

THÉORIE

MAGNÉTISME

Au dix-septième siècle, Sir William Gilbert croyait que la Terre était un gros aimant ayant des pôles nord et sud. La théorie du magnétisme a été observée pour la première fois à partir d'une pierre d'aimant et ensuite de la réaction des métaux à base de fer. Gilbert a sculpté une boule de pierre aimantée (Figure 1) et a démontré qu'une boussole pointe toujours vers le pôle nord de la Terre, peu importe où elle est placée sur la boule.

La pierre d'aimant est un morceau de magnétite naturellement magnétisé, soit un minéral d'oxyde de fer qui est ferromagnétique. Lorsque la pierre est suspendue dans les airs de sorte qu'elle puisse tourner librement, elle pointe automatiquement vers le pôle Nord. Cette pierre est devenue la première boussole de l'histoire. Les pôles magnétiques des molécules dans la plupart des matériaux sont disposés de façon aléatoire, de sorte qu'il n'y a aucune force magnétique. Dans certains métaux comme le fer, le nickel et le cobalt, les molécules peuvent être alignées de sorte que leur pôle nord pointe chacun dans une direction quelconque et que leur pôle sud soit dans le sens opposé. Ces matériaux peuvent devenir des aimants. Les molécules s'alignent naturellement dans une pierre d'aimant.



Figure 1 Pierre aimantée

Le **champ magnétique**, comme illustré à la figure 2, est l'espace entourant un aimant à travers lequel des lignes de force externes y circulent. La direction de ces lignes est déterminée par la polarité. Chaque aimant (Figure 2) possède un pôle nord et un pôle sud. Les pôles se comportent quelque peu comme des charges électriques. Les pôles opposés s'attirent et les pôles identiques se repoussent (voir Figures 2 et 3). À l'intérieur de l'aimant lui-même, les lignes de force se déplacent du sud au nord. À l'extérieur, elles vont du nord au sud et retournent au pôle sud de l'aimant. Plus il y a de lignes de force, plus fort est l'aimant.

CHAMP MAGNÉTIQUE

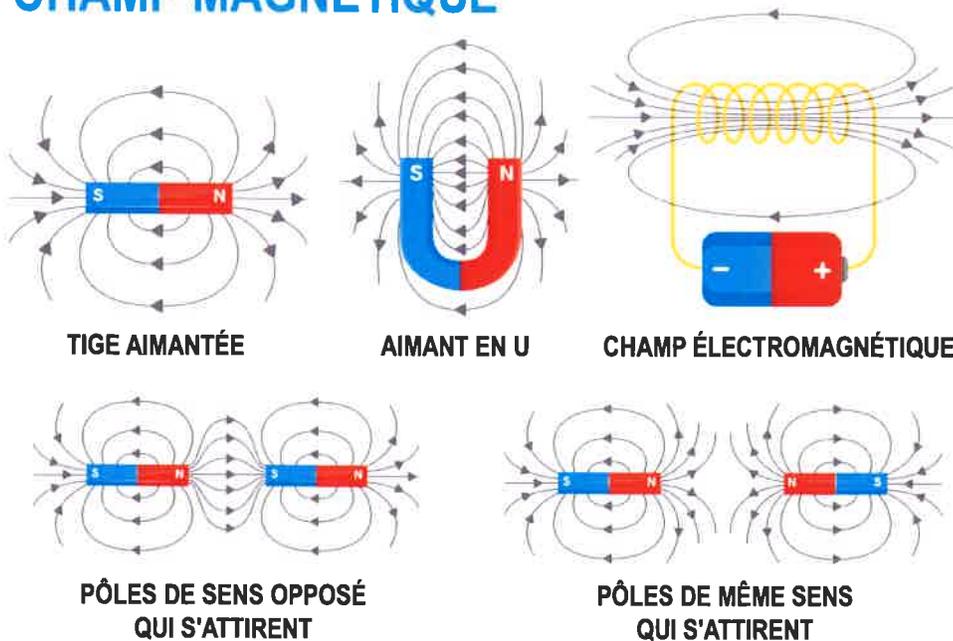


Figure 2 Champs magnétiques de plusieurs aimants différents. Les lignes de force magnétique aussi appelées lignes de flux ou champ magnétique sont directionnelles et sortent du pôle nord et entrent par le pôle sud.

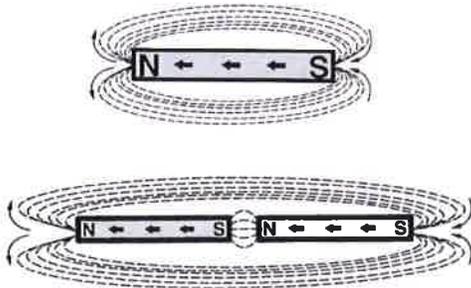


Figure 3 Aimants et leur magnétisme

Un aimant (Figure 3) peut constituer tout objet ou dispositif qui attire le fer, l'acier et d'autres matériaux magnétiques. Fondamentalement, il existe trois types d'aimant :

- L'aimant naturel;
- L'aimant artificiel, qui est fabriqué par l'homme;
- L'électroaimant.

Le magnétisme établit le lien entre l'énergie mécanique et l'électricité. L'électricité et le magnétisme sont reliés étant donné que tout courant électrique traversant un conducteur crée un champ magnétique. En outre, tout conducteur se déplaçant à travers un champ magnétique crée un courant électrique. L'électricité génère le magnétisme et le magnétisme crée l'électricité. Au moyen du magnétisme, un alternateur convertit une partie de la puissance mécanique du moteur en potentiel de force électromotrice (F.E.M.). À l'opposé, le magnétisme permet à un démarreur de convertir l'énergie électrique de la batterie en puissance mécanique pour lancer le moteur.

Toute présence de magnétisme constitue essentiellement de l'électromagnétisme qui provient de l'énergie cinétique des électrons. Chaque fois qu'un courant électrique circule à travers un conducteur, un champ magnétique est créé. Lorsqu'un aimant est librement suspendu, ses pôles tendent à pointer vers les pôles magnétiques nord et sud de la Terre, comme une boussole.

La figure 4 illustre un champ magnétique composé de nombreuses lignes de force invisibles. Ces lignes sont appelées champ magnétique, flux magnétique ou lignes de force magnétique. On peut comparer le flux magnétique au courant électrique. Les lignes de flux sont directionnelles qui SORTENT du pôle nord et qui ENTRENT par le pôle sud. Elles sont concentrées au niveau des pôles et s'étendent dans les zones entre les pôles. Le flux magnétique est le produit du champ magnétique moyen multiplié par la zone perpendiculaire qu'il pénètre. Il est utilisé pour faire fonctionner des solénoïdes et des transformateurs. Dans un générateur électrique où le champ magnétique s'introduit dans une bobine rotative, la zone utilisée pour définir le flux est l'étendue de la zone de la bobine perpendiculairement au champ magnétique. La densité de flux fait référence au nombre de lignes magnétiques par unité de surface. On se sert d'une jauge de Gauss pour mesurer les champs magnétiques.

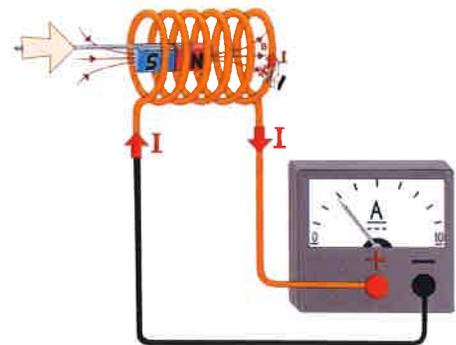


Figure 4 Flux magnétique ou lignes de force magnétique entourant une barre aimantée.

Le champ magnétique est une quantité vectorielle puisqu'il possède une direction et une magnitude. Il montre l'influence magnétique sur les charges électriques en mouvement, les courants électriques et les matériaux magnétiques. Le champ magnétique d'un aimant permanent s'exerce sur des matériaux magnétiques comme le fer et attire ou repousse d'autres aimants.

