



Un technicien vient remplacer un ancien compteur par un nouveau, le célèbre Linky. Dans ce dernier, placé à l'entrée de la ligne, la tension du courant et son intensité sont mesurées respectivement par un voltmètre (V) et un ampèremètre (A), dont les valeurs sont numérisées. Reste alors à les multiplier pour obtenir la puissance électrique consommée.

mécanisme de l'afficheur au moyen d'un pignon lorsque le disque tourne. Aucun contact électrique ne relie le disque au circuit : en revanche, nous pouvons constater la présence d'un aimant fer à cheval dont les pôles encadrent la roue et d'électroaimants constitués de bobines de fil entourant un cœur de fer doux. Il y a donc du magnétisme dans l'air.

Par quel principe physique les champs magnétiques créés par ces différents aimants animent-ils le disque ? Par l'intermédiaire de courants électriques induits : les courants de Foucault. Ces courants apparaissent dès qu'un conducteur électrique se trouve dans un champ magnétique qui varie au cours du temps. Cela correspond à plusieurs situations : des électroaimants alimentés par un courant alternatif, le

mouvement d'un aimant à proximité d'un conducteur ou, ce qui est rigoureusement équivalent, au mouvement d'un conducteur dans un champ magnétique statique (indépendant du temps) mais inhomogène (qui varie dans l'espace).

COURANTS INDUITS ET FREINS MAGNÉTIQUES

Une expérience permet de saisir l'essentiel de ce phénomène. Considérons un conducteur en mouvement par rapport à un aimant. Par exemple, la roue du compteur, qui lorsqu'elle tourne voit une partie de sa périphérie se déplacer dans l'entrefer de l'aimant fer à cheval. Si nous nous déplaçons avec le conducteur (la roue), nous constatons que, sur celui-ci, la région où est présent le champ magnétique se déplace. À la frontière de cette zone, le

champ magnétique évolue rapidement. Par exemple, dans la région où la roue sort de l'entrefer de l'aimant, le champ magnétique diminue jusqu'à s'annuler. Il en résulte dans le conducteur une boucle de courant induit (voir la figure page suivante), le courant de Foucault, dont une moitié est dans le champ magnétique de l'aimant et l'autre moitié à l'extérieur.

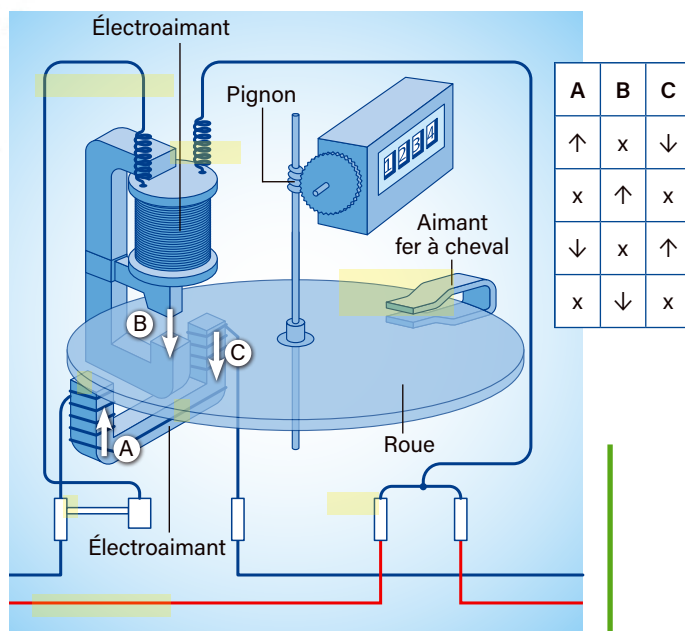
Or un champ magnétique exerce une force sur un courant électrique, la force de Laplace, une force perpendiculaire à la fois au courant et au champ magnétique.

Les auteurs ont notamment publié : **En avant la physique !**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



PIGNON SUR ROUE

Dans un compteur d'ancienne génération, une roue en aluminium est mise en rotation par des électroaimants branchés comme le seraient un voltmètre (en haut) et un ampèremètre (en bas). Les champs magnétiques créés (en A, B et C) oscillent (dans le tableau à droite sont indiquées leurs orientations successives) et mettent en mouvement la roue avec une force proportionnelle au produit de la tension et de l'intensité du courant : le nombre de tours indique bien (via un pignon) l'énergie électrique consommée.



Comme seule une moitié de la boucle de courant est dans le champ magnétique, la force totale subie n'est pas nulle. Étant donné la géométrie, cette force est opposée à la vitesse de déplacement et donc tend à ralentir le conducteur. Ce résultat est en accord avec la loi de Lenz, du nom du physicien germano-balte Heinrich Lenz, qui stipule que l'effet du courant induit est de s'opposer aux variations pour le conducteur du champ magnétique (ici provoqué par le mouvement relatif de l'aimant et du conducteur).

