contact en s'aimantant et en s'attirant mutuellement, tel qu'illustré à la partie c).

► **FIGURE 7–20**

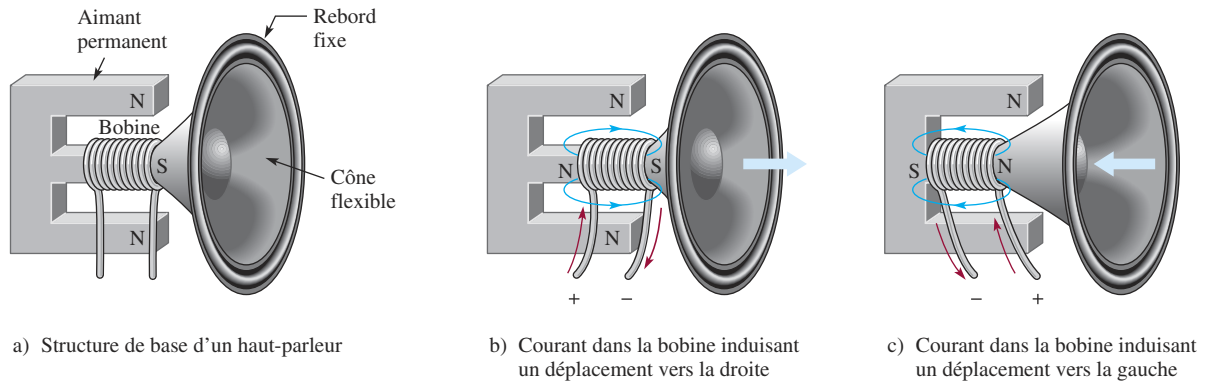
Structure de base d'un relais à anche.



Les relais à anche réagissent plus rapidement, sont plus fiables et génèrent moins d'arcs électriques que les relais à armature. Par contre, leur capacité à supporter le courant est inférieure à celle des composants à armature; ils sont donc plus enclins aux chocs mécaniques.

Haut-parleur

Les **haut-parleurs** à aimant permanent sont très répandus dans les chaînes stéréophoniques, les récepteurs radios et les téléviseurs; leur fonctionnement est basé sur le principe de l'électromagnétisme. Un haut-parleur type est constitué d'un aimant permanent et d'un électro-aimant, comme le montre la figure 7–21 a). Le cône du haut-parleur comprend une membrane souple faite avec un papier spécial solidaire d'un cylindre creux entouré d'une bobine, ce qui forme l'électroaimant. Un des pôles de l'aimant permanent est placé à l'intérieur de la bobine cylindrique. Lorsque du courant traverse la bobine dans un sens, l'interaction entre le champ magnétique permanent et le champ électromagnétique entraîne le déplacement du cylindre vers la droite, comme on le voit à la figure 7–21 b). Le courant en sens inverse dans la bobine déplace le cylindre vers la gauche, tel que le montre la figure 7–21 c).

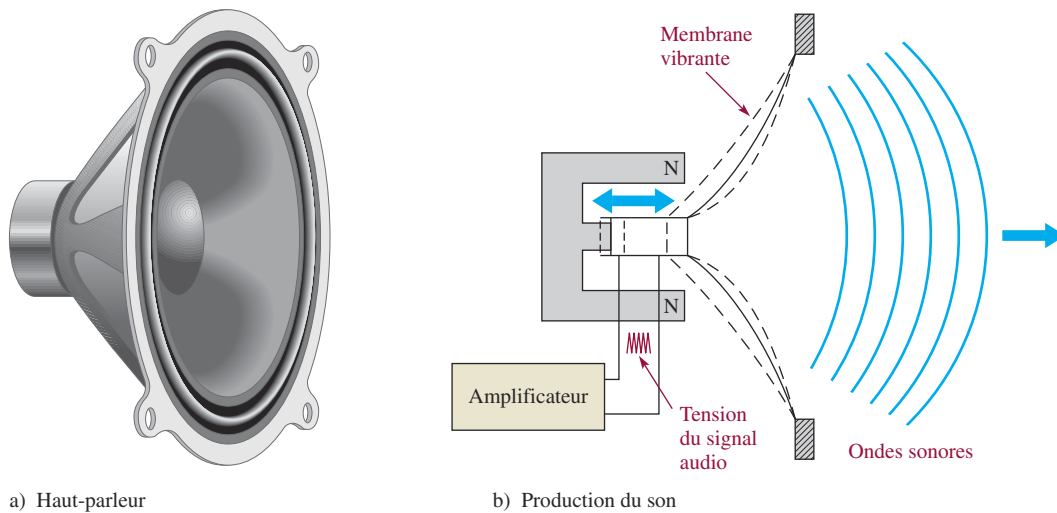


▲ FIGURE 7-21

Principe de fonctionnement du haut-parleur.

Le déplacement du cylindre bobiné entraîne la membrane souple qui avance et recule, selon le sens du courant dans la bobine. L'intensité de ce courant détermine l'intensité du champ magnétique, qui commande l'ampleur du déplacement de la membrane.

Comme le démontre la figure 7-22, lorsque la tension d'un signal audio (voix ou musique) est appliquée à la bobine du haut-parleur, le courant varie proportionnellement en intensité et en sens. La réponse de la membrane est de vibrer avec une amplitude et une fréquence variables. Les vibrations de la membrane impriment à l'air ambiant des vibrations correspondantes, qui se propagent sous forme d'ondes sonores.



▲ FIGURE 7-22

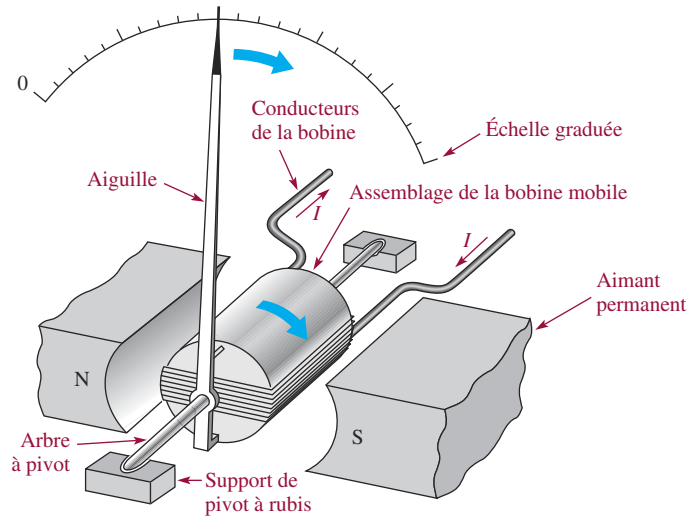
Le haut-parleur convertit les tensions de signaux audio en ondes sonores.

Équipage mobile

L'équipage mobile ou mouvement d'Arsonval se retrouve dans la plupart des types de multimètres analogiques. Dans un équipage mobile, une aiguille est déviée proportionnellement à l'intensité du courant dans une bobine. La figure 7-23 illustre les constituants de base de l'équipage d'Arsonval. On peut y voir une bobine de fil enroulée sur un ensemble à suspension à rubis, placé entre les deux pôles d'un aimant permanent. Une aiguille est solidaire de l'ensemble mobile. Lorsque le courant est nul dans la bobine, un mécanisme à ressort garde l'aiguille en bout d'échelle à gauche (position zéro).

► **FIGURE 7-23**

Schéma de base de l'équipage mobile d'Arsonval.

