

RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS D'ÉLECTRICITÉ

TOUS les corps sont composés d'atomes, particules de matière extrêmement petites. Chaque atome constitue un système analogue à notre système solaire, le soleil y est figuré par un amas de petits grains très solidement liés et dont l'ensemble très lourd forme le noyau qui possède une charge électrique résultante positive. Autour de ce noyau gravite un nombre plus ou moins grand selon les corps, de grains d'électricité négative ou électrons.

Sous l'influence de forces électriques ou magnétiques extérieures les électrons situés sur la périphérie quittent l'atome auquel ils appartenaient pour se fixer sur l'atome voisin tandis que ce dernier en perd un. Il se produit dans tout le corps une circulation ininterrompue d'électrons d'atome à atome, circulation qui constitue le courant électrique. L'action se transmet à travers le corps avec une vitesse égale à celle de la lumière.

Pour certains corps une certaine force extérieure suffit à déplacer un grand nombre d'électrons, ces corps sont dits *conducteurs*. Pour d'autres, la même force ne déplace qu'un nombre plus ou moins réduit d'électrons, ces corps sont *mauvais conducteurs* de l'électricité ou *isolants*.

Le sens de déplacement des électrons, donc le sens du courant, n'est pas quelconque. Supposons que grâce à une pile ou une dynamo on accumule des électrons à l'extrémité d'un conducteur tandis qu'on en soustrait à l'autre extrémité.

Le courant d'électrons va circuler dans le conducteur de l'extrémité, on pôle -, où ils sont en excès, vers l'autre extrémité ou pôle +, où ils manquent.

Le sens du courant sera donc dans le conducteur, qui est alors un consommateur d'électricité, du pôle - au pôle +. Ce résultat est contraire à l'expression courante selon laquelle le sens du courant est du + au -.

Ce dernier sens avait été choisi avant que la théorie électronique fût établie. On l'a conservé car cette convention n'apporte pas de gêne à l'étude des phénomènes électriques, mais il ne faut pas oublier qu'elle est contraire à la vérité.

Le déséquilibre électronique initial qui

donne naissance au courant électrique est établi par une *source d'électricité*, ou une *source de courant* dont les deux bornes doivent être reliées aux extrémités du conducteur alimenté. On constitue ainsi un *circuit fermé* et la source est elle-même traversée par le courant. En coupant le circuit, à l'aide d'un interrupteur, la source est placée à *circuit ouvert*.

Le déséquilibre électronique aux bornes de la source subsiste, mais le courant électrique ne peut s'établir.

Si la source maintient constamment un déséquilibre de même sens le courant est *continu*. Si au contraire la source est telle que le déséquilibre varie constamment de sens, le courant, qui lui aussi varie de sens, est dit *alternatif*.

L'INTENSITÉ - L'AMPÈRE

Dans un circuit fermé il passe à chaque seconde un certain nombre

d'électrons, donc une quantité d'électricité déterminée. Ce nombre ou cette quantité d'électricité constitue l'*intensité* du courant, qui est évidemment la même en tous les points du circuit. On la note dans les formules par les lettres I ou i. On la mesure à l'aide de l'unité appelée *Ampère*, désignée par la lettre A.

Pour les courants très petits on utilise les sous-multiples de l'ampère :

1 milliampère = 0,001 ampère = 1 mA
1 microampère = 0,000001 ampère = 1 μ A

LA TENSION - LE VOLT

Le déséquilibre électronique créé par une source peut-être plus ou moins grand. La valeur de ce déséquilibre est appelée *tension électrique*, ou *différence de potentiel*, ou *force électromotrice*.

Dans les formules on l'exprime par les lettres E ou e. On la mesure à l'aide de l'unité appelée *VOLT* représentée par

la lettre V. Des multiples ou sous-multiples sont employés pour les tensions très fortes et très faibles.

- 1 Kilovolt = 1.000 volts = 1 KV.
- 1 millivolt = 0,001 volt = 1 m V.
- 1 microvolt = 0,000001 volt = 1 μ V.

LA RESISTANCE - L'OHM

Tous les corps, nous l'avons vu, ne sont pas également conducteurs et offrent une *résistance* plus ou moins grande au passage du courant.

On a choisi comme unité l'*OHM*, qui est la résistance d'un conducteur laissant passer le courant de 1 A quand on lui applique une tension de 1 V.

Dans les formules cette *résistance ohmique* est désignée par les lettres R ou r. Dans les calculs l'ohm est représenté par la lettre grecque Ω (oméga).

On utilise surtout les multiples et sous-multiples suivants :

- 1 mégohm = 1.000.000 ohms = 1 M Ω
- 1 microhm = 0,000001 ohm = 1 $\mu\Omega$.

LA RESISTIVITE DES CONDUCTEURS

La résistance ohmique d'un conducteur dépend de la matière qui le compose. Il est évident qu'elle est d'autant plus grande que la longueur du conducteur est grande ; d'autant plus faible que la section du conducteur est grande. Ces conditions s'expriment par la formule :

$$(1) \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

R est la résistance du conducteur ; l, sa longueur ; s, sa section ; ρ (prononcer *rho*) est un coefficient propre à chaque corps ; il représente la résistance ohmique d'un cube de ce corps ayant 1 centimètre carré de côté. On l'appelle *résistivité* du corps. On l'exprime ordinairement en microhm centimètre — centimètre carré. Le tableau 1, donne en microhm — cm.-cm², la résistivité à 15° C de quelques corps usuels.