Résumé du magnétisme

- Les lignes de flux sont directionnelles, sortent des aimants du pôle nord et entrent par le pôle sud.
- Les lignes magnétiques de flux entourant une bobine ressemblent à celles entourant une barre aimantée.
- La densité ou la concentration du flux crée la force magnétique. Un champ magnétique puissant présente un champ de flux à forte densité alors qu'un champ magnétique faible est associé à un champ de flux à basse densité.
- La densité de flux est toujours élevée au maximum au niveau des pôles d'un aimant.
- Les lignes de flux ne se croisent pas dans un aimant permanent.
- Les lignes de flux de même direction s'attirent tandis que celles de direction contraire ont tendance à se repousser.

ÉLECTROMAGNÉTISME

Le magnétisme peut également se former par électricité. Au début du 19^e siècle, les savants ont découvert que les conducteurs porteurs de courant étaient entourés d'un champ magnétique. Le courant passant à travers un conducteur tel qu'un fil de cuivre crée un champ magnétique environnant.

Ce phénomène peut être observé en superposant une boussole sur toute la longueur d'un fil de cuivre à travers lequel le courant circule, comme illustré à la figure 5, du côté positif au côté négatif du circuit. L'aiguille dévie de son orientation nord-sud lorsque cela se produit.

Le flux de courant qui traverse le fil crée un champ magnétique autour de lui. Plus il y a de courant qui circule, plus le champ magnétique est fort. Ce type de magnétisme qui est créé autour du conducteur lorsque le courant circule est appelé l'**électromagnétisme**.



Figure 5 Électromagnétisme

Dans la figure 6, le champ magnétique entourant un conducteur linéaire qui est porteur de courant, se compose de plusieurs cercles concentriques de flux sur toute sa longueur. Le nombre de lignes magnétiques ainsi que leur longueur par rapport à la surface du fil déterminent la force ou le flux magnétique.

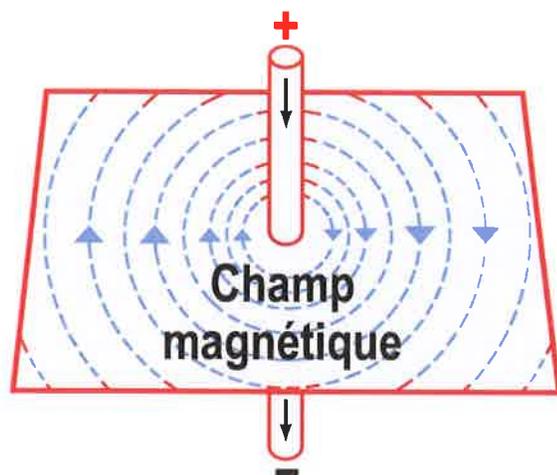


Figure 6 Champ magnétique autour d'un conducteur linéaire, porteur de courant, selon la théorie conventionnelle du flux de courant, qui tourne du positif au négatif.

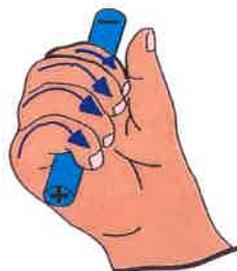


Figure 7 Règle de la main droite qui détermine la direction du champ à partir de la théorie classique du débit.

RÈGLES RELATIVES AU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE

- Les lignes de force magnétique ou flux magnétique ne se déplacent pas lorsque le courant traversant un conducteur reste à une valeur constante. Quand le courant augmente, les lignes de force magnétique environnantes s'éloignent davantage.
- L'intensité et la force des lignes de force magnétique s'accroissent proportionnellement avec l'augmentation du courant qui traverse le conducteur. Ils diminuent aussi proportionnellement avec la réduction du flux de courant dans le conducteur.
- En outre, l'intensité et la force des lignes magnétiques diminuent lorsque la longueur du fil augmente. Cette longueur est inversement proportionnelle au champ magnétique ou au flux.
- Dans une automobile, pour l'électricité et le magnétisme, il est important de noter ici que nous utilisons la théorie conventionnelle du courant qui part du positif pour se rendre au négatif ou à la masse (+ à -). Nous utilisons alors la règle de la main droite pour déterminer la direction des lignes de flux magnétique comme illustré à la figure 7. Cette règle établit que, si vous enveloppez votre main droite autour d'un conducteur porteur de courant avec le pouce dans la direction du flux de courant (du positif au négatif), vos doigts repliés pointent alors vers les lignes de force.

Dans une voiture ou un camion, le champ magnétique créé autour d'un conducteur linéaire peut être assez fort pour interférer avec le flux de courant dans des circuits sensibles à proximité, mais ce n'est pas suffisant pour interagir efficacement. Le fil doit être enroulé sous forme de bobine pour concentrer le champ magnétique. Plus le nombre de spires de la bobine est élevé, plus le champ magnétique est fort. Lorsque vous placez un noyau en fer doux à l'intérieur d'une bobine, il devient un électroaimant assez puissant pour déplacer des objets. Lors des activités d'apprentissage, nous utiliserons la règle de la main droite afin de déterminer la direction des lignes de force magnétique. Il existe également une règle de la main gauche pour la théorie du flux d'électrons, qui circulent du négatif au positif. Nous n'allons utiliser que la règle de la main droite dans les exercices du module E.

Équation pour calculer un champ électromagnétique :

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I$$

Cette équation sert uniquement à illustrer l'interrelation entre les facteurs qui contribuent au champ magnétique :

- B = Intensité du champ magnétique en teslas
- N = nombre de tours ou spires dans la bobine
- μ = constante pour la perméabilité de l'espace libre
- l = longueur du fil de la bobine en mètres
- I = intensité ou courant électrique

En tant que techniciens, vous devez savoir que le nombre de tours dans la bobine et le courant qui y traverse sont directement proportionnels au champ magnétique. Ainsi, si vous augmentez le nombre de spires de la bobine ou bien le courant, le champ magnétique devient plus fort.

Boucle de fil conducteur

Enrouler un fil conducteur en boucle autour d'un conducteur linéaire peut renforcer le champ magnétique. En effet, lorsque le fil est enroulé, les champs qui se rencontrent au centre de la boucle combinent leurs forces (Figure 8). La règle de la main droite s'applique également aux boucles de fil conducteur.

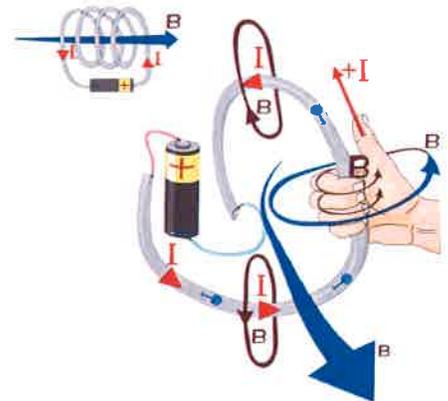


Figure 8 Boucle de fil conducteur

Conducteur de bobine

Si plusieurs boucles de fil conducteur sont présentes dans une bobine, la densité du flux magnétique est renforcée. Les lignes de flux autour d'une bobine sont les mêmes que celles autour d'une barre aimantée (Figure 9). Ces lignes sortent du pôle nord et entrent au pôle sud. On peut utiliser la règle de la main droite pour déterminer le pôle nord d'une bobine. L'augmentation du nombre de spires ou de l'intensité du courant électrique dans la bobine, ou les deux en même temps, peuvent renforcer le champ magnétique.

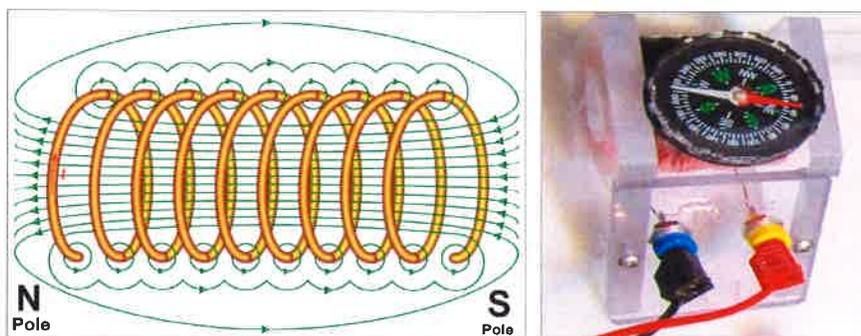


Figure 9 Conducteur de bobine

Électroaimants

Pour renforcer le champ magnétique qui entoure un conducteur porteur de courant, il faut ajouter un noyau en fer doux (Figure 10). La perméabilité du fer doux fait en sorte que les lignes de flux magnétique peuvent le traverser facilement. Si une tige de fer est placée à l'intérieur d'un conducteur de bobine, les lignes de flux se concentrent dans le noyau de fer, plutôt que de passer à côté. Cette concentration de lignes qui fait augmenter la force du champ magnétique à l'intérieur de la bobine définit parfaitement les électroaimants.

