

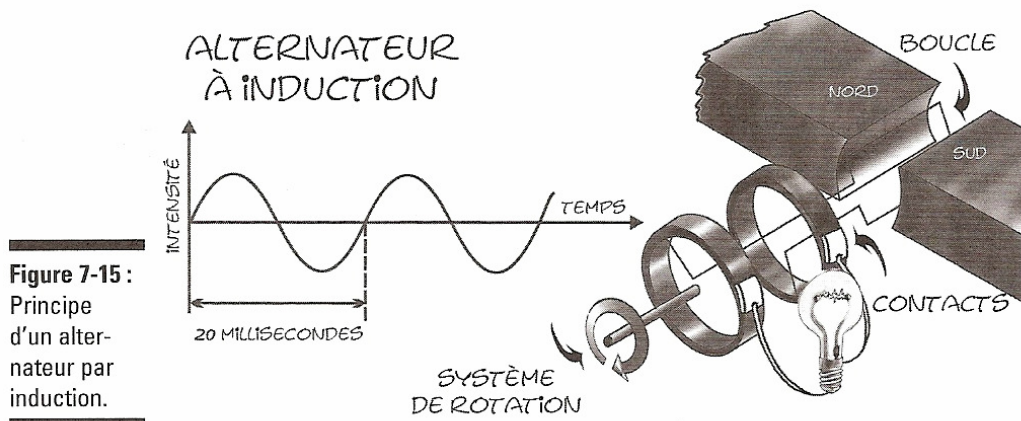
L'induction chez vous

De nombreux dispositifs de notre environnement technologique utilisent l'induction. Toutes les centrales électriques du monde font tourner des alternateurs électriques en transformant une énergie primaire en énergie électrique. Le transport efficace de cette énergie sur de longues distances repose sur des transformateurs. Les plaques à induction envahissent nos cuisines. Des ralentisseurs électromagnétiques équipent les poids lourds, les bus voire les TGV.

Produire l'énergie électrique

La turbine et l'alternateur

Le principe de toutes les centrales électriques repose sur la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique. Il faut pousser davantage sur les pédales lorsque l'alternateur de votre bicyclette est en fonction. L'énergie mécanique, que vous fournissez, est partiellement transformée en énergie électrique, puis lumineuse dans l'ampoule. De même, la turbine actionnée par la source d'énergie de la centrale entraîne une bobine en rotation dans un champ magnétique. En associant plusieurs bobines sur le même axe, la tension aux bornes de ce circuit est quasiment sinusoïdale. En Europe, la fréquence de rotation choisie est de 50 tours par seconde, mais elle vaut 60 hertz sur le continent nord-américain.



Il n'y a pas de sens défini pour l'écoulement du courant en alternatif. Les électrons font du surplace. Ils avancent sur une demi-période, puis reculent d'autant sur la seconde moitié de période. Vu la très faible vitesse moyenne des porteurs de charge, un électron situé près de votre prise électrique n'a aucune chance de partir en voyage pour arriver à votre lampe. Plus la fréquence est élevée et plus faible sera l'amplitude du mouvement des électrons de conduction.

Secouez pour vous éclairer

Vous pouvez trouver dans le commerce des lampes qu'il suffit d'agiter pour produire de la lumière. Il n'y a pas de pile. Le déplacement d'un aimant devant une bobine crée une tension induite. L'énergie mécanique du mouvement est partiellement transformée en énergie électrique transitoirement stockée dans un condensateur. Cette « dynamo linéaire » est l'équivalent de l'alternateur de votre bicyclette. Le condensateur est prévu pour accumuler l'énergie produite lors de l'agitation et la restituer en l'absence de mouvement. On peut très bien imaginer charger votre téléphone portable de la sorte en logeant l'alternateur dans votre chaussure. Développement durable garanti !

Générateur magnétohydrodynamique

Une charge électrique en mouvement dans une zone de champ magnétique subit une force dite « force de Lorentz ». Cette force courbe les trajectoires des charges électriques, mais elle ne modifie pas leur vitesse (donc leur énergie cinétique). C'est encore la règle de la main droite, qui va nous permettre de prévoir le sens de déviation. On place la vitesse suivant le pouce et le champ magnétique le long de l'index. Le majeur indique alors la direction de la force exercée sur une charge positive. Pour un électron ou un ion négatif, c'est la direction opposée.