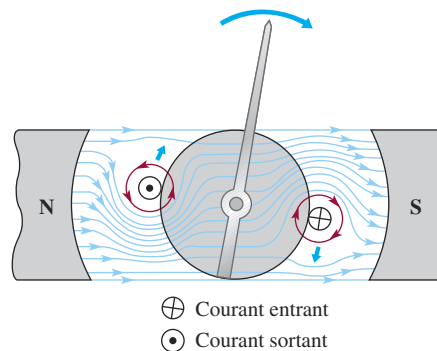


Lorsqu'un courant traverse la bobine, des forces électromagnétiques agissent sur la bobine et lui impriment une rotation vers la droite. L'ampleur de la déviation dépend de l'intensité du courant.

La figure 7-24 illustre comment l'interaction entre les champs magnétiques donne lieu à une rotation de l'ensemble de la bobine. Le courant entre là où l'on voit une «croix» et sort à l'endroit du «point» dans le seul enroulement illustré. Le courant entrant produit un champ électromagnétique horaire qui renforce le champ magnétique de l'aimant permanent sous-jacent. Il en résulte une force dirigée vers le bas sur la partie droite de la bobine. Une force dirigée vers le haut apparaît aussi sur la partie gauche de la bobine, là où le courant sort. Ces forces impriment une rotation horaire à l'ensemble mobile à laquelle s'oppose le mécanisme à ressort. Les forces indiquées et la force du ressort sont équilibrées pour une valeur de courant. Lorsqu'on coupe le courant, la force de rappel du ressort ramène l'aiguille à la position zéro.

► **FIGURE 7-24**

Lorsqu'un champ électromagnétique interagit avec le champ magnétique permanent, des forces s'exercent sur l'assemblage de la bobine mobile, causant une rotation horaire et une déviation de l'aiguille.



SECTION 7-3 RÉVISION

1. Expliquez la différence entre un solénoïde et un relais.
2. Quel est le nom de la partie mobile d'un solénoïde?
3. Quel est le nom de la partie mobile d'un relais?
4. Sur quel principe de base repose le fonctionnement du mouvement d'Arsonval?

7-4 HYSTÉRÉSIS MAGNÉTIQUE

Lorsqu'une force magnétisante est appliquée à un matériau, la densité de flux magnétique dans le matériau change d'une certaine manière. C'est ce que nous étudions dans cette section.

Après l'étude de cette section, vous pourrez

- Expliquer l'hystérésis magnétique
- Énoncer la formule de la force magnétisante
- Décrire une courbe d'hystérésis
- Définir l'aimantation rémanente

Force magnétisante (H)

La **force magnétisante** dans un matériau est définie comme la force magnétomotrice (F_m) par unité de longueur (l) du matériau, conformément à l'équation ci-dessous. L'unité de la force magnétisante est l'ampère-tour par mètre (At/m).

$$H = \frac{F_m}{l}$$

Équation 7-6

où $F_m = NI$. Notez que la force magnétisante dépend du nombre d'enroulements (N) de la bobine, du courant (I) dans la bobine et de la longueur (l) du matériau. Elle ne dépend pas du type de matériau.

Comme $\phi = F_m/\mathcal{R}$, lorsque F_m/\mathcal{R} augmente, le flux augmente aussi, de même que la force magnétisante (H). Rappelons que la densité de flux magnétique (B) désigne le flux par unité d'aire transversale ($B = \phi/A$), de sorte que B est également proportionnelle à H . La courbe montrant la relation entre ces deux grandeurs (B et H) est appelée la courbe B - H ou courbe d'hystérésis. Les paramètres qui conditionnent à la fois B et H sont illustrés à la figure 7-25.

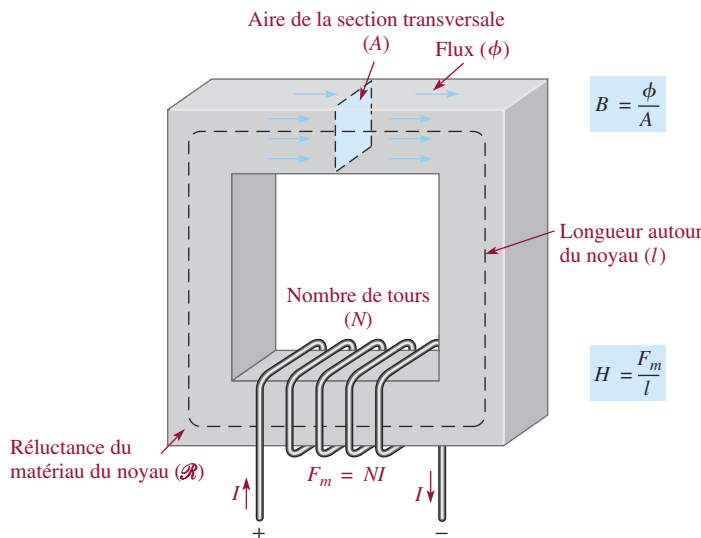


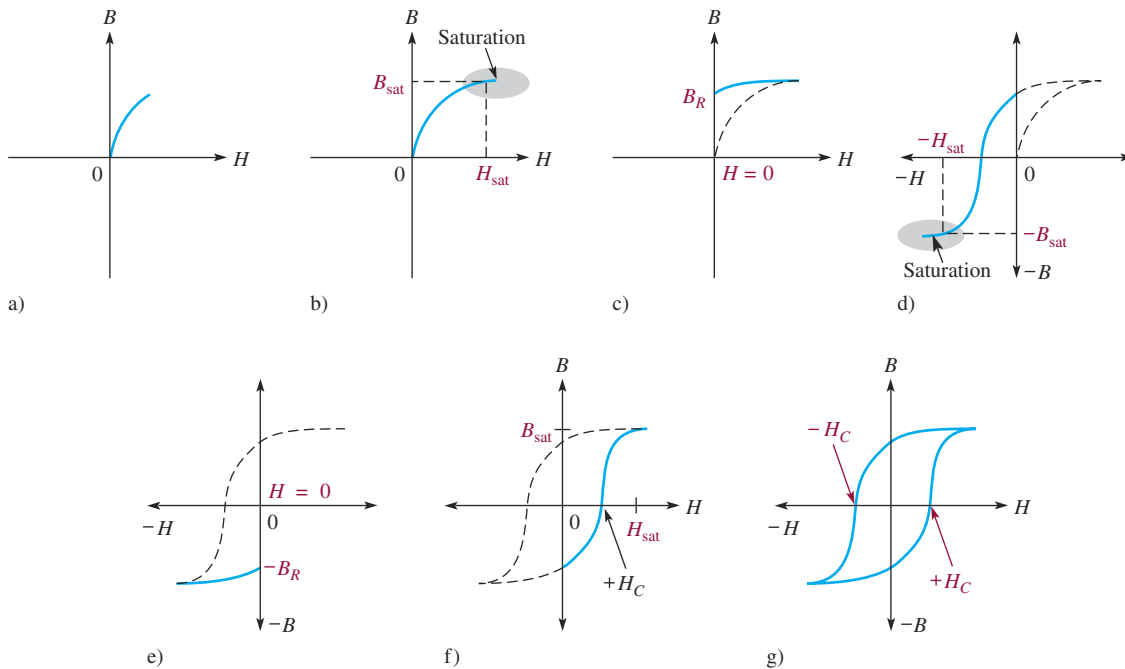
FIGURE 7-25

Paramètres déterminant la force magnétisante (H) et la densité du flux magnétique (B).