Il est commode pour le calcul de la résistance des conducteurs d'exprimer la longueur en mètre, la section en millimètre-carré, la résistivité en $\mu\Omega$ cm. cm² ; la formule 1 devient alors :

$$(2) \quad R \text{ (ohm)} = \frac{\rho \text{ (}\mu\Omega \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^2\text{)} \cdot l \text{ (m)}}{s \text{ (m}^2\text{)}} \cdot \frac{1}{100}$$

TABLEAU 1

Argent	1,5	Fonte	100
Or	2	Maillechort	30
Cuivre	1,6	Constantan	50
Aluminium	2,9	Ferro Nickel	80
Nickel	12	Mercure	9,5
Plomb	19	Cuivre manganèse	100
Fer	13,3	Bismuth	130

COEFFICIENT DE TEMPERATURE

La résistivité des corps varie plus ou moins avec la température. Elle croît avec celle-ci pour le fer, le cuivre, l'aluminium. Elle décroît pour le carbone. Elle ne varie pas pour le constantan.

Cette variation est exprimée par le *coefficient de température* désigné par la lettre α (alpha). On écrit ainsi :

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha (t_2 - t_1)) = R_1 (1 + \alpha t) \quad (3)$$

- R_1 résistance à la température t_1
 - R_2 résistance à la température t_2
 - t variation de température = $t_2 - t_1$
- On tire de la formule (3) :

$$(4) \quad \alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t}$$

La formule (4) permet la détermination de la variation de température d'un bobinage (par exemple), quand on connaît les résistances R_1 et R_2 .

Les valeurs du coefficient α à utiliser pour les variations de température usuelles sont les suivantes :

Cuivre	0,0044
Aluminium	0,004
Acier	0,0039
Fer	0,0012

RESISTIVITE DES ISOLANTS RIGIDITE DIELECTRIQUE

La résistivité des corps isolants s'exprime comme celle des corps conducteurs ; mais elle est considérablement plus élevée. Dans la plupart des cas la résistivité décroît avec la température et parfois de façon très rapide. Le tableau 2 donne la résistivité moyenne de quelques isolants :

TABLEAU 2

Corps	Ohms
Cristal	62.000.000.000
Paraffine	34.000.000.000
Ebonite	28.000.000.000
Gomme laque sèche	9.000.000.000
Verre ordinaire	91.000.000
Marbre bleu	10.000
Mica	84.000.000
Bois	5.000 à 800
Caoutchouc	1.600.000.000
Huile minérale	1.500.000.000
Bakélite pure	900.000.000
Eau pure	25

Une autre caractéristique des isolants qui n'est pas liée directement à leur ré-

sistivité est la *rigidité diélectrique*. C'est la facilité plus ou moins grande avec laquelle ils résistent à la tension électrique et se laissent traverser par l'étincelle électrique. Le tableau 3 donne les valeurs relevées pour quelques isolants d'épaisseurs diverses, placés entre deux plaques de métal.

TABLEAU 3

Corps	Epaisseur en mm.	Tension en Kv (à 20° C)
Verre à vitre	2	16
Cristal	2	25
Ardoise	10	5
Ebonite	1	54
Mica	1	61
Paraffine	0,1	13,5
Papier sec	0,1	4
Papier paraffiné	0,1	10
Papier imprimé d'huile de transformateur	0,1	8
Air sec entre pointes :		
Courant continu	10	20
Courant alternatif	10	9

LA LOI D'OHM

Dans un circuit électrique (fig. 1) on conçoit que l'intensité I du courant est d'autant plus grande que la tension électrique E, maintenue par la source sera ainsi plus grande et que la Résistance R, du conducteur qui constitue le circuit extérieur sera plus faible. Ces conditions constituent la loi d'OHM qui s'exprime par l'égalité :

$$(5) \quad I = \frac{E}{R}$$

Cette équation (5) peut s'écrire en multipliant chaque nombre par R :

$$(6) \quad E = RI$$

ou encore en divisant chaque membre de l'équation (6) par I :

$$(7) \quad R = \frac{E}{I}$$

On peut donc obtenir en utilisant l'une des égalités (5), (6) ou (7) la valeur de I, E ou R si l'on connaît donc seulement deux de ces caractéristiques.

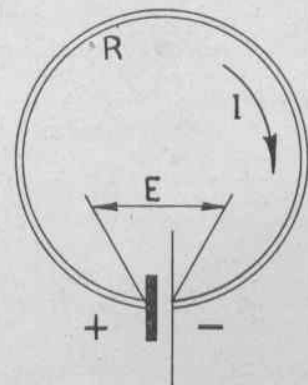


Fig. 1. — Le circuit électrique élémentaire.