Il suffisait d'y penser !

Faraday était vraiment un expérimentateur de génie. En janvier 1832, il a l'idée de plonger deux électrodes en platine de part et d'autre de Waterloo Bridge (avec un nom pareil, ça ne peut être qu'à Londres). En reliant les deux plaques par un fil longeant le parapet du pont, il détecte une différence de potentiel due

au mouvement de l'eau de mer remontant la Tamise lors de la marée. Les ions sodium et chlorure présents dans l'eau saumâtre sont partiellement séparés par l'effet du champ magnétique terrestre. Faraday vient d'inventer les générateurs magnétohydrodynamiques.

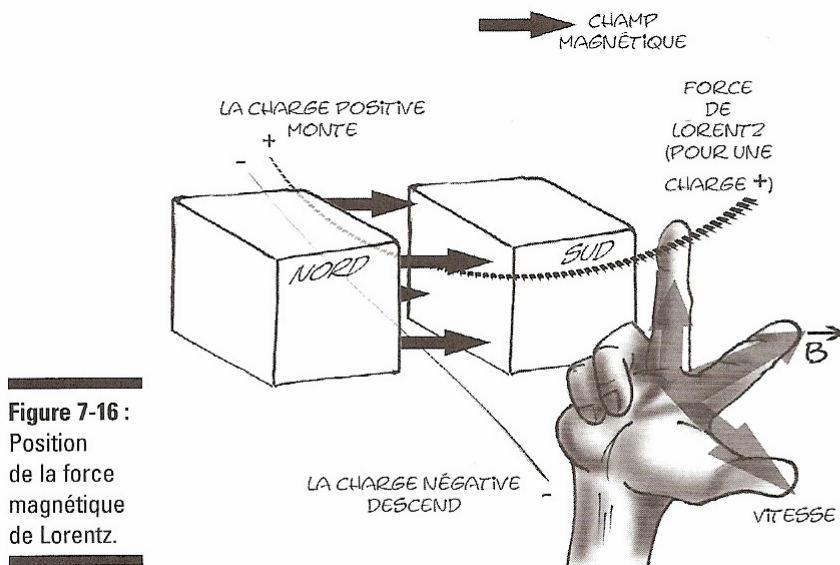


Figure 7-16 :
Position
de la force
magnétique
de Lorentz.

Une pile en mouvement autour de la Terre

Considérons un barreau de cuivre en déplacement dans une zone de champ magnétique. Les ions positifs sont rigidement fixés au réseau cristallin. Mais les électrons vont, quant à eux, subir l'action de la force de Lorentz. Ils vont donc s'accumuler à une extrémité du fil. Comme le conducteur reste globalement neutre, l'excès d'électrons à un bout est compensé par un défaut (manque) d'électrons à l'autre extrémité. Le fil de cuivre en mouvement est donc une sorte de pile avec un pôle positif et un pôle négatif. Si maintenant, on relie les deux extrémités du fil par un conducteur, un courant induit va circuler dans le circuit. Cette méthode de production d'énergie électrique a été testée dans l'espace. Une navette spatiale a remorqué une grosse sphère métallique à l'aide d'un câble métallique long de 20 kilomètres recouvert d'un isolant. La magnétosphère dans laquelle se déplace la navette est constituée d'un gaz raréfié et ionisé, qui constitue un assez bon conducteur électrique. Le câble, le plasma et les appareils situés dans la navette forment ainsi un circuit fermé.