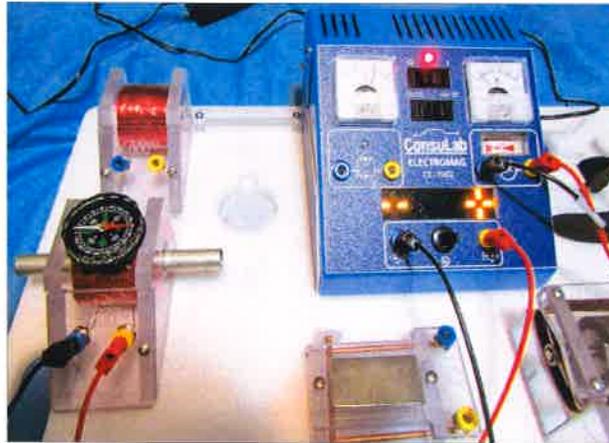


Figure 10 Électroaimants

Si la bobine est constituée de plusieurs boucles de fil, la densité du flux magnétique est alors renforcée. Les lignes de flux autour d'une bobine sont les mêmes que celles qui entourent une tige aimantée (Figure 11). La règle de la main droite montre le pouce et les doigts qui indiquent la direction du flux de courant, du positif au négatif, et aussi celle du champ magnétique. Les lignes magnétiques de force ou de flux sortent du pôle nord et entrent par le pôle sud.

Vous pouvez utiliser la règle de la main droite (Figure 12) pour trouver le pôle nord d'une bobine. Il suffit de saisir la bobine avec votre main droite en repliant vos doigts autour de la surface dans la direction du flux de courant, du positif au négatif. Votre pouce va automatiquement pointer vers le nord magnétique de l'électroaimant. Plus il y a de tours de fil et de courant dans l'électroaimant, plus le champ magnétique est renforcé.



Figure 12 Règle de la main droite pour les bobines

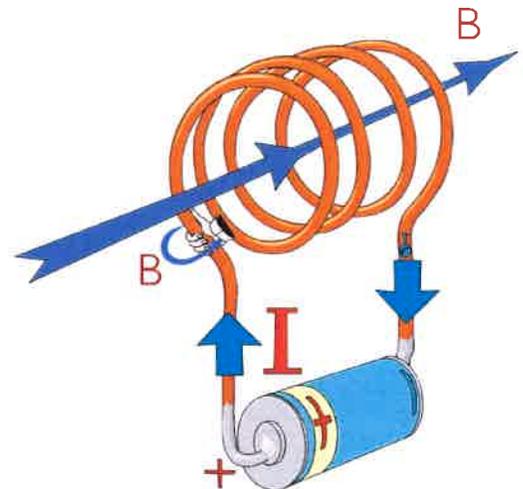


Figure 11 Le champ magnétique est généré de B à B lorsque le courant traverse la bobine dans la direction du flux magnétique.

LES LOIS DE FARADAY

Un champ magnétique peut créer un flux de courant à travers un conducteur tant que l'un d'eux est en mouvement. L'induction magnétique est le phénomène physique qui résulte de l'utilisation d'un aimant permanent pour créer un champ. La figure 13 illustre bien ce phénomène. Lorsqu'un conducteur est maintenu en place à l'intérieur du champ magnétique d'un aimant en U, tel qu'illustré dans le schéma 1, le voltmètre qui est connecté au conducteur n'indique aucune tension, soit aucune différence de potentiel électrique ou de force électromotrice entre ces 2 points. Tant que l'aimant et le conducteur sont fixes, aucun courant ne circule. Cependant, lorsque le conducteur est déplacé dans le champ magnétique afin qu'il traverse les lignes de force, le voltmètre enregistre alors une différence de tension selon le schéma 2. Cette lecture prouve que le courant se déplace. Il circule lorsque le conducteur ou l'aimant est en mouvement; dès qu'un des deux s'arrête, le courant cesse de se déplacer. Le courant et la tension induits dans le conducteur peuvent s'accroître de trois façons :

- Par l'augmentation de la vitesse à laquelle les lignes de force sont traversées par le conducteur;
- Par l'augmentation du nombre de brins du conducteur traversés par des lignes de force;
- Par l'augmentation de la force du champ magnétique.

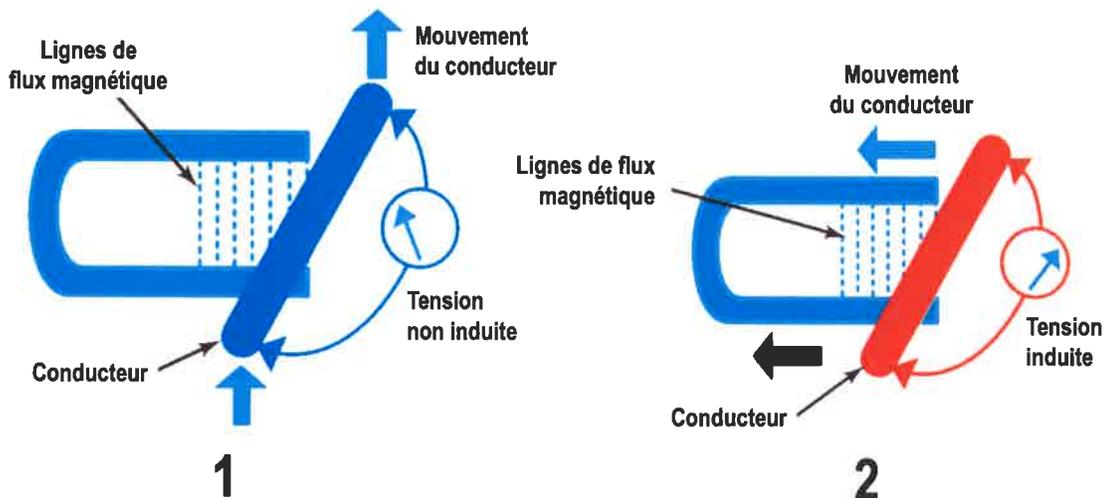


Figure 13 Induction magnétique

L'induction électromagnétique et les lois de Faraday

Les travaux de Faraday ont permis de définir deux lois sur l'induction électromagnétique. La **première loi** décrit l'induction de la force électromotrice (F.E.M.) dans un conducteur et la **deuxième loi** quantifie la F.E.M. produite dans le conducteur. Elles servent notamment à expliquer les principes de fonctionnement des dynamos ou génératrices (CC) et des alternateurs (CA) qui produisent du courant dans une voiture ou un camion.

Première loi de Faraday

Michael Faraday a déclaré qu'une force électromotrice (F.E.M.) est induite dans une bobine lorsque le flux magnétique qui la traverse change avec le temps. Chaque fois qu'un conducteur est placé dans un champ magnétique variable, une F.E.M. est induite. Si le circuit conducteur est fermé, un courant est induit et il est appelé *courant induit*.

Deuxième loi de Faraday

La force électromotrice (F.E.M.) induite dans une bobine est égale au taux de changement du flux magnétique. Le flux magnétique est le produit résultant du nombre de tours dans la bobine et du flux magnétique associé à la bobine. Les courants sont produits par des variations dans le champ magnétique. Ils sont appelés des courants induits, car ils sont générés par un champ magnétique changeant. La F.E.M. qui produit ce courant est nommée une *force électromotrice induite*.

SOLÉNOÏDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Un solénoïde (Figure 14) est un dispositif qui utilise l'électromagnétisme pour produire des mouvements en petits incréments d'avant en arrière qui sont commandés individuellement. Cependant, le solénoïde conventionnel produit beaucoup plus de force de maintien qu'un relais. Cela signifie que le solénoïde peut faire plus que fermer les contacteurs comme le fait un relais.