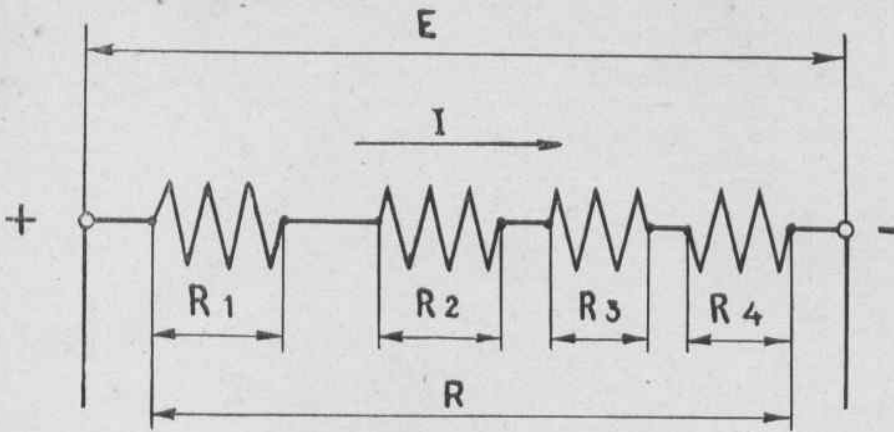


Fig. 2. — Montage en série.

MONTAGE EN SERIE

Lorsque plusieurs appareils sont branchés en *série* (fig. 2) l'intensité I du courant qui les traverse est la même. La résistance totale R du circuit sera la somme des résistances R_1, R_2, R_3, R_4 , etc. de chacun des appareils :

$$(8) \quad R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

donc pour une tension E , l'intensité I a pour valeur :

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \dots}$$

MONTAGE EN PARALLELE LOI DE KIRCHOFF

Lorsque plusieurs appareils sont branchés en *parallèle* (fig. 3) ou en dérivation, le courant I_1, I_2, I_3 dans chaque dérivation est une portion du courant total I donc :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \dots \text{etc.}$$

Dans chaque dérivation on peut appli-

quer la loi d'OHM et si E est la tension aux bornes de l'ensemble, R_1, R_2, R_3 la résistance chimique de chaque dérivation et R la résistance totale équivalente on a :

$$E = RI = R_1 I_1 = R_2 I_2 = R_3 I_3 \dots \text{etc.}$$

En considérant successivement chaque produit on obtient :

$$(8) \quad I = \frac{E}{R} \quad I_1 = \frac{E}{R_1} \quad I_2 = \frac{E}{R_2} \quad I_3 = \frac{E}{R_3} \dots \text{etc.}$$

L'intensité dans chaque appareil est ainsi déterminée et est en raison inverse de la résistance de cet appareil, c'est la loi de KIRCHOFF. D'autre part, puisque l'intensité totale I est la somme des intensités partielles $I_1, I_2 \dots$ on peut écrire d'après (8) :

$$\frac{E}{R} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3} \dots \text{etc.}$$

Le rapport entre la résistance totale équivalente R et les résistances partielles est donc :

$$(9) \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \text{etc.}$$

Dans les cas particuliers où il n'y a que deux résistances en parallèle on en tire :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

LA LOI DE JOULE

Le courant électrique provoque l'échauffement du conducteur qu'il parcourt. JOULE a montré que lorsque toute l'électricité utilisée est transformée en chaleur, la quantité de chaleur Q est proportionnelle à la résistance R , au carré de l'intensité I , au temps t . On écrit :

$$(10) \quad Q = RI^2 t$$

Si R est exprimé en OHM, I en ampère, t en seconde, la quantité d'énergie calorifique Q est obtenue en JOULE, unité d'énergie. Le JOULE est égal à 0,24 calorie.

PUISSANCE ELECTRIQUE

Une puissance est, par définition, la quantité d'énergie, qu'elle soit mécanique, électrique ou d'autre sorte, délivrée par seconde.

L'unité de puissance électrique est le Watt qui correspond à la fourniture de 1 joule par seconde, on la représente par la lettre W .

On emploie les valeurs multiples suivantes :

$$1 \text{ hectowatt} = 100 \text{ watts} = 1 \text{ HW}$$

$$1 \text{ kilowatt} = 1.000 \text{ watts} = 1 \text{ KW}$$

Si dans la formule (10) le temps t est de 1 seconde, soit de valeur 1, on peut écrire :

$$(11) \quad W = RI^2$$

Encore ici R étant exprimé en ohm, I en ampère, W sera obtenu en watt.

L'équation (11) peut s'écrire :

$$W = RI \times I$$

D'après la loi d'ohm $RI = E$ (formule 6). On a donc :

$$(12) \quad W = EI$$

D'autre part, toujours d'après la loi

$$\text{l'Ohm } I = \frac{E}{R} \text{ en remplaçant } I \text{ par cette}$$

valeur dans l'égalité (12) il vient :

$$(13) \quad W = \frac{E^2}{R}$$

Les formules (11), (12), (13) permettant de calculer l'une des 4 grandeurs W, E, I, R , lorsqu'on connaît deux d'entre elles.