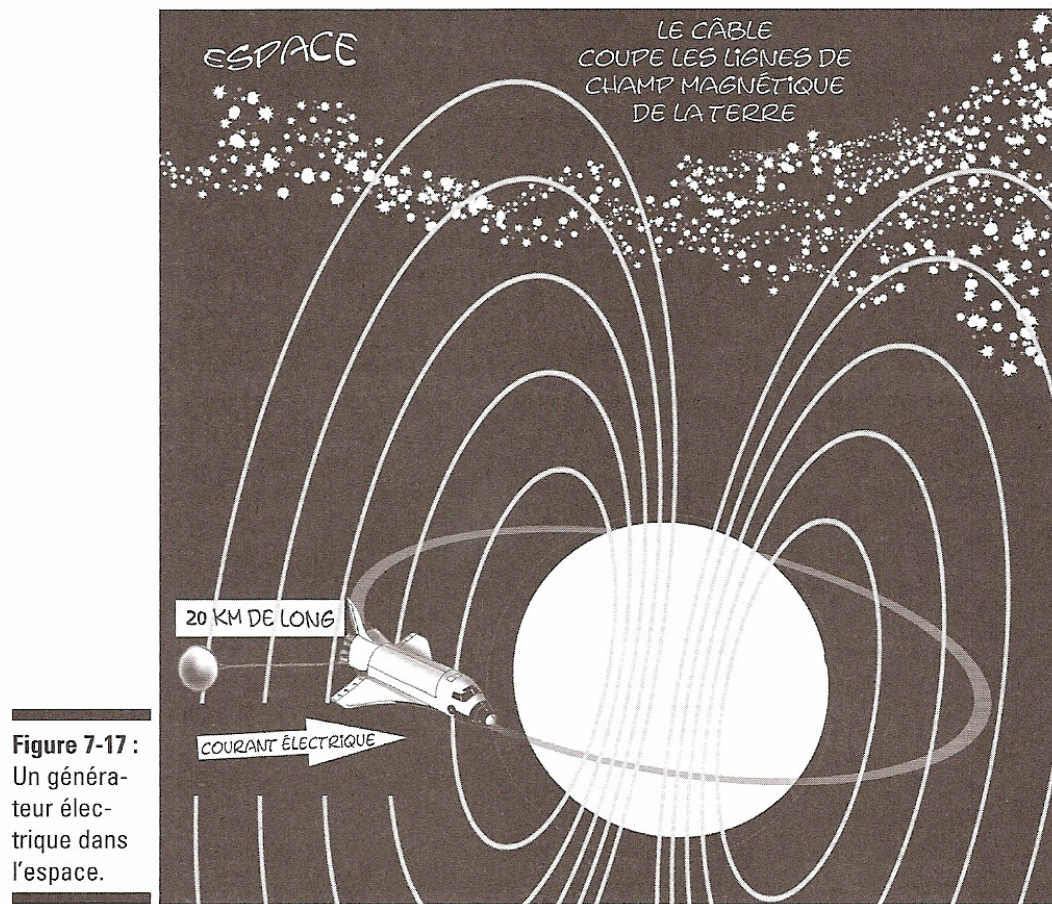


Figure 7-17 :
Un généra-
teur élec-
trique dans
l'espace.