Courbe d'hystérésis et aimantation rémanente

L'**hystérésis** est une caractéristique d'un matériau magnétique qui décrit le retard entre la variation de l'aimantation et l'application de la force magnétisante. La force magnétisante (H) peut être augmentée ou diminuée instantanément en variant le courant de la bobine et on peut l'inverser en inversant la polarité de la tension aux bornes de la bobine.

La figure 7–26 indique comment on trace une courbe d’hystérésis. On commence en supposant que le noyau magnétique est non aimanté, de sorte que $B = 0$. Comme la force magnétisante (H) croît à partir de zéro, la densité du flux magnétique (B) augmente dans la même proportion, tel qu’illustré sur la courbe de la figure 7–26 a). Lorsque H atteint une certaine valeur, la valeur de B commence à plafonner. Si H continue d’augmenter, B atteint une valeur de saturation (B_{sat}) au moment où H atteint une certaine valeur (H_{sat}), tel que le démontre la figure 7–26 b). Une fois la saturation atteinte, tout accroissement de H ne modifie plus la valeur de B .



▲ FIGURE 7–26

Traçage d’une courbe d’hystérésis magnétique.

Ensuite, si H décroît jusqu’à zéro, B diminuera en suivant un trajet différent jusqu’à une valeur résiduelle (B_R), tel qu’illustré à la figure 7–26 c). Ceci indique que le matériau continue d’être aimanté même si la force magnétisante a été enlevée ($H = 0$). L’aptitude du matériau, après une magnétisation, à rester dans un état d’aimantation sans la présence d’une force magnétisante est appelée l’**aimantation rémanente**. L’aimantation rémanente d’un matériau est indiquée par le rapport de B_R sur B_{sat} .

L’inversion de la force magnétisante est signalée par des valeurs négatives de H sur la courbe; on l’obtient en inversant le courant dans la bobine. Lorsque H passe à des valeurs de plus en plus négatives, on arrive à la saturation ($-H_{\text{sat}}$) quand la densité de flux est à sa plus grande valeur négative, comme l’indique la figure 7–26 d).

Lorsque la force magnétisante est retirée ($H = 0$), la densité du flux remonte jusqu’à sa valeur résiduelle négative ($-B_R$), comme à la figure 7–26 e). À partir de $-B_R$, la densité du flux magnétique suit la courbe de la partie f) de la figure jusqu’à sa valeur positive maximale, soit lorsque la force magnétisante revient à sa valeur positive H_{sat} .

La courbe B - H complète est représentée à la figure 7–26 g) et s’appelle une *courbe d’hystérésis*. La force magnétisante qui impose le retour à zéro de la densité de flux magnétique s’appelle la *force coercitive*, H_C .

Les matériaux ayant une faible aimantation rémanente ne retiennent pas très bien un champ magnétique, alors que ceux ayant une forte aimantation rémanente affichent une B_R très proche de la valeur de saturation de B . Selon l’application, l’aimantation rémanente d’un matériau magnétique constitue un avantage ou un inconvénient. Par exemple, dans les mémoires de ferrite et les aimants permanents, on recherche une forte aimantation rémanente. Dans les moteurs c.a., l’aimantation rémanente est un problème car le moteur doit vaincre le champ magnétique résiduel à chaque inversion de courant, ce qui accroît la consommation électrique.

SECTION 7-4 RÉVISION

1. Pour un certain noyau bobiné, comment un accroissement du courant dans la bobine affecte-t-il la densité du flux magnétique?
2. Définissez *aimantation rémanente*.

7-5 INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

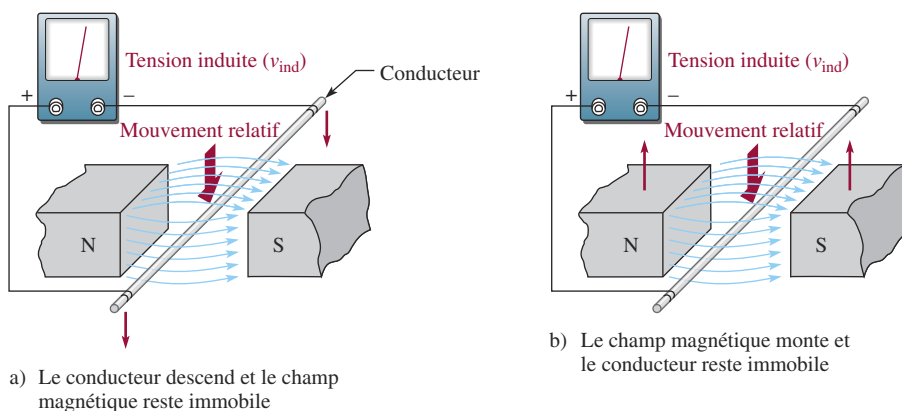
Lorsqu'un conducteur est en mouvement dans un champ magnétique, une tension est créée aux bornes du conducteur. Ce principe est connu sous le vocable d'induction électromagnétique et la tension résultante s'appelle la tension induite. Le principe de l'induction électromagnétique est à la base des transformateurs, des génératrices, des moteurs électriques et de nombreux autres dispositifs.

Après l'étude de cette section, vous pourrez

- Expliquer le principe de l'induction électromagnétique
- Expliquer comment une tension est induite dans un conducteur placé dans un champ magnétique
- Déterminer la polarité d'une tension induite
- Analyser les forces sur un conducteur dans un champ magnétique
- Énoncer la loi de Faraday
- Énoncer la loi de Lenz

Mouvement relatif

Lorsqu'un conducteur est déplacé dans un champ magnétique, il y a un mouvement relatif entre le conducteur et le champ. De même, lorsqu'un champ magnétique coupe un conducteur fixe, il y a également un mouvement relatif. Dans les deux cas, le mouvement relatif provoque une **tension induite** (v_{ind}) dans le conducteur, tel qu'illustré à la figure 7-27. La lettre v minuscule représente une valeur instantanée. L'amplitude de la tension induite dépend de la vitesse relative entre le conducteur et le champ magnétique. Plus cette vitesse relative est élevée, plus la tension induite est grande.



◀ **FIGURE 7-27**

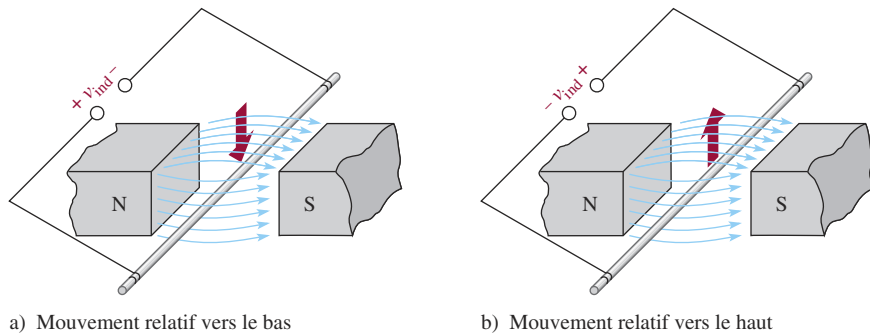
Mouvement relatif entre un conducteur et un champ magnétique.

Polarité de la tension induite

Si le conducteur de la figure 7-27 est d'abord déplacé dans un sens puis dans l'autre, on observe une inversion de la polarité de la tension induite. Lorsque le conducteur descend, la tension induite possède la polarité indiquée à la figure 7-28 a). Lorsque le conducteur monte, la polarité de la tension est celle indiquée à la partie b) de la figure.

► FIGURE 7-28

La polarité d'une tension induite est conditionnée par le sens du déplacement.