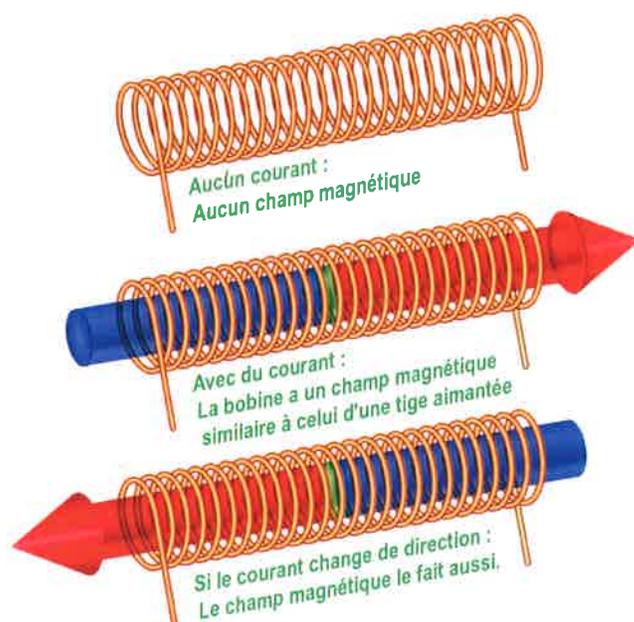


Figure 14 Le solénoïde électromagnétique est une bobine de fil conducteur de forme cylindrique qui agit comme un aimant lorsqu'il transporte du courant électrique. La polarité de la bobine peut être modifiée pour inverser le mouvement.

Lorsque le courant traverse la bobine d'un solénoïde, l'électromagnétisme déplace le noyau en fer dans la bobine; quand le courant cesse, le noyau retourne à sa position de base. Ces mouvements de va-et-vient du noyau peuvent être associés à une partie mobile d'un dispositif. Pensons notamment à une serrure à commande électrique munie d'une gâche qui peut se déplacer dans les deux directions afin de verrouiller ou de déverrouiller la portière d'un véhicule.

Vous pouvez utiliser la bobine du module A-2 de l'ensemble CL-1902 ainsi qu'une tige en fer pour démontrer le fonctionnement d'un actionneur à solénoïde (Figure 15), selon l'exemple de la serrure à commande électrique. La bobine du module A-2 devient électromagnétique lorsqu'elle est mise sous tension. Le module A-1 pourrait également être employé pour démontrer cet effet, mais il n'y a pas assez de place au centre de la bobine pour y insérer la tige. Grâce à l'utilisation de l'électromagnétisme, le solénoïde peut faire déplacer la tige dans un sens, puis dans l'autre en inversant simplement la polarité du circuit.

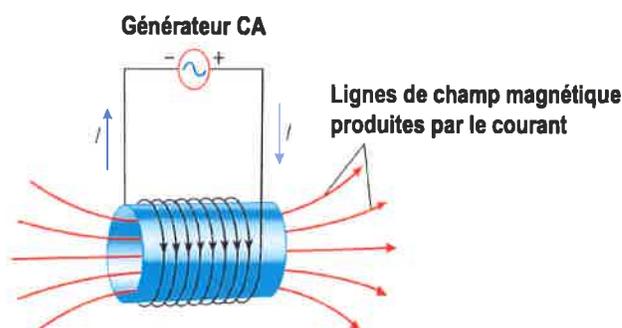


Figure 15 Actionneur à solénoïde

AUTO-INDUCTANCE

L'auto-inductance est l'induction d'une force électromotrice (F.E.M.) dans un circuit lorsque la variation du courant est inconstante. Elle résiste ou s'oppose aux changements de courant qui traverse le circuit. Ce phénomène est dû à la F.E.M. auto-induite qui est produite dans la bobine. L'auto-inductance est l'induction d'une tension dans un fil porteur de courant. La loi de Lenz stipule que cette tension auto-induite tend à s'opposer au courant qui la produit. Si le courant continue à augmenter, cette nouvelle tension s'oppose à l'augmentation. Lorsque le courant se stabilise, la contre-tension n'est plus induite. Il n'y a plus d'expansion des lignes de flux, donc aucun mouvement relatif. Lorsque le courant envoyé à la bobine est coupé, les lignes de flux magnétique en s'effondrant induisent aussitôt une tension dans la bobine. Cette dernière tente de maintenir le courant de départ. La tension auto-induite s'oppose et ralentit la diminution du courant d'origine. Elle s'oppose à la tension de source et on l'appelle *force contre-électromotrice (F.C.E.M.)*. À titre de référence, prenez connaissance de l'équation d'auto-inductance suivante :

$$E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

E = F.E.M. générée

$-L$ = Auto-inductance mesurée en henrys

I = Variation ou différence du courant dans la bobine

t = Variation ou différence du temps écoulé

En utilisant l'équation ci-dessus comme référence, lorsque nous avons une variation de courant d'un alternateur ou d'une batterie (Figure 15) avec une différence du temps écoulé (t) qui demeure constante, le nombre de lignes de force mesurées par la variation de courant (I) reste également constant. Il n'y a alors aucune présence de F.C.E.M. dans la bobine pendant cette durée. Si l'alimentation est coupée, le courant de batterie diminue entre T1 et T2. Au fur et à mesure que ce courant diminue, les lignes de flux magnétique générées par le courant vont réduire par le fait même. Une force contre-électromotrice dans la bobine est produite par induction électromagnétique. Elle empêche le flux magnétique provenant du courant de diminuer et sa direction reste la même que celle de la F.E.M. générée par le générateur CA (alternateur) ou le courant de la batterie. La C.F.E.M. s'oppose à toute modification du courant dans un circuit. L'auto-inductance agit comme une inertie. Il faut donc garder un juste équilibre avec la force contre-électromotrice qui a été créée pour établir le courant. On parvient à cet équilibre en tirant l'énergie de potentiel magnétique stockée dans l'armature d'un solénoïde automobile.

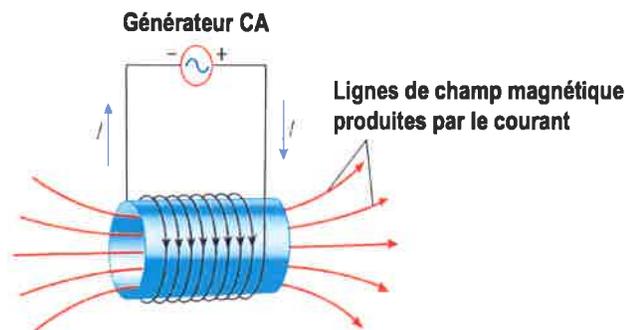


Figure 15 Actionneur à solénoïde

INDUCTION MUTUELLE

Lorsque deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique d'une des bobines tend à se lier à l'autre. Cela génère une tension dans la seconde bobine. La propriété magnétique d'une bobine qui affecte ou modifie la tension d'une autre bobine est appelée *induction mutuelle*. Le changement de courant dans la bobine primaire crée un changement de flux magnétique dans la bobine secondaire, produisant ainsi une force électromotrice induite dans la bobine secondaire. De plus, lorsque deux bobines sont rapprochées et reliées par le même noyau de fer, l'énergie peut être transférée d'une à l'autre par le couplage magnétique (Figure 16).