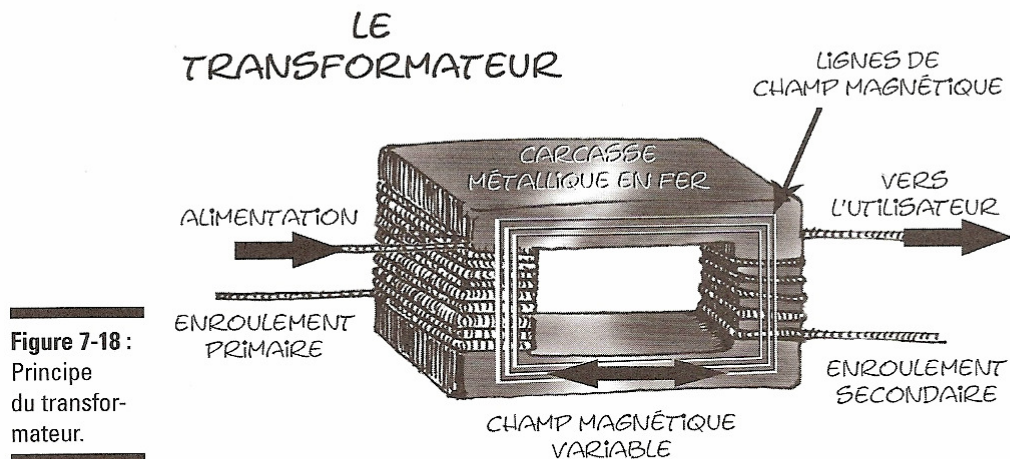
Transporter l'énergie électrique

On limite les pertes

Pour transporter l'énergie électrique, il faut relier le générateur au dispositif d'utilisation au moyen de fils conducteurs. Sur de longues distances, il faut impérativement diminuer les pertes par effet thermique dans ces fils. Pour cela, on diminue l'intensité du courant, ce qui oblige à augmenter la tension pour maintenir une puissance suffisante. Cette augmentation ne peut se faire qu'en courant alternatif à l'aide de transformateurs. Pour acheminer l'énergie électrique de la centrale électrique jusqu'au lieu de consommation, la tension est élevée à 400 000 volts via un transformateur survolteur. Des transformateurs dévolteurs ramènent ensuite cette tension à 220 V en plusieurs étapes avant la distribution aux particuliers.

Le transformateur pour jouer sur la tension

Le transformateur permet de modifier la tension d'utilisation pour obtenir 220 V en Europe et 110 V aux États-Unis. Un transformateur est constitué d'une carcasse en fer sur laquelle on a enroulé deux fils. L'enroulement primaire est relié à la prise de courant. L'enroulement secondaire est associé à l'appareil d'utilisation. Le noyau de fer en forme de bouée à section souvent carrée sert à canaliser les lignes de champ magnétique. Un courant variable dans le primaire induit alors une tension dans la bobine secondaire.



En courant alternatif, la tension disponible en sortie est égale à la tension d'entrée multipliée par le rapport du nombre de tours de fil dans

le secondaire divisé par le nombre de spires dans le primaire : $u_2 \cong \frac{N_2}{N_1} u_1$.

En modifiant ce rapport, le transformateur peut devenir survolteur ou dévolteur. Pour le transformateur d'un chargeur de batteries, il y a vingt fois plus de tours de fil dans le primaire que dans le secondaire. Mais cette tension de sortie ne peut pas charger une batterie car elle est alternative. Un dispositif de redressement évite que le courant de charge ne change de sens cinquante fois par seconde. Inversement, un appareil prévu pour fonctionner en 220 V ne peut pas être utilisé avec une batterie d'automobile qui est une source de tension constante. Dans les camping-cars, la batterie alimente un oscillateur qui fournit une tension alternative de 12 V. Un transformateur élève ensuite cette tension à 220 V.