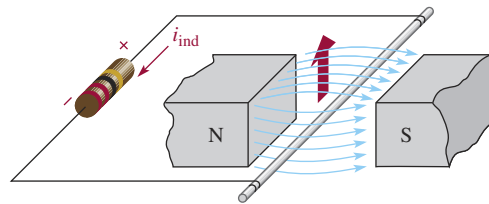



Courant induit

Lorsqu'une charge résistive est connectée au conducteur de la figure 7-28, la tension induite par le déplacement relatif entre le conducteur et le champ magnétique génère un courant dans cette charge, tel qu'on le voit à la figure 7-29. Ce courant est appelé le **courant induit** (i_{ind}). Le i minuscule représente un courant instantané.

► FIGURE 7-29

Courant induit (i_{ind}) dans une charge lorsqu'un conducteur est en mouvement dans un champ magnétique.





BIOGRAPHIE

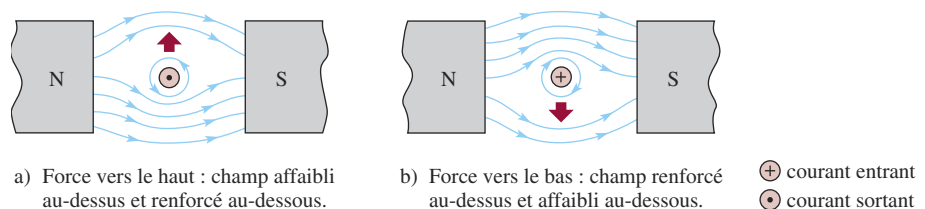
Michael Faraday
1791-1867

Né en Angleterre, le physicien et chimiste Faraday est surtout célèbre pour sa contribution à la compréhension de l'électromagnétisme. Il découvrit qu'on pouvait produire de l'électricité en déplaçant un aimant à l'intérieur d'une bobine de fil. Faraday fut le premier à construire un moteur électrique. Il créa ensuite le premier générateur électromagnétique et le premier transformateur. L'énoncé des principes de l'induction électromagnétique est aujourd'hui connu sous le nom de loi de Faraday. C'est en son honneur que l'unité de la capacité électrique, le farad, porte son nom. (Photo gracieuseté de Library of Congress.)

La production d'une tension et d'un courant dans une charge, grâce au déplacement d'un conducteur à travers un champ magnétique, est l'action à la base des génératrices électriques. En outre, la présence d'un conducteur dans un champ magnétique mobile est fondamentale à la notion d'inductance dans un circuit électrique.

Forces sur un conducteur traversé par un courant dans un champ magnétique (effet moteur)

La figure 7-30 a) montre un courant «sortant» d'un conducteur placé dans un champ magnétique. Le champ électromagnétique établi par le courant interagit avec le champ magnétique permanent. Il en résulte une déviation des lignes de force permanentes au-dessus du conducteur, car le sens de ces lignes est opposé au sens des forces du champ électromagnétique. La densité du flux au-dessus du conducteur est donc plus faible et le champ magnétique est affaibli. Par contre, la densité du flux sous le conducteur est accrue et le champ magnétique est renforcé. Une force vers le haut agit sur le conducteur et ce dernier cherche à remonter vers le champ magnétique plus faible.



▲ FIGURE 7-30

Forces sur un conducteur traversé par un courant et placé dans un champ magnétique.

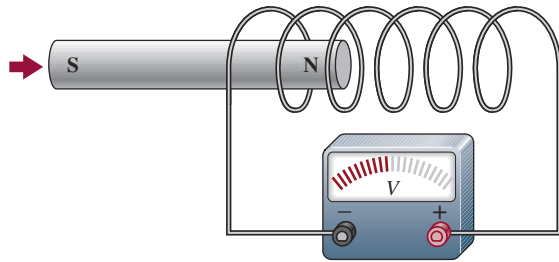
La figure 7–30 b) fait voir un courant «entrant» dans le conducteur. Ici, la force qui agit sur le conducteur est vers le bas. Ces forces sont à la base des moteurs électriques.

Loi de Faraday

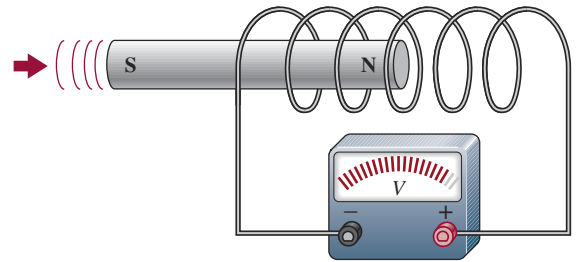
Michael Faraday découvre le principe de l'**induction électromagnétique** en 1831. Il découvre qu'en déplaçant un aimant dans une bobine de fil, il y avait induction d'une tension dans la bobine et que si on fermait un chemin, la tension induite produisait un courant, comme nous l'avons déjà expliqué. Les deux observations de Faraday peuvent formellement s'exprimer ainsi:

1. L'amplitude de la tension induite dans une bobine est directement proportionnelle au taux de changement du champ magnétique par rapport à la bobine.
2. L'amplitude de la tension induite dans une bobine est directement proportionnelle au nombre d'enroulements de fil dans la bobine.

La première observation de Faraday est démontrée à la figure 7–31, où un barreau aimanté est déplacé dans une bobine, créant de ce fait un champ magnétique variable. La partie a) de la figure montre un aimant qui se déplace à un certain rythme, ce qui génère une tension induite, tel qu'indiqué. En b), l'aimant est déplacé plus rapidement dans la bobine et la tension induite est plus grande.



a) Lorsqu'un aimant est plongé lentement dans une bobine, la variation du champ magnétique dans la bobine induit une tension.

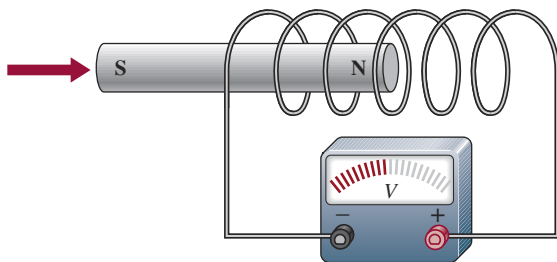


b) Lorsque l'aimant est plongé plus rapidement dans la bobine, la variation plus grande du champ magnétique génère une tension plus élevée.

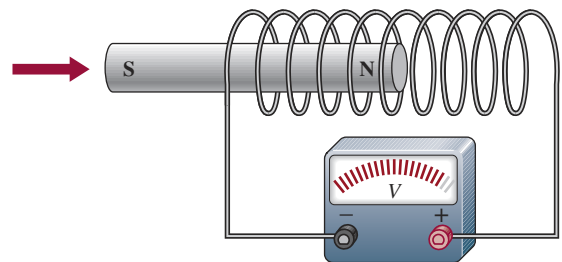
▲ FIGURE 7–31

Démonstration de la première observation de Faraday. L'amplitude de la tension induite est directement proportionnelle au taux de changement du champ magnétique par rapport à la bobine.

La seconde observation de Faraday est démontrée à la figure 7–32. À la partie a), l'aimant est déplacé dans la bobine et il y a induction de la tension indiquée. À la partie b), l'aimant est déplacé à la même vitesse dans une bobine qui contient cette fois un plus grand nombre d'enroulements. Ce nombre accru d'enroulements crée une tension induite supérieure.



a) Un aimant déplacé dans une bobine induit une tension.



b) Un aimant déplacé à la même vitesse dans une bobine munie d'un plus grand nombre d'enroulements génère une tension plus élevée.