DENSITE COURANT

La densité de courant dans un conducteur est la valeur de l'intensité du cou-

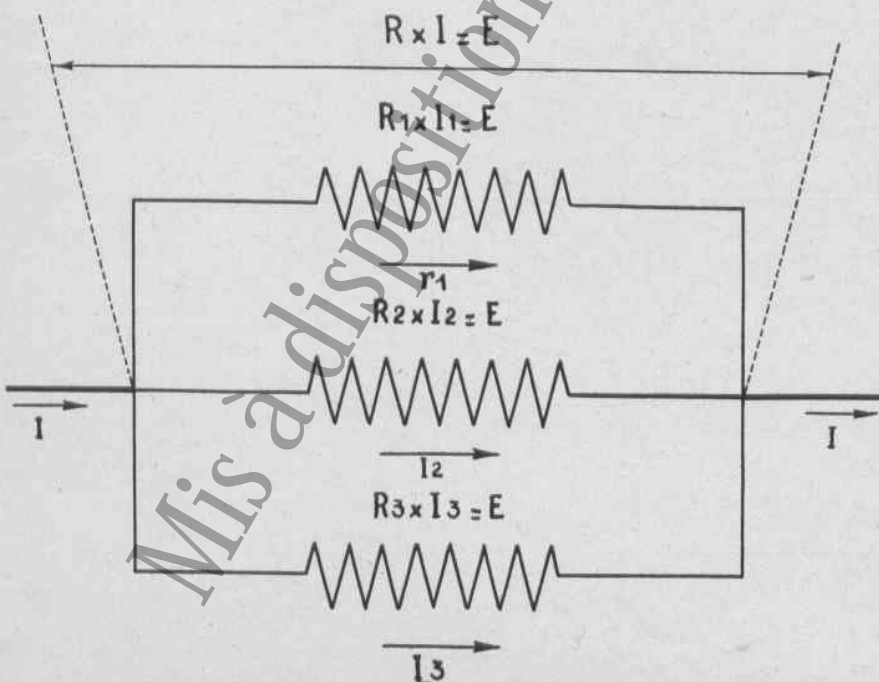


Fig. 3. — Montage en parallèle.

rant traversant 1 mm^2 de section de ce conducteur. Ainsi par exemple : un fil de 25/10 de mm. de diamètre, donc de $4,91 \text{ mm}^2$ de section, est parcouru par un courant de 25 ampères ; la densité de

courant est de $\frac{25}{4,91} = 5,1 \text{ A/mm}^2$.

D'après ce que précède, la perte d'éner-

gie dans le conducteur, c'est-à-dire son échauffement, dépend de la résistivité du métal et de la densité du courant. Celle-ci est de conséquence surtout à considérer pour limiter l'échauffement.

Dans les fils de cuivre on admet une densité de courant variant de 3 à 15 A/mm^2 selon que le conducteur est, extérieurement, plus ou moins bien refroidi.

Les valeurs B_r , H_c et $(B \times H)$ maximum définissent les qualités d'un aimant. Le tableau 4 donne les propriétés de quelques alliages pour aimants permanents et montre le progrès réalisé dans la fabrication des aimants. En particulier la valeur élevée de H_c que possèdent les aimants modernes fait que ceux-ci peuvent être, sans inconvénient, laissés à circuit ouvert (fig. 6).

AIMANTS - MAGNÉTISME

On sait que l'un des deux pôles d'un aimant permanent laissé libre, se dirige de lui-même vers le pôle Nord géographique de la terre, ce pôle d'aimant est ainsi appelé pôle Nord, le pôle opposé est donc appelé pôle Sud. C'est la boussole.

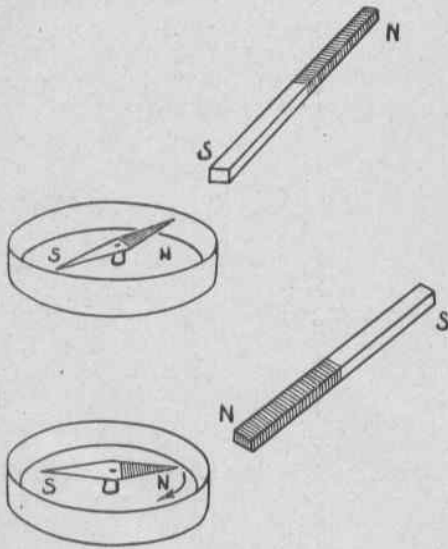


Fig. 4. — L'attraction et la répulsion magnétique.

Les pôles de nom contraire s'attirent, ceux de même nom se repoussent.

Lorsqu'on rapproche deux aimants on constate que les pôles de même nom se repoussent et que ceux de nom contraire s'attirent. Cette propriété est d'application fréquente en électricité automobile pour reconnaître la polarité d'un aimant de magnéto, d'un pôle d'inducteur de dynamo (fig. 4).

Lorsqu'on soumet un aimant à un champ magnétique d'aimantation puis de désaimantation, on s'aperçoit que l'intensité d'aimantation de l'aimant est toujours en retard sur le champ magnétique auquel on soumet l'aimant.