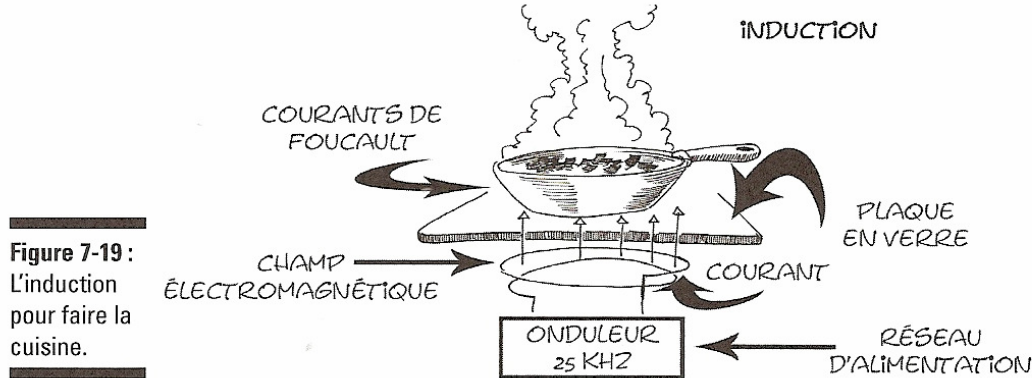
On chauffe sans feu

Foucault dessine des boucles de courant

Le déplacement d'un circuit fermé devant un aimant fait apparaître un courant induit. Il doit donc en être de même si un solide métallique se déplace dans une zone de champ magnétique. Pour tester cette hypothèse, Léon Foucault fait tourner en 1855 un disque de cuivre à l'aide d'une manivelle dans l'entrefer d'un aimant. En présence de l'aimant, Foucault a de la peine à actionner la manivelle. Le disque s'arrête rapidement dès que l'opérateur lâche la manivelle. C'est la preuve de l'existence de courants électriques induits dans la masse du conducteur. Ces courants induits appelés « courants de Foucault » circulent le long de boucles juxtaposées qui se referment sans jamais se couper. Ces courants dissipent de l'énergie et échauffent la matière conductrice par effet Joule tout en freinant par interaction magnétique avec le champ magnétique imposé par l'aimant. Plus généralement, les courants de Foucault existent aussi quand un solide conducteur est placé dans une zone de champ magnétique variable dans le temps.

La plaque à induction

L'effet thermique des courants de Foucault peut se révéler très utile. L'induction magnétique par champs variables est l'un des moyens les plus efficaces pour produire de la chaleur. En principe, il suffirait de faire pivoter un aimant sous une casserole pour la chauffer. On s'en doute, mieux vaut ne pas être pressé pour boire son café.



Une plaque à induction est formée d'une bobine alimentée par des courants variables intenses de fréquence assez élevée de l'ordre de quelques dizaines de kilohertz. Une casserole placée sur cette plaque est soumise à un champ

magnétique variable dans le temps. Les courants de Foucault font le tour de la casserole dans tout le fond métallique. C'est là le grand avantage du chauffage par induction : le dégagement de chaleur se fait dans tout le matériau et pas uniquement à sa surface de contact. Par ailleurs, aucune énergie n'est consommée en l'absence de casserole. Même le chat peut marcher sur la plaque sous tension sans risque de se griller les patons, car son corps est insensible au champ magnétique tout comme celui du cuisinier. À bien y regarder, l'effet Joule dans la casserole est insuffisant pour chauffer aussi rapidement. Tous les vendeurs de plaques à induction vous le diront. Il faut une batterie de casseroles en acier pour chauffer par induction. En effet, les atomes de fer contenus dans l'acier sont des minuscules aimants, qui se retournent à chaque fois que le courant change de sens dans la bobine de la plaque à induction. Ces retournements incessants dégagent une forte puissance thermique bien supérieure à l'effet Joule. C'est pour cette raison qu'il faut éliminer les casseroles en aluminium ou en cuivre pour ce type de chauffage.

Des courants qui freinent

Frein magnétique

Les courants de Foucault dans un conducteur en mouvement suivent la loi de modération de Lenz. La force magnétique de Laplace d'interaction de ces courants induits avec le champ magnétique inducteur se traduit toujours par une force de freinage. Ce dispositif de freinage équipe actuellement la grande majorité des poids lourds et des bus. Ces freins sont sans contact, donc sans usure mécanique. Dans ce type de freins, des disques métalliques solidaires de l'arbre de transmission tournent entre des électroaimants alimentés par la batterie. Le freinage devient d'autant plus efficace que la vitesse est élevée. En revanche, ils ne peuvent pas servir de frein à main. Sans vitesse du métal donc du camion, pas de courants induits et donc, pas de force de freinage.

L'aimant paresseux



Une expérience très simple à réaliser illustre bien ce freinage magnétique. Il est aisé de trouver sur Internet des aimants puissants pour un prix modique. Il suffit en plus d'un tube de cuivre pour distribution d'eau. L'aimant introduit dans le tube vertical est si violemment freiné qu'il peut mettre plusieurs dizaines de secondes pour tomber d'une hauteur de 1 mètre. Les courants de Foucault sont très intenses : plus d'une dizaine d'ampères. Ils circulent en deux boucles parcourues en sens inverse de part et d'autre de l'aimant. Lorsque celui-ci se déplace, les courants induits le suivent. Tout se passe comme s'il y avait un aimant virtuel en dessous qui repoussait le mobile vers le haut, et un autre aimant virtuel au-dessus qui le retenait.