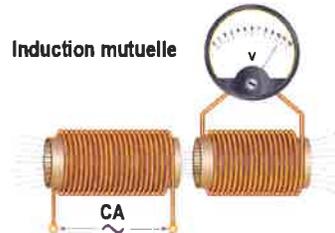


Figure 16 Induction mutuelle (Source : Shutterstock^{MC})

L'induction mutuelle représente l'expansion ou l'effondrement du champ magnétique autour de la première bobine qui induit une tension dans la seconde. Généralement, les deux bobines sont enroulées sur le même noyau de fer. L'enroulement qui peut être connecté à une batterie par l'intermédiaire d'un commutateur est l'enroulement primaire. L'autre enroulement qui est relié à un circuit externe est l'enroulement secondaire. L'inductance mutuelle est le principe selon lequel fonctionnent les transformateurs et les bobines d'allumage. Les conditions de commutation sont indiquées à la figure 16 :

1. Lorsque le commutateur est ouvert, il n'y a pas de courant dans l'enroulement primaire, ni de champ magnétique et, par conséquent, ni de tension dans l'enroulement secondaire;
2. Lorsque le commutateur est fermé, le courant circule dans le circuit et un champ magnétique se forme autour des deux enroulements. L'enroulement primaire transforme ainsi l'énergie électrique de la batterie en énergie magnétique par rapport au champ en expansion. Au fur et à mesure que le champ se développe, il traverse l'enroulement secondaire et y induit une tension. Un instrument mesureur connecté au circuit secondaire indique le courant;
3. Lorsque le champ magnétique est étendu à sa pleine puissance, il reste stable tant que le même débit de courant est présent. Les lignes de flux arrêtent de traverser l'enroulement. Il n'y a pas de mouvement relatif ni de tension dans l'enroulement secondaire, comme indiqué par l'instrument mesureur.
4. Lorsque vous ouvrez le circuit, le courant principal s'arrête et le champ magnétique s'effond. Par conséquent, les lignes de flux magnétique traversent l'enroulement secondaire en sens opposé. Cela induit une tension secondaire avec du courant dans la direction opposée, comme l'indique l'instrument mesureur.

À titre de référence, prenez connaissance de l'équation suivant pour définir l'inductance mutuelle :

$$E = -M \frac{\Delta I_p}{\Delta t}$$

E = F.E.M. induite dans la bobine secondaire B-2

$-M$ = Inductance mutuelle mesurée en henrys

I_p = Variation ou différence de courant dans la bobine primaire

t = Variation ou différence du temps écoulé

La taille d'une force électromotrice induite mutuellement est proportionnelle à la différence de courant calculée par le nombre de lignes de force magnétique dans la bobine primaire (B-1 du CL-1902) dans une unité de temps. Le résultat est multiplié par une constante que nous appellerons $-M$, déterminée par le nombre de spires des bobines B-1 et B-2 ainsi que par d'autres facteurs tels que le type de fer constituant la tige à insérer et l'orientation des deux bobines. Ces renseignements sont fournis à titre de référence uniquement. **Le principe de l'inductance mutuelle est utilisé pour faire fonctionner de nos jours tous les transformateurs et les bobines d'allumage d'un véhicule.**

SYSTÈME D'ALLUMAGE AUTOMOBILE

Le système d'allumage automobile conventionnel (Figure 17) repose sur les principes de l'électro-magnétisme appliqués à la bobine d'allumage, qui est en fait un transformateur élévateur fonctionnant selon l'inductance mutuelle. Le système comprend les composants et le filage nécessaires pour créer et distribuer une tension pouvant atteindre 40 000 volts ou plus. Il applique la tension de batterie au côté positif de la bobine d'allumage et relie le côté négatif à la masse. Lorsque le fil négatif de la bobine est mis à la masse, le circuit primaire de la bobine (à basse tension) est bouclé et un champ magnétique est créé par les enroulements de la bobine. Lorsque le circuit est ouvert, le champ magnétique s'effond et induit une haute tension dans l'enroulement secondaire de la bobine d'allumage, qui est utilisée pour générer une tension suffisamment grande pour connecter les électrodes de la bougie afin de créer une étincelle. Les systèmes d'allumage conventionnels utilisaient un rupteur mobile (points d'allumage) pour établir et interrompre la connexion électrique à la masse. Aujourd'hui, le système d'allumage électronique est muni d'un capteur tel qu'une bobine de détection ou d'un commutateur à effet Hall pour signaler au module de commande du véhicule de créer et de couper la masse primaire de la bobine d'allumage.

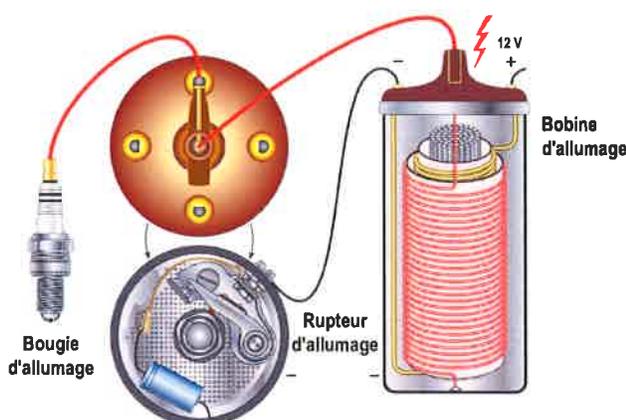


Figure 17 Rupteur et condensateur d'un système d'allumage automobile conventionnel

Lorsque le contact d'allumage est mis, la tension 12 V doit être présente à la borne positive et également à la borne négative de la bobine. Les signes positif (+) et négatif (-) de la bobine indique que sa borne positive est plus proche de la borne positive de la batterie que sa borne négative. C'est ce que l'on appelle la polarité de bobine. La polarité est déterminée par le sens du courant de la bobine, soit vers la gauche ou vers la droite. La polarité d'une bobine d'allumage est surtout déterminée par le sens de rotation des enroulements. La polarité correcte est indiquée sur ses bornes primaires. Si les fils primaires de la bobine sont inversés, la tension nécessaire pour allumer les bougies d'allumage augmente de 40 %. La tension de sortie de la bobine est directement proportionnelle au rapport entre le nombre de spires primaires et de spires secondaires utilisées dans la bobine.

Bobine d'allumage

La bobine d'allumage crée une étincelle à haute tension par induction électromagnétique (I.E.M.). Le principe de l'induction électromagnétique ou de l'I.E.M. stipule que, lorsqu'un champ magnétique traverse un conducteur, une tension y est induite. Dans certains véhicules, les bobines d'allumage sont de véritables transformateurs élévateurs dans lesquels les enroulements primaire et secondaire ne sont pas connectés électriquement.

RÈGLE DE LA MAIN DROITE

Un conducteur linéaire, comme les tiges en cuivre du module D, comporte des lignes de force qui gravitent de façon circulaire. Vous pouvez déterminer la polarité des lignes de force autour du conducteur en utilisant la règle de la main droite (Figures 18 et 19) pour connaître la direction du flux. Pour ce faire, il faut enrouler la main droite autour d'un fil conducteur porteur de courant avec votre pouce pointant dans la direction du débit de courant (du positif au négatif), avec les doigts repliés pointant dans la direction des lignes de force ou du flux magnétique. Pour tout ce qui touche l'électricité et le magnétisme dans le domaine automobile, il est important de noter qu'on utilise souvent la théorie conventionnelle du courant positif au négatif ou à la masse (+ à -).



Figure 18 Règle de la main droite pour la direction de champ utilisée avec la théorie conventionnelle du débit

Le champ magnétique ou le flux autour d'un conducteur peut être assez fort pour effectuer un travail utile comme l'exemple du déplacement de la tige conductrice sur roues du module D. Pour concentrer le champ magnétique, le fil doit être enroulé dans une bobine. Plus il y a de spires, plus le champ magnétique est fort. Lorsqu'un noyau en fer doux est inséré dans la bobine, il devient un électroaimant puissant qui est capable de déplacer des objets comme le fait un solénoïde.

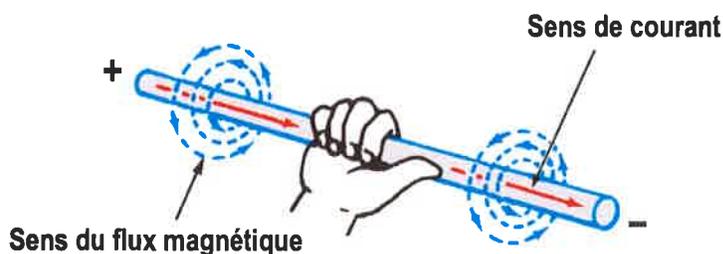


Figure 19 Règle de la main droite pour trouver la direction du champ magnétique et du courant

SYSTÈME DE CHARGE D'UN GÉNÉRATEUR CA

L'alternateur (Figure 20), ou générateur CA, est entraîné par le vilebrequin par l'entremise d'une courroie afin de convertir l'énergie mécanique du moteur en électricité. L'électricité est générée par l'action de la ligne de force magnétique du rotor traversant un conducteur appelé stator qui y induit une tension. Cette énergie maintient l'état de charge de la batterie (E.C.B.) et actionne les charges du système électrique. Les caractéristiques d'un système de charge sont décrites ci-dessous.