Si l'on trace en fonction du champ la courbe de l'intensité d'aimantation on obtient une courbe fermée qui est le cycle d'hystérésis de l'aimant (fig. 5). Lorsqu'après avoir atteint le point d'aimantation de l'aimant à saturation on fait décroître le champ H (mesuré en Oerstedt) jusqu'à une valeur nulle ($H = 0$) l'aimant à cet instant conserve une aimantation B_r (mesurée en Gauss) qui est l'intensité d'aimantation rémanente de l'aimant.

En poursuivant alors la décroissance du champ, donc en donnant à celui-ci un

sens contraire à celui d'aimantation, l'aimant se désaimante peu à peu et son intensité d'aimantation devient nulle soit B_0 pour une valeur H_c du champ qui est le champ coercitif maximum de l'aimant. C'est entre les deux points B_r et H_c que l'aimant sera amené à travailler en pratique puisqu'on le soumet dans l'utilisation à des champs démagnétisants variables auxquels il devra résister.

Le produit $B \times H$ au long de la courbe de désaimantation est nul lorsque $H = 0$ (et alors $B = B_r$) et lorsque B est nul (et alors $H = H_c$) entre les deux points, le produit passe par un maximum $(B \times H)$ maximum qui caractérise le travail maximum dont est capable l'aimant et qui correspond aux conditions pour lesquelles l'aimant sera le mieux utilisé.

ELECTROMAGNETISME BONHOMME D'AMPERE

Lorsqu'un conducteur est parcouru par un courant électrique il donne naissance à un champ magnétique concentrique au conducteur. Le sens de ce champ est celui dans lequel on tourne un tire-bouchon pour l'enfoncer dans le sens du courant (fig. 7). En enroulant ce conducteur de façon à constituer un solénoïde, les lignes de forces magnétiques ont le même sens lorsqu'elles traversent chacune des spires, elles s'ajoutent donc. Leur addition crée une direction magnétique Nord-Sud qui donne au solénoïde les propriétés d'un aimant. L'action est considérablement renforcée lorsqu'on place à l'intérieur du solénoïde un noyau en fer, métal très perméable au flux ma-

TABLEAU 4

	B_r	H_c	(BH) max.
Acier au carbone	13.500	21	13
Acier au tungstène	10.900	65	35
Acier au chrome	10.400	64	34
Acier au cobalt	9.500	245	100
Alliage fer, nickel, aluminium	7.000	518	140
Acier Ticonal (traité dans un champ magnétique)	13.000	510	500

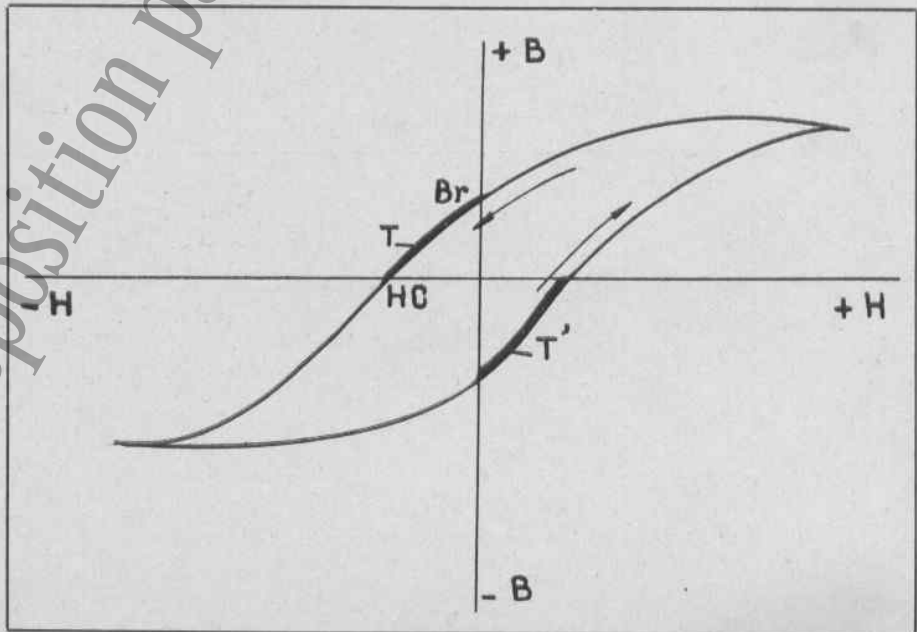


Fig. 5. — Le cycle d'hystérésis.

Le point B_r (brémanent) donne l'intensité d'aimantation que l'aimant maintient seul lorsque, après avoir été aimanté, il n'est plus soumis à aucun champ. Le point H_c (champ coercitif) est la valeur du champ de l'aimantation pour laquelle l'intensité d'aimantation de l'aimant devient nulle. On ne peut donc faire travailler l'aimant que dans la zone T (ou T') comprise en B_r et H_c .