▲ FIGURE 7–32

Démonstration de la seconde observation de Faraday. L'amplitude de la tension induite est directement proportionnelle au nombre d'enroulements dans la bobine.



BIOGRAPHIE

**Heinrich
F. E. Lenz**
1804-1865

Né en Estonie
(Russie), Lenz
fut d'abord
professeur à
l'université de

Saint-Pétersbourg. Il s'inspira de Faraday et mena plusieurs expériences pour ensuite formuler le principe de l'électromagnétisme qui définit la polarité d'une tension induite dans une bobine. L'énoncé de ce principe porte donc son nom en son honneur. (Photo gracieuseté de AIP Emilio Segrè Visual Archives.)

L'énoncé de la **loi de Faraday** stipule que:

La tension induite aux bornes d'une bobine de fil est égale au nombre d'enroulements dans la bobine multiplié par le taux de changement du flux magnétique.

Loi de Lenz

Vous avez vu qu'un champ magnétique variable induit une tension dans une bobine d'une grandeur directement proportionnelle au taux de changement du champ magnétique et du nombre d'enroulements de la bobine. La **loi de Lenz** précise la polarité ou la direction de la tension induite.

Lorsque le courant dans une bobine change, le sens de la tension induite créée par le champ magnétique variable s'oppose toujours au changement du courant.

SECTION 7-5
RÉVISION

1. Quelle est la tension induite dans un conducteur immobile dans un champ magnétique fixe?
2. Lorsqu'on augmente la vitesse de déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique, est-ce que la tension induite augmente, diminue ou demeure constante?
3. Que se passe-t-il lorsqu'un courant traverse un conducteur placé dans un champ magnétique?

7-6

APPLICATIONS DE L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Cette section traite de deux applications intéressantes de l'induction électromagnétique: un capteur de position d'un vilebrequin d'automobile et une génératrice c.c. Ces deux applications sont représentatives d'une foule d'autres applications très diverses.

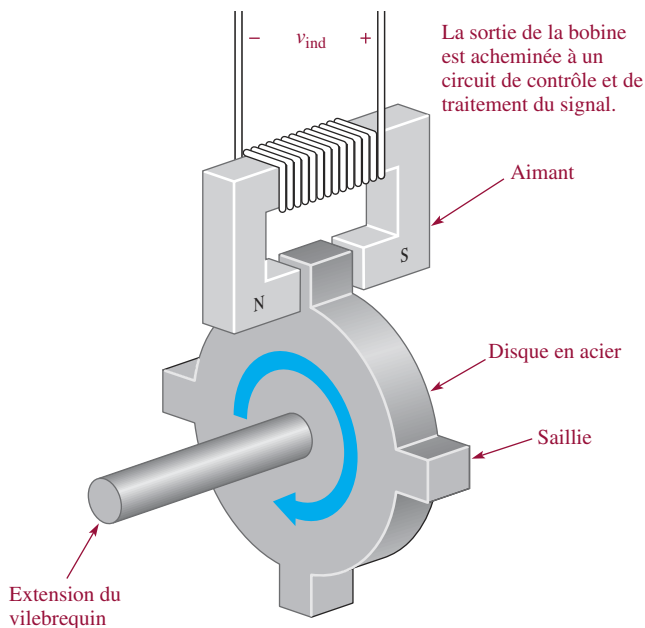
Après l'étude de cette section, vous pourrez

- Décrire quelques applications de l'induction électromagnétique
- Expliquer le fonctionnement d'un capteur de position de vilebrequin
- Expliquer le fonctionnement d'une génératrice c.c.

Capteur de position du vilebrequin d'automobile

Une application intéressante dans le domaine automobile est un capteur du moteur qui détecte la position du vilebrequin grâce à l'induction électromagnétique. Dans plusieurs modèles d'automobiles, le contrôleur électronique a besoin de connaître la position du vilebrequin afin de régler le calage de l'allumage et parfois pour ajuster le système de commande du carburant. La figure 7-33 illustre le concept de base. Un disque métallique est attaché au vilebrequin du moteur au moyen d'une tige d'extension. Des saillies sur le périmètre du disque représentent des positions précises du vilebrequin.

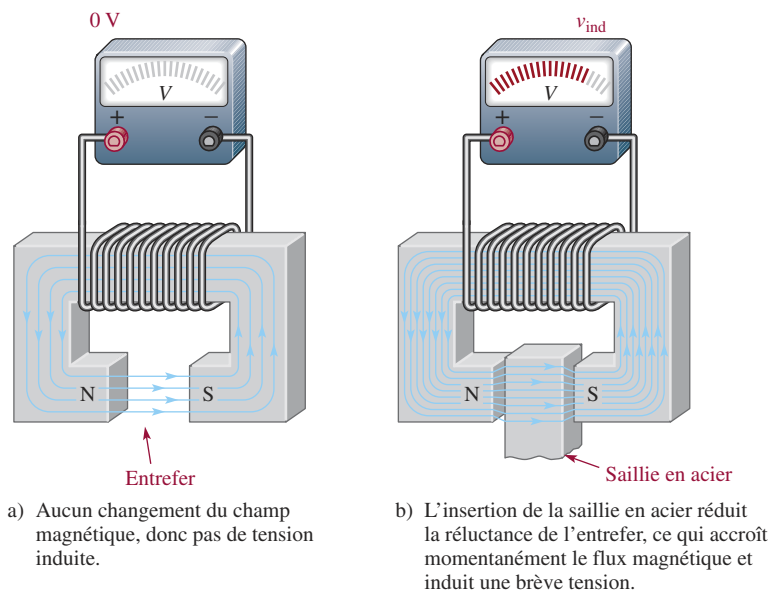
Tel qu'illustré à la figure 7-33, les saillies franchissent périodiquement l'entrefer de l'aimant permanent lorsque le disque tourne en synchronisme avec le vilebrequin.



◀ FIGURE 7-33

Un capteur de position de vilebrequin produit une tension lorsqu'une saillie passe dans l'entrefer de l'aimant.

Comme l'acier a une réluctance bien inférieure à l'air (un champ magnétique s'installe dans l'acier plus facilement que dans l'air), le flux magnétique augmente au moment où la saillie arrive dans l'entrefer, ce qui induit une tension momentanée dans la bobine. Ce processus est illustré à la figure 7-34. Le circuit de commande électronique du moteur utilise cette tension induite pour déduire la position du vilebrequin.



◀ FIGURE 7-34

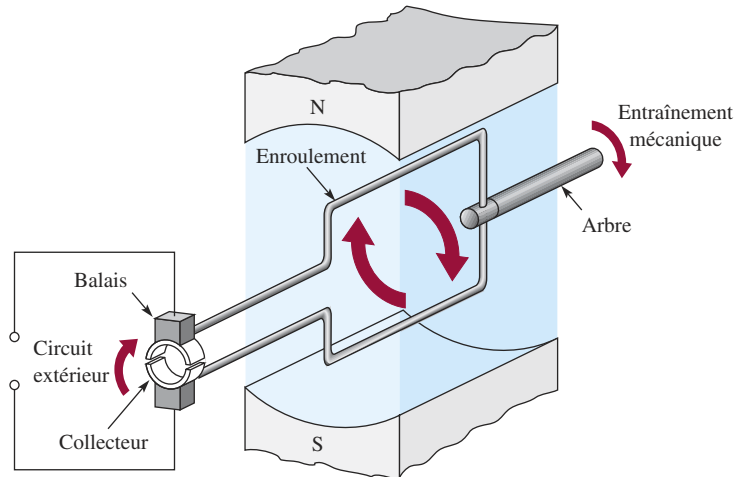
Lorsque la saillie d'acier passe dans l'entrefer de l'aimant, la bobine détecte un changement du champ magnétique et une tension est induite.