- L'alternateur est associé au courant alternatif (CA) qu'il génère;
- Le courant alternatif est redressé ou converti en courant continu (CC) à l'aide d'un pont redresseur à diodes pour alimenter la batterie en CC à pleine charge;
- L'alternateur doit produire suffisamment d'électricité pour recharger la batterie et alimenter les charges du véhicule;
- Le stator vient du mot *stationnaire*, parce que le conducteur d'un alternateur ne bouge pas contrairement à l'armature d'une dynamo ou d'une génératrice CC.



Figure 20 Alternateur entraîné par courroie

DYNAMO OU GÉNÉRATRICE CC

Pour mieux comprendre l'alternateur, nous allons examiner les principes élémentaires de la dynamo ou de la génératrice CC. Elle se sert également de l'induction électromagnétique pour produire du courant continu, comme illustré à la figure 21. Lorsque les lignes de force magnétique traversent un conducteur (boucle filaire), une tension est induite dans ce même conducteur. La génératrice CC utilise un noyau feuilleté ou des feuilles de fer pour créer un électroaimant. Lorsque le courant traverse la bobine, un champ ou flux magnétique est alors créé entre ses axes polaires. On pourrait aussi se servir d'aimants permanents.

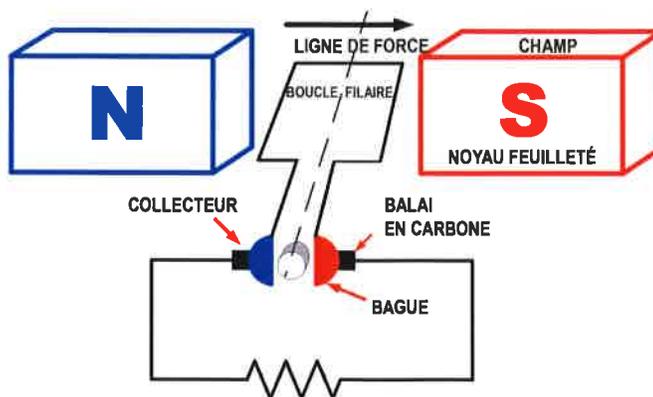


Figure 21 Dynamo ou génératrice CC

La figure 22 illustre une seule boucle de fil métallique entre les pôles nord et sud. Lorsque cette boucle tourne dans des champs magnétiques, elle traverse les lignes de force et induit une tension. Quand le circuit de la boucle de fil est complété, le courant circule.



Figure 22 Génératrice CC

Rotor

La boucle filaire du rotor est connectée à une double bague appelée *collecteur à bague rotatif* et des balais en carbone captent l'énergie électrique lorsque les bagues tournent. Les conducteurs des balais transfèrent l'énergie vers le circuit de charge illustré sous la forme d'une résistance à la figure 21. Durant la rotation complète de la boucle filaire, la tension induite s'inverse et le courant circule alors dans la direction opposée (courant CA) après le premier demi-tour. Pour produire une énergie de sortie dans une direction ou une polarité (courant continu), on se sert du collecteur à bague rotatif. Au cours du second demi-tour, les balais en carbone s'énergisent à partir des segments de commutation opposés à ceux sur lesquels ils glissent pendant le premier demi-tour en conservant le même sens de rotation. La forme d'onde de sortie n'est pas un courant continu de niveau constant, mais augmente et diminue pour créer un modèle appelé courant continu pulsé. Ainsi, pour un tour complet de boucle filaire (360°), deux formes d'onde (onde sinusoïdale) sont produites.

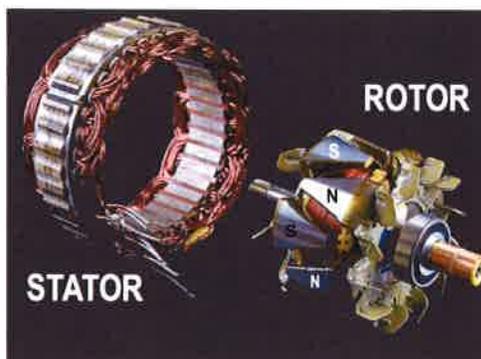


Figure 23 Rotor de l'alternateur (enroulement inducteur)

L'enroulement inducteur (Figure 23) génère un champ magnétique et remplace les enroulements de champ magnétique à noyau feuilleté utilisés dans une génératrice CC. Les pôles du rotor peuvent conserver un certain magnétisme lorsqu'ils ne sont pas sollicités. Toutefois, le magnétisme résiduel n'est pas assez fort pour induire une tension entre les conducteurs. Ainsi, l'enroulement inducteur ou l'enroulement de champ fait varier le courant inducteur à travers l'enroulement du rotor pour gérer la force du champ magnétique et ce courant inducteur est contrôlé par un régulateur de tension en ajoutant une résistance en série au circuit. Un noyau en fer souple est monté à l'intérieur de l'enroulement du rotor qui est magnétisé lorsque le courant inducteur circule dans l'enroulement. Les pôles prennent la polarité magnétique du noyau auquel ils sont fixés et le courant est acheminé à l'enroulement inducteur par des bagues collectrices et des balais dans un alternateur à balais. En combinant le fer doux du noyau à l'acier des moitiés du rotor, cela améliore la perméabilité du champ magnétique.

Stator

La figure 24 est une représentation graphique d'un alternateur, dont l'induit ou le stator remplace la carcasse de la génératrice CC. Les enroulements du stator sont stratifiés pour empêcher la formation de courants de Foucault indésirables dans le noyau ferreux. Trois conducteurs de l'alternateur sont enroulés autour du noyau cylindrique feuilleté pour former une seule pièce appelée le *stator*. Le stator ne tourne pas, tout comme le collecteur de la génératrice CC. Les enroulements du stator comprennent chacun un certain nombre de spires et sont espacés uniformément autour du noyau. Il y a autant d'enroulements statoriques que de paires de pôles N-S dans le rotor. L'alternateur à balais utilise des balais en carbone qui se glissent sur deux bagues collectrices (figure 24). Ces balais sont alimentés par le courant de la batterie qui entre et qui sort du circuit du stator. Ils sont installés dans des porte-balais. Le courant inducteur est d'environ 1,5 à 3,0 ampères.