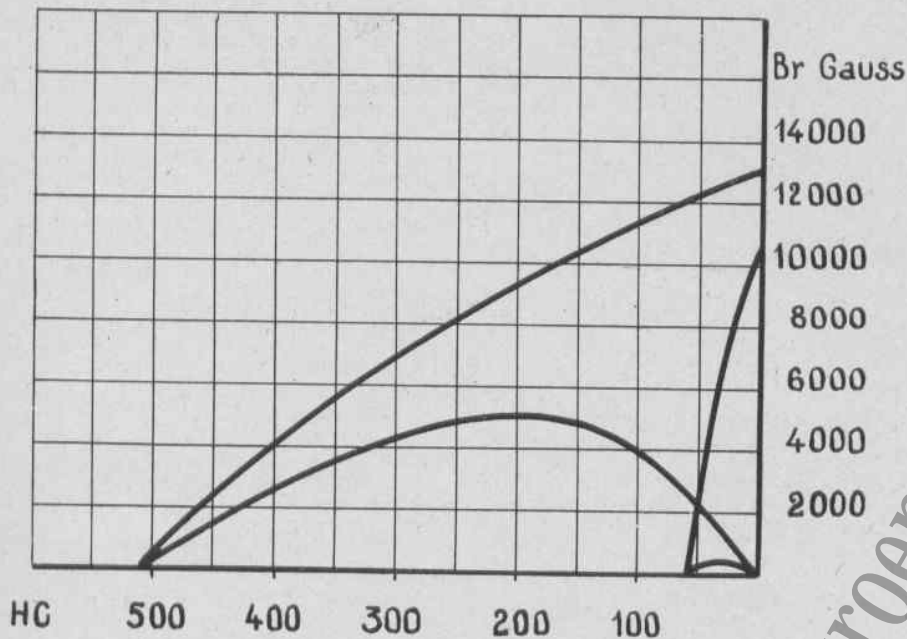


Fig. 6. — Courbes tirées du tableau n° 4.

1, courbe de désaimantation. — 2, courbes correspondant au produit $B \times H$. — A, acier en tungstène. — B, acier Ticonal traité. On juge l'énorme progrès réalisé.

gnétique. En l'absence de boussole, la polarité du solénoïde peut être définie par la règle mnémotechnique dite du « bonhomme » d'Ampère. C'est la suivante :



Lorsque le bonhomme couché sur le conducteur, le courant venant du pôle + lui entre par les pieds, regarde l'intérieur de la spire, il a le pôle Nord à sa gauche.



Le flux magnétique Φ (phi) maintenu par un solénoïde, un enroulement quelconque dans le noyau est proportionnel au nombre de spires N , à l'intensité I , à la section s , à la perméabilité μ (mu) du circuit magnétique et inversement proportionnel à la longueur l de ce circuit. On écrit :

$$\Phi = \frac{4 \pi N I \mu s}{10 l}$$

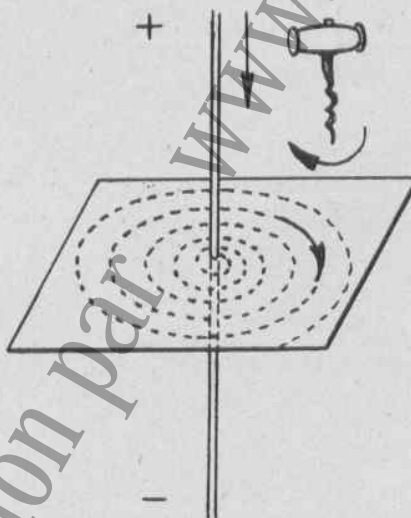


Fig. 7. — Règle du tire-bouchon.

Le sens du flux magnétique dû au courant est celui dans lequel on tourne le tire-bouchon pour l'enfoncer dans le sens du courant.

APPAREILS DE MESURE

Les appareils électriques de mesure sont de types nombreux et divers, ne retenons que ceux utilisés couramment et constamment, c'est-à-dire les ampèremètres et voltmètres.

Selon le principe de fonctionnement on les range dans les catégories suivantes :

Appareils thermiques

On y utilise l'effet JOULE. Un fil conducteur tendu par un léger ressort est parcouru par le courant. Le fil s'échauffe, se dilate, se déforme sous l'action du courant, et sa déformation entraîne l'aiguille indicatrice.

Appareils à aimant mobile

Un petit aimant monté sur pivots, solidaire de l'aiguille et rappelé par un ressort, est placé au milieu d'une bobine que parcourt le courant, le flux dû à la bobine agit sur l'aimant qui dévie en entraînant l'aiguille.

Appareils à cadre mobile

Selon une disposition inverse de la précédente on place entre les pôles d'un puissant aimant fixe, une bobine plate ayant la forme d'un cadre, celui-ci est monté sur pivots, solidaire de l'aiguille et rappelé par un ressort. Le courant parcourant le cadre crée un champ magnétique qui s'oppose à celui de l'aimant.

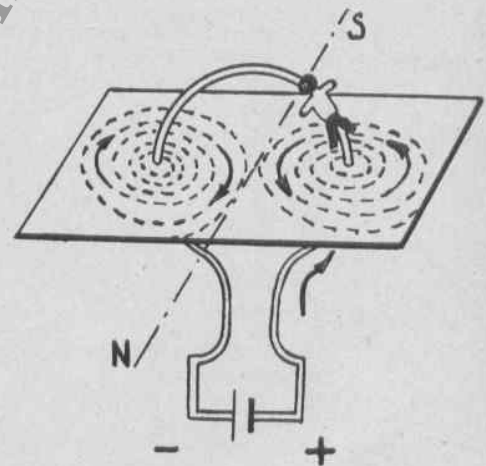


Fig. 8. — Flux magnétique fourni par une spire conductrice.