Génératrice à courant continu

La figure 7-35 reproduit une génératrice à courant continu simplifiée, qui est formée d'un enroulement placé dans un champ magnétique permanent. Notez que chaque extrémité de l'enroulement est reliée à un montage à bagues collectrices. Cet ensemble de bagues métalliques conductrices est appelé un *collecteur*. Lorsque l'enroulement tourne dans le champ magnétique, les bagues collectrices tournent également. Chaque moitié du collecteur glisse sur des contacts fixes appelés *balais* qui connectent l'enroulement à un circuit extérieur.

► **FIGURE 7-35**

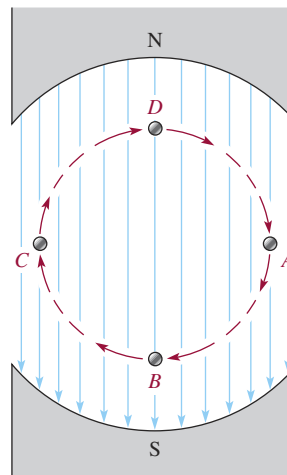
Génératrice c.c. de base.



Entraîné par une force mécanique extérieure, l'enroulement tourne dans le champ magnétique et coupe des lignes de flux à divers angles, tel qu'on le voit à la figure 7-36. À la position *A*, l'enroulement effectue un déplacement parallèle au champ magnétique. À cet instant, la vitesse avec laquelle il coupe les lignes de flux du champ magnétique est de zéro. En se déplaçant de la position *A* à la position *B*, il coupe les lignes de flux de plus en plus vite. À la position *B*, l'enroulement se déplace à angle droit avec le champ magnétique et coupe alors le maximum de lignes de flux. En poursuivant sa rotation de *B* à *C*, la vitesse de coupure des lignes diminue jusqu'au minimum (zéro) en *C*. De la position *C* à la position *D*, la vitesse avec laquelle l'enroulement coupe les lignes de flux augmente à nouveau jusqu'au maximum en *D* avant de revenir à sa valeur minimale en *A*.

► **FIGURE 7-36**

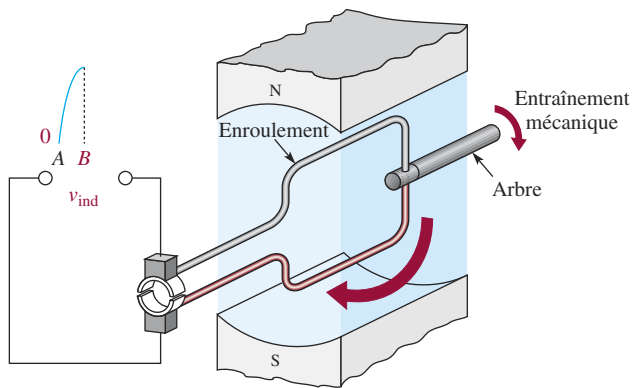
Vue de face du cadre qui coupe le champ magnétique.



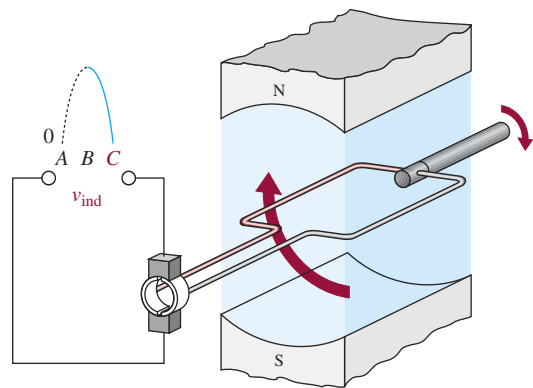
Comme vous le savez, lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, une tension est induite et, d'après la loi de Faraday, celle-ci a une intensité proportionnelle au nombre de tours du conducteur et à la vitesse de son déplacement par rapport au champ magnétique. De plus, vous savez à présent que la variation de l'angle du conducteur par rapport aux lignes de flux détermine l'amplitude de la tension induite, parce que la vitesse avec laquelle le conducteur coupe les lignes dépend de l'angle de déplacement.

La figure 7–37 illustre de quelle façon une tension est induite dans un circuit extérieur pendant la rotation de l'enroulement dans le champ magnétique. Supposons que la position instantanée de l'enroulement est l'horizontale, de sorte que la tension induite vaut zéro. En continuant sa rotation, la tension induite croît au maximum à la position *B*, tel que l'indique la partie a) de la figure. Puis, en passant de *B* à *C*, l'enroulement voit sa tension décroître jusqu'à zéro en *C*, tel qu'on le voit à la partie b).

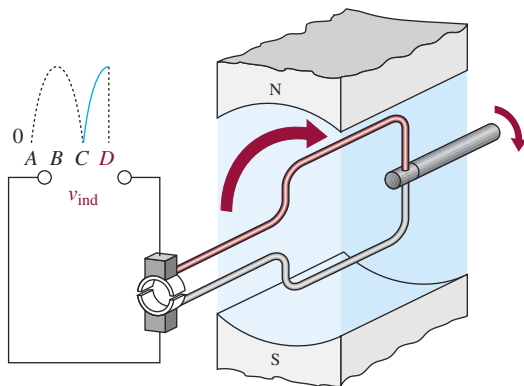
Durant la seconde moitié de la révolution, reproduite aux parties c) et d) de la figure 7–37, les balais passent à des positions opposées dans le collecteur, de sorte que la polarité de la tension induite demeure la même aux bornes de la sortie. Ainsi, l'enroulement durant sa rotation de la position *C* à la position *D* puis de retour à la position *A*, voit sa tension passer de zéro en *C* à la valeur maximale en *D*, pour revenir à zéro en *A*.



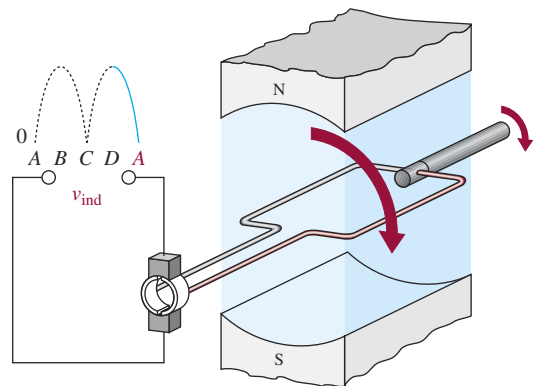
a) Position *B*: Le déplacement de l'enroulement est perpendiculaire aux lignes de flux et la tension est maximale.



b) Position *C*: Le déplacement de l'enroulement est parallèle aux lignes de flux et la tension est nulle.



c) Position *D*: Le déplacement de l'enroulement est perpendiculaire aux lignes de flux et la tension est maximale.



d) Position *A*: Le déplacement de l'enroulement est parallèle aux lignes de flux et la tension est nulle.