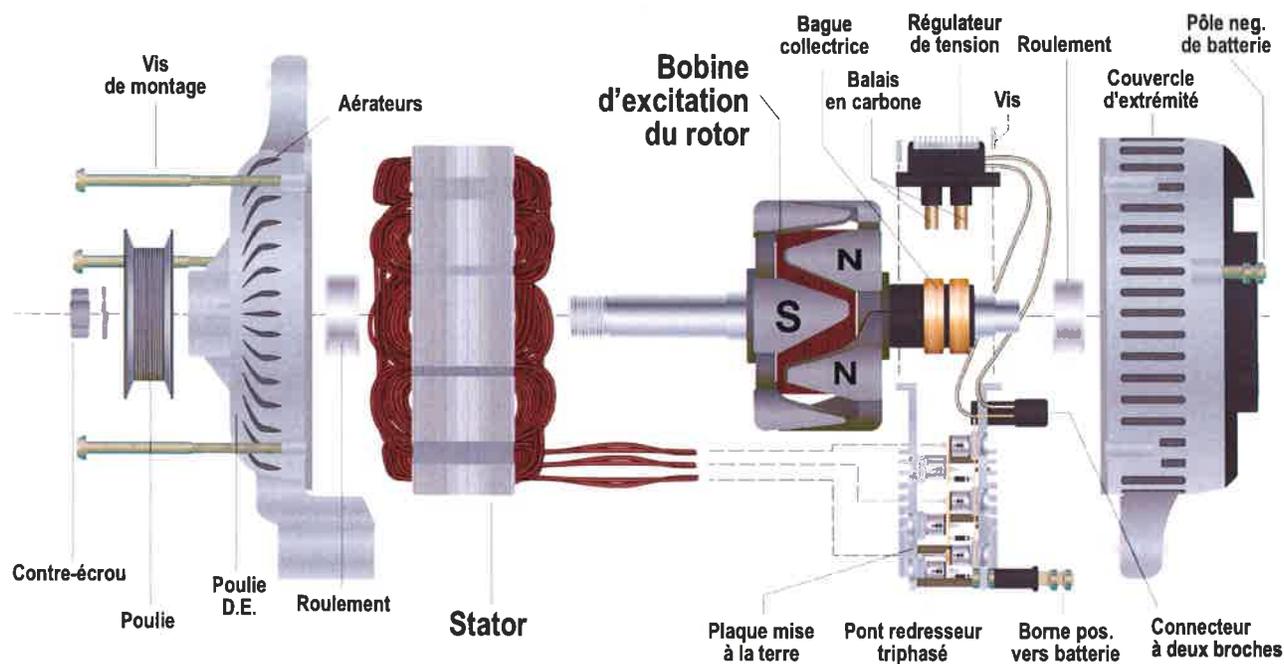


Figure 24 Vue éclatée de l'alternateur et de son stator

CIRCUIT DE CHARGE DE L'ALTERNATEUR

Le circuit de charge de l'alternateur (Figure 25) est constitué d'un aimant rotatif à l'intérieur d'un stator ou conducteur à boucle fixe. Le courant alternatif produit dans le conducteur est redressé par une seule diode comme dans le redressement à simple alternance ou par plusieurs diodes pour le redressement à double alternance. Les activités d'apprentissage du présent manuel ne traitent pas de la régulation de tension. Cependant, dans un alternateur automobile, le régulateur de tension limite le courant d'excitation et la tension de sortie de l'alternateur en fonction des spécifications du système électrique. Le courant CA induit une tension dans le stator en faisant tourner le champ magnétique à l'intérieur du conducteur à boucle fixe. La sortie de courant CA la plus élevée est produite chaque fois que le rotor est parallèle au stator et à ses champs magnétiques positionnés à angle droit. Le rotor fait un quart de tour et se place en parallèle à 90 degrés de la position du stator et des champs magnétiques, faisant passer la tension en crête positive, puis en crête négative, pour produire une tension d'onde sinusoïdale. La forme d'onde est contrôlée par l'angle entre l'aimant et le conducteur.

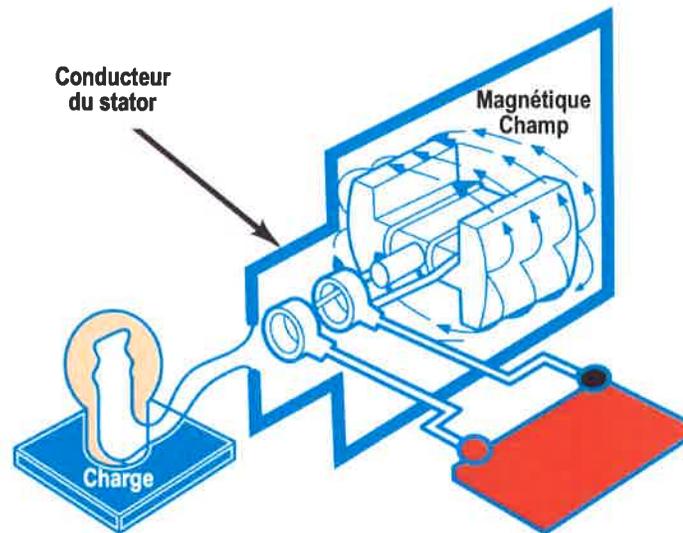


Figure 25 Fonctionnement basé sur la rotation du champ magnétique à l'intérieur d'un conducteur à boucle fixe

Le régulateur de tension (Figure 26) installé dans un véhicule ajoute une résistance en série au circuit de champ par l'intermédiaire d'un dispositif mécanique ou électronique ou par la gestion contrôlée du moteur.

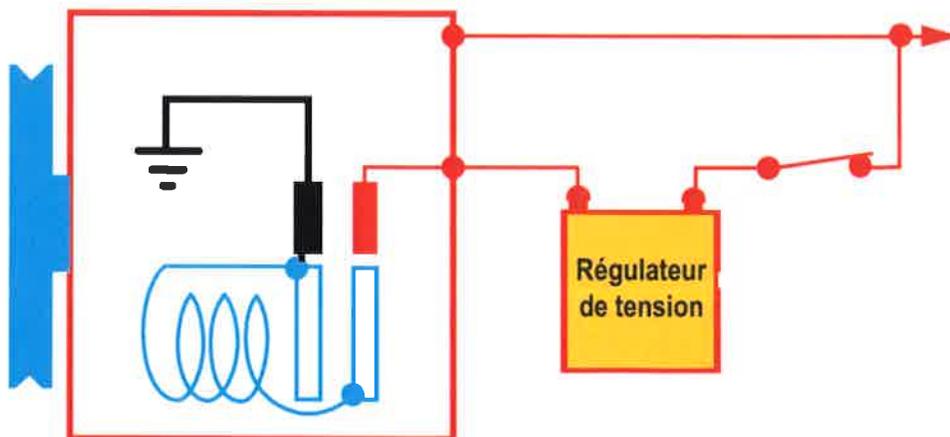


Figure 26 Régulation de la tension

Redressement à simple alternance

Un redresseur à simple alternance transforme la tension CA en tension CC (Figure 27). Le circuit redresseur à simple alternance utilisé dans l'ensemble CL-1902 ne contient qu'une seule diode pour cette transformation. Il est défini comme un type de redresseur qui permet de ne passer qu'un demi-cycle d'une forme d'onde de tension CA tout en bloquant l'autre.



Figure 27 Diode simple du module E utilisée comme redresseur à simple alternance

Pont redresseur à diodes à double alternance

Le courant du groupe de diodes à double alternance (Figure 28) circule d'abord dans un sens, puis dans l'autre, de sorte qu'il est qualifié d'alternatif. Tant que le rotor tourne, le courant inverse son débit à chaque demi-tour. Les systèmes automobiles nécessitent du courant continu (CC) pour fonctionner. Le courant alternatif ou CA doit être redressé pour diriger le courant visant à recharger la batterie et à alimenter les systèmes du véhicule. Cela s'effectue grâce à des diodes. Des diodes supplémentaires sont nécessaires dans le circuit pour compléter le redressement à double alternance (Figure 28).

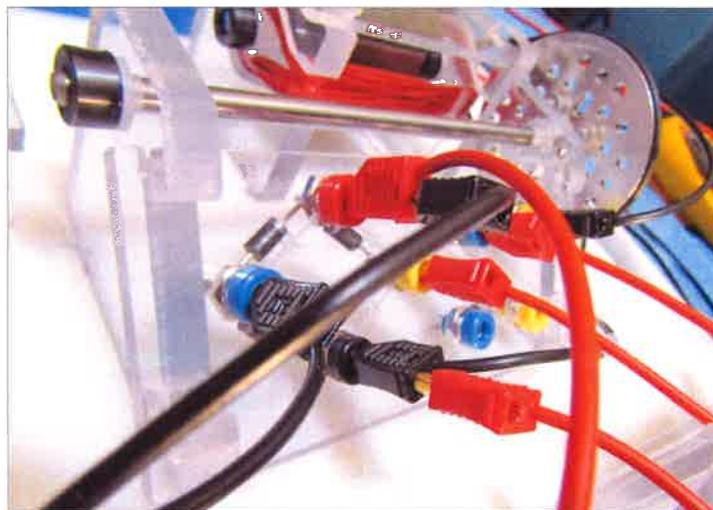


Figure 28 Quatre diodes du module E utilisées comme pont redresseur à double alternance

Une diode agit comme un interrupteur unidirectionnel ou une soupape électrique. La diode bloque la moitié de la tension CA (Figure 29). Elle permet au courant de circuler de X à Y, comme illustré dans la section A du schéma ci-dessous. Dans la section B, le courant ne peut pas circuler de Y à X, car la diode bloque le chemin. La première moitié du débit (de X à Y) peut traverser la diode, tel qu'indiqué dans le graphique (semi-onde sinusoïdale XY). La seconde moitié (de Y à X) n'a pas pu passer par la diode et elle n'est pas représentée dans la forme d'onde du graphique, car le courant n'a jamais traversé le circuit. Lorsque la tension s'inverse au début du cycle de rotor suivant, le débit de courant peut circuler via la diode XY.