L'application de la règle du tire-bouchon donne le sens du flux dans un plan coupant la spire. La règle du bonhomme d'Ampère donne le sens du flux suivant l'axe perpendiculaire à la spire.

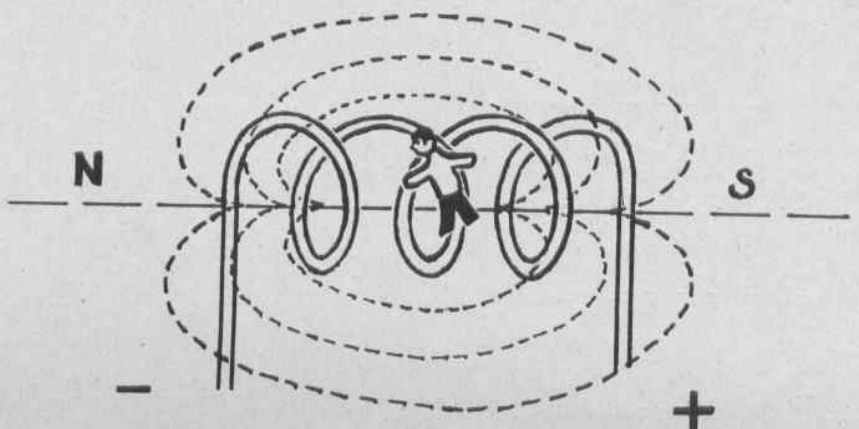
Appareils électro-dynamiques

Le principe est analogue à celui d'un appareil à aimant mobile, mais l'aimant est remplacé par une armature en fer doux.

Les appareils thermiques sont utilisables sur courant continu et alternatif. Les appareils à aimant ou à cadre mobile ne

Ci-contre :

Fig. 9. — Flux magnétique fourni par un solénoïde.



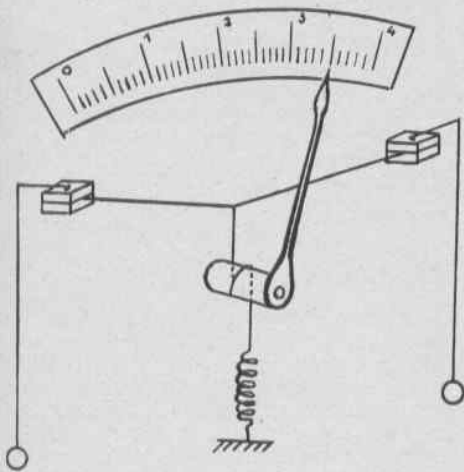


Fig. 10. — Appareil thermique.

A, fil tendu qui s'allonge lorsqu'il est chauffé par le courant. — B, ressort de tension. — C, liaison qui entraîne l'axe de l'aiguille en rotation.

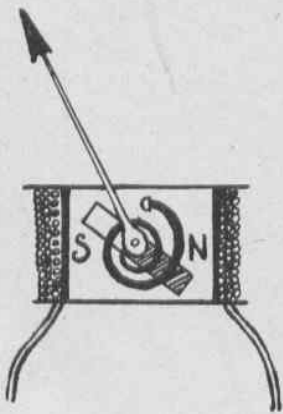


Fig. 11. — Appareil à aimant mobile.

A, bobine. — B, aimant monté sur pivots et solidaire de l'aiguille. — C, ressort de rappel.

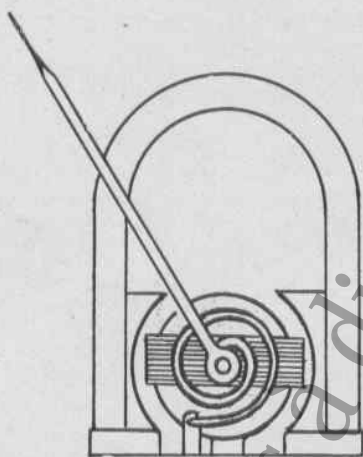


Fig. 12. — Appareil à cadre mobile.

A, aimant fixe. — B, noyau fixe. — Cadre bobiné mobile. — C, ressort de rappel utilisé pour liaison électrique du cadre bobiné.

conviennent que pour courant continu. Les appareils électro-dynamiques sont réservés au courant alternatif. On fait d'ailleurs de plus en plus usage, en courant alternatif, d'appareils à courant continu munis d'un redresseur sec intérieur.

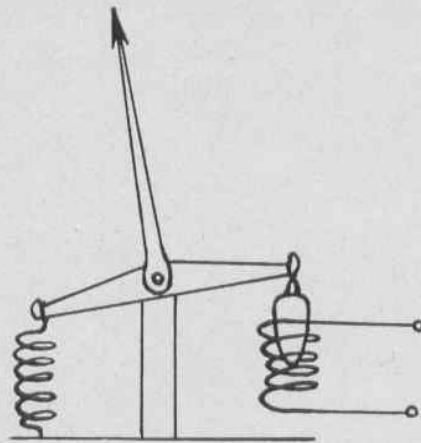


Fig. 13. — Appareil électrodynamique. A, bobine. — B, noyau plongeur. — C, ressort antagoniste.