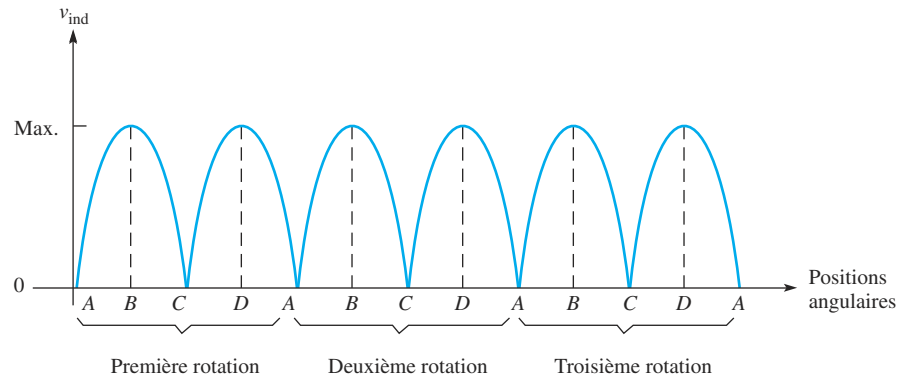
▲ **FIGURE 7–37**

Fonctionnement d'une génératrice c.c. de base.

La figure 7–38 montre comment la tension induite varie à mesure que l'enroulement d'une génératrice c.c. accomplit quelques rotations (trois dans ce cas-ci). Cette tension est une tension c.c. parce que sa polarité ne change pas. Cependant, il s'agit d'une tension dont l'amplitude varie entre zéro et un maximum.

► **FIGURE 7–38**

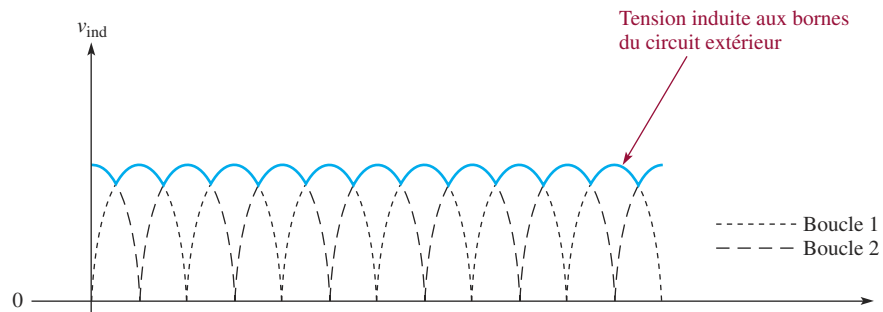
Tension induite durant trois rotations d'un enroulement dans une génératrice c.c.



Lorsqu'on ajoute des enroulements, on obtient aux bornes de sortie la somme des tensions induites dans chaque enroulement. Comme les tensions sont décalées les unes par rapport aux autres, elles ne sont pas au maximum en même temps. Tel que le montre la figure 7–39, la tension c.c. est plus douce avec deux boucles. Il est possible de lisser davantage ces variations en employant des filtres et ainsi obtenir une tension c.c. presque constante. Nous étudierons les filtres en détail au chapitre 13.

► **FIGURE 7–39**

Tension induite par une génératrice à deux boucles. La variation de la tension induite est beaucoup moins prononcée.

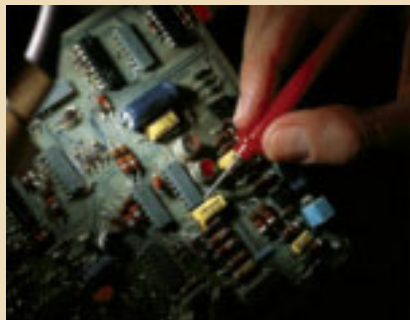


Moteur à courant continu

En principe, la composition d'un moteur c.c. est identique à celle d'une génératrice à courant continu, sauf qu'une source c.c. est branchée au circuit du collecteur pour produire un courant dans l'enroulement. La boucle conductrice se met à tourner par les forces d'attraction et de répulsion du champ électromagnétique créé par le courant de boucle et le champ magnétique statique. On nomme ce principe l'effet moteur. Comme dans le cas de la génératrice c.c., le collecteur agit comme un commutateur pour inverser le sens du courant dans l'enroulement et ainsi produire une rotation continue. Alors que dans la génératrice, une énergie mécanique sert à mouvoir l'enroulement afin d'induire une tension, le moteur emploie plutôt de l'énergie électrique extérieure pour mouvoir l'enroulement et produire une rotation mécanique.

SECTION 7–6 RÉVISION

1. Si le disque en acier du capteur de position d'un vilebrequin s'est arrêté avec une saillie dans l'entrefer, quelle est la tension induite?
2. Qu'advierait-il de la tension induite si l'enroulement d'une génératrice c.c. de base se mettait soudainement à tourner plus rapidement?



PROJET

APPLIQUEZ VOS CONNAISSANCES

Un relais est un dispositif électromagnétique répandu que l'on retrouve dans nombre d'applications de contrôle. Avec un relais, on peut utiliser une faible tension, comme celle d'une pile, pour commuter une tension beaucoup plus élevée, comme le 120 V c.a. d'une prise

murale domestique. Dans cette section, nous allons voir comment un relais est mis en œuvre dans un système d'alarme antivol.

Le schéma de la figure 7-40 reproduit un système d'alarme antivol simple où un relais sert à mettre en action une sirène et des lumières. Le système fonctionne à partir d'une pile 9 V pour que le système demeure fonctionnel en cas de panne du courant.

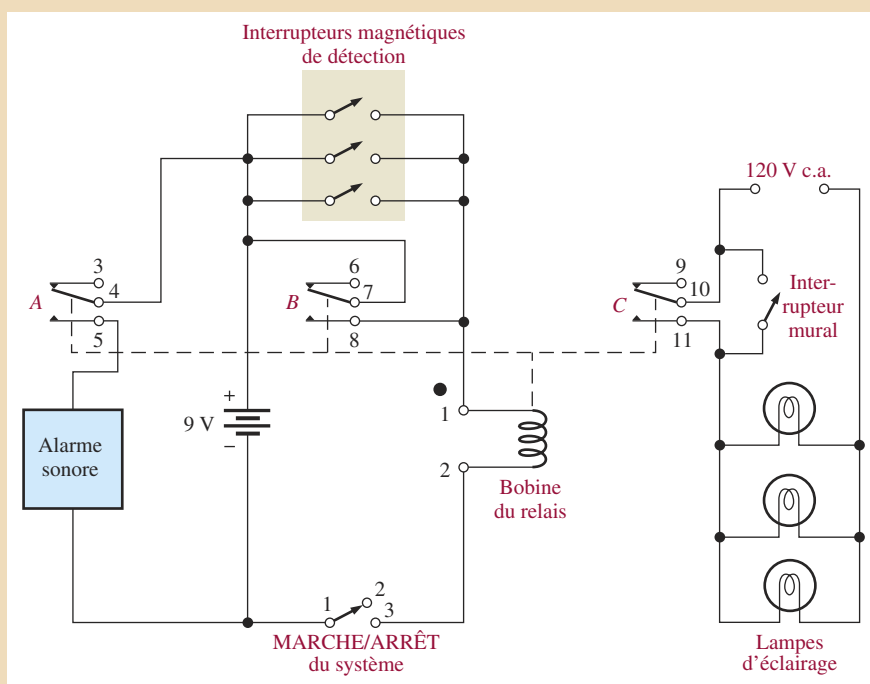
Les interrupteurs de détection magnétiques sont de type à contacts normalement ouverts. Ils sont montés en parallèle et installés dans des fenêtres et des portes. Le relais de type tripolaire bidirectionnel est alimenté par une tension de bobine de 9 V c.c. et absorbe environ 50 mA. Lorsqu'une intrusion survient, un des interrupteurs se ferme et laisse passer le courant de la pile pour activer la bobine. Le relais enclenché ferme trois jeux de contacts normalement ouverts. La fermeture des contacts A déclenche

l'alarme sonore, qui draine 2 A de la batterie. La fermeture des contacts C actionne un circuit d'éclairage dans la maison. Enfin, la fermeture des contacts B verrouille le relais et le maintient enclenché même si l'intrus referme la porte ou la fenêtre par où il a pénétré. En l'absence du contact B en parallèle avec les interrupteurs de détection, l'alarme sonore et les lumières cesseraient de fonctionner dès que l'intrus fermerait la porte ou la fenêtre.