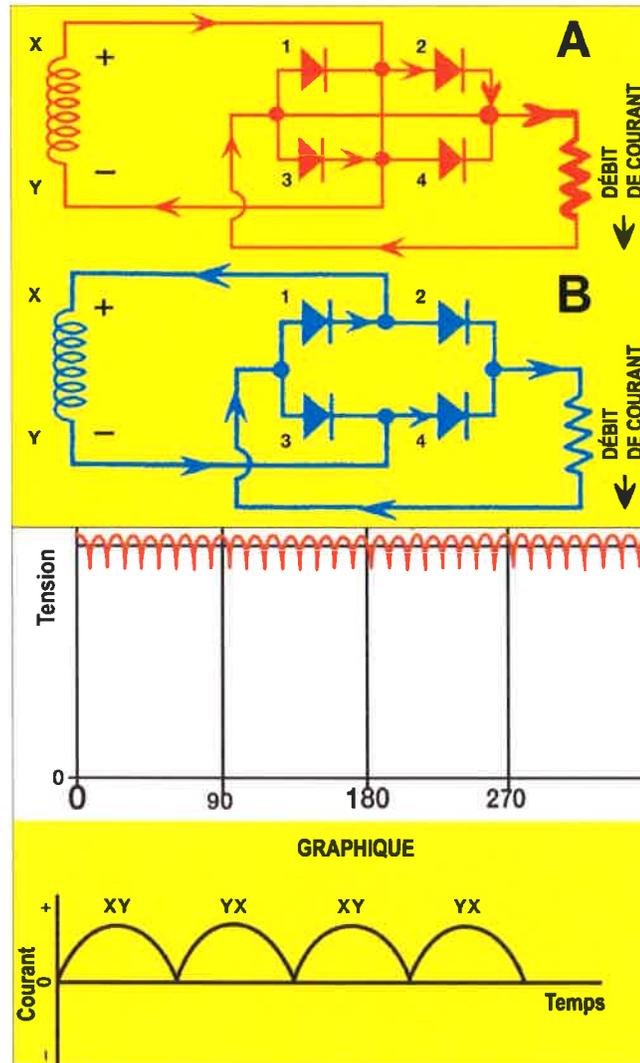


Figure 29 Pont redresseur à diodes à double alternance

Lorsque vous ajoutez des diodes supplémentaires au circuit, cela permet de redresser plus de tension CA en tension CC. Dans la section A, le courant passe de X à Y. Il part de X, traverse la diode n° 2, puis la charge, puis la diode n° 3 et retourne à Y. Dans la section B, le courant passe de Y à X. Il part de Y, traverse la diode n° 4, puis la charge, ensuite la diode n° 1 et retourne à X. Le courant circule dans la charge dans le même sens, car le CA a été redressé en CC. La forme d'onde du graphique de la figure 29 montre la sortie de courant d'un alternateur avec un conducteur et 4 diodes. Il y a plus de courant car toute la tension a été redressée. C'est ce que l'on appelle le redressement à pleine alternance.

FUNCTIONNEMENT DU MOTEUR ÉLECTRIQUE

L'électroaimant (Figure 30) se forme dans une boucle de fil métallique qui est placée entre deux pôles électromagnétiques. Les moteurs travaillent sur le principe de la **répulsion magnétique**. Cette répulsion se produit lorsqu'une simple boucle de fil conducteur, composée d'une armature, d'un collecteur et de balais, se trouve dans un champ magnétique et que du courant la traverse. Deux champs magnétiques distincts sont alors créés. L'un de ces champs est produit par l'aimant (pôles de l'enroulement du champ magnétique) et l'autre par le courant circulant à travers le groupe conducteur (armature, collecteur et balais). La figure 30 montre le champ magnétique de l'aimant qui se déplace du pôle S au pôle N et le champ magnétique du conducteur qui rayonne autour.

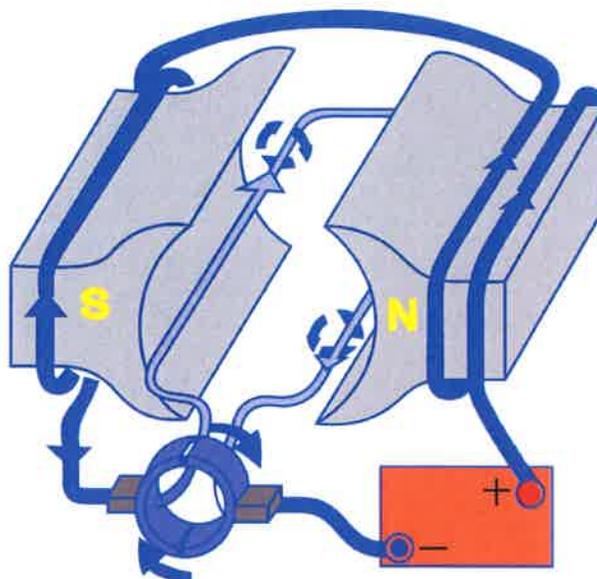


Figure 30 Schéma de fonctionnement du moteur électrique

Les lignes de force magnétique agissent comme une bande en caoutchouc. Le flux magnétique s'étire et tente de se raccourcir. Il y a un champ magnétique plus fort d'un côté de la boucle filaire et un très faible de l'autre côté. Par surcroît l'armature, qui est le conducteur, est repoussée par un champ magnétique fort et tourne vers le champ magnétique plus faible. À mesure qu'augmentent le courant dans le conducteur ou dans l'armature du moteur et la résistance des enroulements de champ magnétique, les conditions suivantes se produisent :

- Le nombre de lignes de magnétisme s'accroît du côté fort;
- Une force de répulsion plus significative est appliquée au conducteur (armature);
- Le conducteur tente de plus en plus de se déplacer vers le côté faible afin d'atteindre un état neutre équilibré;
- Une plus grande quantité de chaleur électrique est générée;
- La présence du pôle N et du pôle S d'un aimant est déterminante;
- La bague collectrice est séparée en deux sections en cuivre (collecteur);
- Le conducteur est plié en forme de U dont les deux extrémités sont connectées aux demi-bagues;
- Les balais fixes sont raccordés à une batterie;
- La combinaison de la boucle de conducteur en U et de la bague collectrice en cuivre est appelée le collecteur, car ils tournent ensemble et deviennent l'armature.

Explication du fonctionnement du moteur électrique

Un redresseur à simple alternance transforme la tension CA en tension CC (Figure 30). Le circuit redresseur utilisé dans l'ensemble pour effectuer un redressement de la tension à simple alternance ne contient qu'une seule diode. Ce type de redresseur permet de passer seulement un demi-cycle d'une forme d'onde de tension CA tout en bloquant l'autre demi-cycle.

1. Le courant passe de la borne négative (-) de la batterie (Figure 30) vers le balai et l'anneau en cuivre les plus près du pôle S, traverse le conducteur (armature) et se rend à la bague et au balai les plus rapprochés du pôle N, et retourne enfin à la batterie par la borne positive (+). Ce débit électrique se déplace vers le bas la partie de la boucle qui est près du pôle N et vers le haut celle près du pôle S. Lorsqu'il y a un champ fort d'un des côtés du conducteur et un champ faible de l'autre, le conducteur en soi passe du champ fort au champ faible. Un champ magnétique plus faible entre les pôles N et S d'un côté du conducteur est repoussé par le champ magnétique plus fort de l'autre côté du conducteur. L'armature du moteur se met ensuite à tourner.
2. En tournant, les deux côtés du conducteur en boucle inversent les positions et les deux moitiés de la bague collectrice entrent alternativement en contact avec les balais fixes du côté opposé.
3. Ceci provoque l'inversion de la direction du débit de courant électrique (courant alternatif) dans les bagues collectrices, qui continuent à tourner dans la même direction.

Vitesse du moteur

Les facteurs suivants peuvent faire varier la vitesse d'un moteur :

- Tension d'alimentation;
- Flux magnétique et débit de courant dans l'enroulement inducteur;
- Tension et résistance d'armature.

Applications automobiles

Les moteurs électriques sont utilisés dans un véhicule, notamment pour lancer le moteur et pour actionner les vitres ou glaces à commande électrique, les sièges, le rétroviseur et l'accélérateur.