Il en est de même dans la zone où le conducteur pénètre dans l'entrefer. Comme le courant est proportionnel à la vitesse de variation du champ magnétique, qui est reliée ici à la vitesse du conducteur, c'est aussi le cas pour la force de freinage. Ce faisant, nous avons ici confectionné un frein à courant de Foucault comme ceux que l'on trouve dans les camions ! Plus le conducteur va vite, plus le freinage sera fort.

L'EFFET DES BOBINES

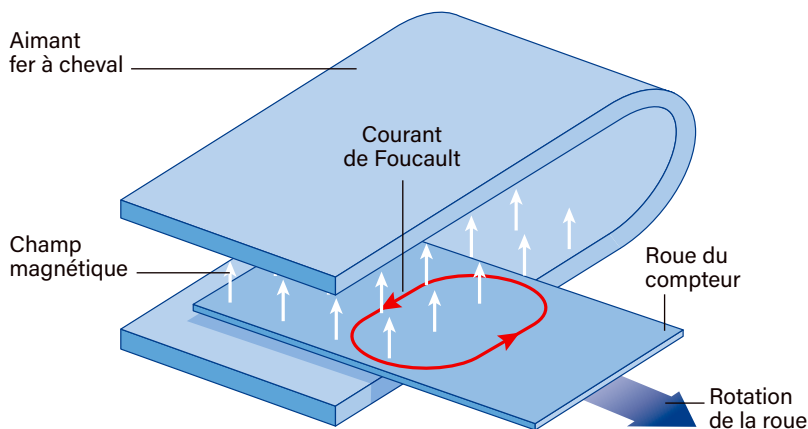
Nous sommes maintenant en mesure d'analyser l'effet des bobines présentes dans le compteur. Comment sont-elles alimentées ? Comme dans le compteur numérique, les fils alimentant ces bobines sont branchés comme l'étaient respectivement le voltmètre et l'ampèremètre. Le dispositif du bas est constitué de deux bobines réalisées avec un très bon conducteur électrique et très peu d'enroulement (et donc une impédance électrique elle aussi négligeable) autour d'un noyau de fer doux en forme de fer à cheval. Elles sont branchées de façon à être traversées par une partie du courant. Il en résulte deux zones de champ magnétique proportionnelles au courant et de directions opposées.

La bobine du haut est quant à elle composée d'un très grand nombre de tours et est branchée pour prélever la tension. La tension appliquée aux bornes de cette bobine est à l'origine d'un courant électrique. Mais lorsque l'on branche une bobine, le courant n'apparaît pas instantanément : il croît (ou décroît) proportionnellement à la valeur de la tension. Le résultat final est donc une zone de champ magnétique située entre les deux zones créées par les bobines du bas, et où le champ magnétique est « déphasé » d'un quart de période par rapport aux deux autres.

Que se passe-t-il quand on fait fonctionner un appareil dans notre appartement ? Des champs magnétiques oscillants vont être créés dans trois zones contiguës (A, B et C dans la figure de la

UN FREIN AU COURANT

La roue d'un ancien compteur est enchâssée dans un aimant fer à cheval statique. Le champ magnétique appliqué au conducteur diminue à mesure que l'on s'éloigne de l'aimant, puis s'annule. Lorsque la roue tourne, une boucle de courant induit se forme dans la roue, un courant de Foucault, dont une partie déborde de l'aimant. Selon la loi de Lenz, la force de Laplace due à l'action du champ magnétique sur le courant s'oppose au déplacement de la roue : elle est freinée !



page précédente) et qui se superposent partiellement. Si l'on observe la géométrie de ce champ et son évolution dans le temps, on constate qu'il semble avancer d'une zone à l'autre et toujours dans la même direction. Autrement dit, c'est comme si on déplaçait un aimant à la surface du conducteur. Or de même qu'un aimant fixe freine un conducteur qui bouge, un aimant qui bouge met en mouvement un conducteur. Dans le détail, le mécanisme est le même que celui du freinage : le courant créé par l'une des zones de champ magnétique subit une force de la part du champ magnétique présent dans la zone adjacente. On se convainc alors que la force est bien proportionnelle au produit des champs créés dans les zones adjacentes et donc au produit du courant par la tension donc *in fine* à la puissance. La roue est si légère qu'en permanence cette force motrice est compensée par celle de freinage due à l'aimant fer à cheval : la vitesse de la roue (respectivement la distance parcourue ou encore le nombre de tours qu'elle effectue) est en fin de compte proportionnelle à la force motrice, c'est-à-dire à la puissance (respectivement à l'énergie consommée). On trouve d'ailleurs la constante de proportionnalité inscrite bien en évidence sur les compteurs anciens. Il faut faire vite pour les regarder une dernière fois, car déjà plus de 8 Français sur 10 sont équipés du compteur Linky ! ■

BIBLIOGRAPHIE

F. Garcia et al., **Power Metering: History and Future Trends**, Ninth Annual IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), 2017.