Les contacts du relais ne sont pas physiquement éloignés de la bobine comme le suggère le schéma. On a tracé le schéma ainsi afin de le rendre plus clair. Tout le relais est logé dans le boîtier montré à la figure 7-41. On voit aussi sur ce dessin le numérotage des broches et le schéma interne du relais.

Étape 1: Connexion du système

Élaborez un schéma de branchement et dressez la liste point par point nécessaire



▲ FIGURE 7-40

Système d'alarme antivol simplifié.

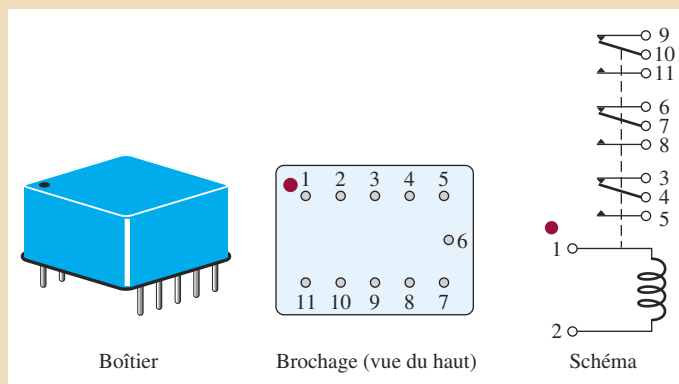
aux interconnexions des composants de la figure 7-42 afin de réaliser le système illustré à la figure 7-40. Les points de raccordement des composants sont identifiés par des lettres.

Étape 2: Test du système

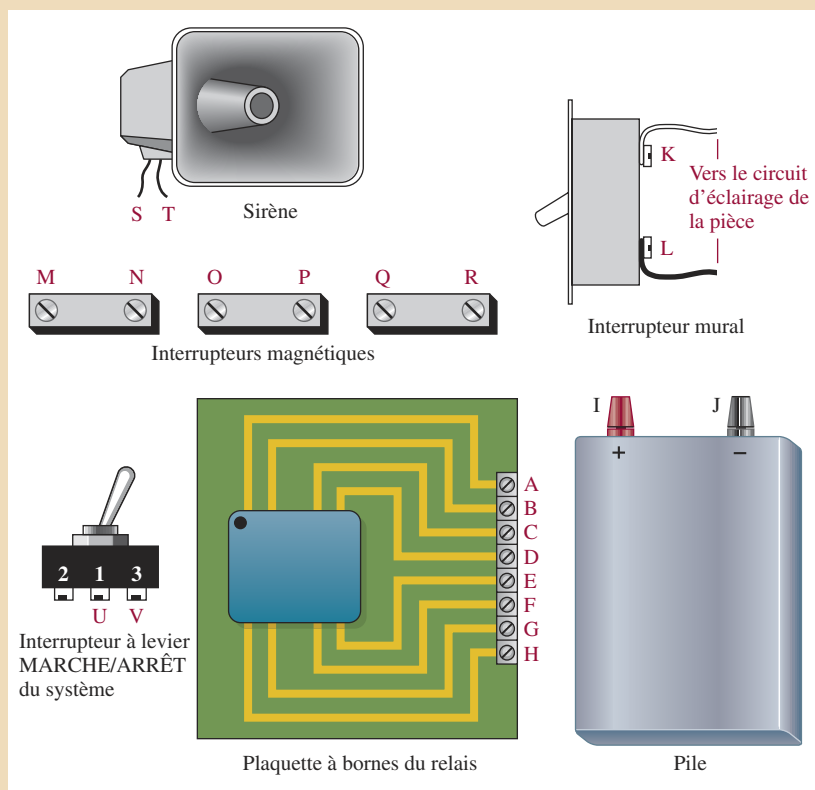
Élaborez une démarche pas à pas pour vérifier le système d'alarme antivol une fois entièrement câblé.

Révision du projet

1. Combien d'interrupteurs magnétiques doit-on fermer à la figure 7-40 pour activer le système?
2. Quel est le rôle de chacun des trois jeux de contacts du relais?



▲ FIGURE 7-41
Relais tripolaire bidirectionnel.



▲ FIGURE 7-42
Ensemble des composants d'un système d'alarme antivol.

RÉSUMÉ

- Les pôles magnétiques contraires s'attirent et les pôles semblables se repoussent.
- Les matériaux pouvant être aimantés sont désignés *ferromagnétiques*.
- Lorsqu'un courant traverse un conducteur, il produit un champ électromagnétique autour du conducteur.
- Vous pouvez appliquer la règle de la main droite pour déterminer le sens des lignes de force électromagnétiques autour d'un conducteur.
- Fondamentalement, un électroaimant est une bobine de fil enroulée autour d'un noyau magnétique.
- Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique ou quand un champ magnétique est en mouvement par rapport à un conducteur, il apparaît une tension induite dans le conducteur.
- Plus le déplacement est rapide entre un conducteur et un champ magnétique, plus la tension induite est élevée.
- Le tableau 7-1 récapitule les grandeurs magnétiques:

► TABLEAU 7-1

SYMBOLE	GRANDEUR	UNITÉ SI
B	Densité du flux magnétique	Tesla (T)
ϕ	Flux	Weber (Wb)
μ	Perméabilité	Weber/ampère-tour-mètre (Wb/At·m)
\mathcal{R}	Réductance	At/Wb
F_m	Force magnétomotrice (fmm)	Ampère-tour (At)
H	Force magnétisante	At/m

TERMES CLÉS

La définition de chaque terme clé figure dans le glossaire à la fin du livre.

Aimantation rémanente Habilité d'un matériau, une fois magnétisé, à maintenir son état magnétisé sans présence d'une force magnétisante.

Ampère-tour (At) Unité de la force magnétomotrice (fmm).

Champ électromagnétique Formation d'une force ou de lignes magnétiques autour d'un conducteur engendrée par le courant électrique à l'intérieur du conducteur.

Champ magnétique Champ de force qui se propage du pôle nord d'un aimant vers son pôle sud.

Courant induit (i_{ind}) Courant généré dans un conducteur lorsque celui-ci se déplace dans un champ électromagnétique.

Flux magnétique Champ de force entre les pôles nord et sud d'un aimant permanent ou d'un électroaimant.

Force magnétisante Quantité de force magnétomotrice (fmm) par longueur d'unité d'un matériau magnétique.

Force magnétomotrice (fmm) Force qui produit un champ magnétique.

Gauss Unité du système CGS pour la densité du flux magnétique.

Haut-parleur Dispositif électromagnétique qui convertit des signaux électriques en ondes sonores.

Hystérésis Caractéristique d'un matériau magnétique où le changement en magnétisation est en retard sur l'application de la force magnétique.

Induction électromagnétique Phénomène ou processus par lequel une tension est produite dans un conducteur lorsqu'il existe un mouvement relatif entre ce conducteur et un champ magnétique ou électromagnétique.

Lignes de force Lignes de flux magnétique d'un champ magnétique qui se propagent du pôle nord vers le pôle sud.