Mesure d'intensité

L'ampèremètre est monté en série sur la ligne et parcouru par le courant total. Si le calibre de l'appareil est trop faible l'intensité à mesurer, on fait usage (en courant continu seulement) d'un shunt calibré, branché en parallèle avec l'appareil et dans lequel passera une partie du courant (fig. 14).

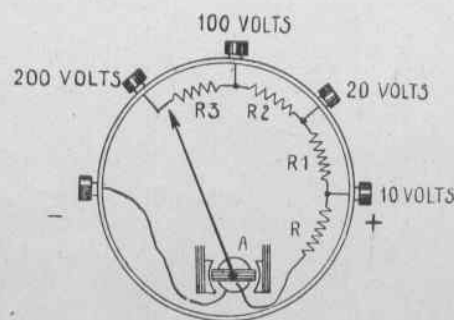
Fig. 14. — Montage d'un shunt d'ampèremètre. A, shunt ayant une résistance R₁. B, cordons de shunt. — C, ampèremètre dont la résistance avec les cordons de shunt est R₂.

Si R₁ est la résistance du shunt dans laquelle passera le courant I₁ et R₂ la résistance du circuit d'ampèremètre dans lequel passera le courant I₂ ou :

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 \text{ comme } I = I_1 + I_2$$

$$\text{on en tire } I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{et } I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Ainsi par exemple supposons que le shunt ait une résistance de 1 Ω et l'ampèremètre une résistance de 9 Ω ; il passera dans le shunt les 9/10, et dans l'ampèremètre 1/10 seulement du courant total. Le shunt doit être approprié à l'ampèremètre ; il est placé à l'intérieur de l'appareil ou à l'extérieur. S'il est intérieur les cordons de shunt doivent être appropriés à l'ensemble shunt-ampèremètre.

Mesure de tension

Un voltmètre n'est qu'un ampèremètre dont la résistance intérieure est élevée. Lorsqu'on branche le voltmètre aux bornes d'un circuit, entre lesquelles existe une tension électrique E, l'appareil est parcouru, en vertu de la loi d'Ohm, par un courant dont l'intensité i dépend de sa résistance intérieure r (qui est fixe) et de la tension existante. L'intensité i provoque la déviation de l'aiguille ; celle-ci est donc proportionnelle à E.

Dans les voltmètres à plusieurs sensibilités, on intercale en série avec l'équipage mobile de l'appareil, des résistances telles que le même courant i est obtenu pour les tensions 2, 3... 10 fois plus élevées que la valeur de base. Suivant la sensibilité choisie on aura donc la même déviation pour des tensions 2, 3... 10 fois plus fortes (fig. 15).

Mesure de résistance

La valeur d'une résistance R peut être obtenue par la loi d'Ohm en mesurant le courant I traversant l'élément ou l'organe que l'on étudie lorsqu'on applique à ses bornes une tension E. On a immé-

$$\text{diatement } R = \frac{E}{I}$$

La mesure n'est pas très sensible et se prête mal aux valeurs très faibles ou très élevées de R.

LE PONT DE WHEATSTONE permet des mesures précises pour une très large gamme de valeur de résistances (fig. 16). Les résistances a et b, tarées et de valeurs choisies dans un rapport simple (2 à 1 ; 5 à 1 ; 10 à 1, etc.) constituent les deux bras de proportion. Les

Ci-contre :

Fig. 15. — Schéma de voltmètre à plusieurs sensibilités.

A, équipage mobile et aimant R, R₁, R₂ ; R₃, résistances chimiques de calibrage.

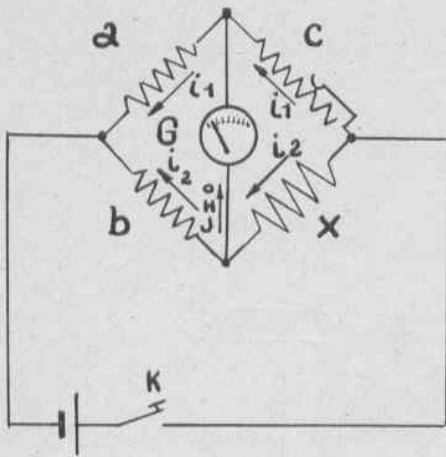


Fig. 16. — Pont de Wheatstone. a, b, bras de proportion. — c, résistance réglable. — x, résistance à mesurer. — G, galvanomètre. — K, clef de manœuvre.

deux autres bras sont constitués l'un par une résistance c tarée et réglable, l'autre par la résistance à mesurer X. Un ampèremètre g très sensible (un galvanomètre) est branché aux points de liaison de a avec c et de b avec x.

L'alimentation s'effectue par les deux autres points de liaison du système, c'est-à-dire ceux des a avec b et de c avec x.

On ferme la clef K puis on fait varier la résistance c jusqu'à ce que le courant à travers le galvanomètre soit nul. A cet instant on a :

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{X} \text{ d'où l'on tire } X = \frac{b}{a} \cdot c$$

Si l'on a réglé a et b de telle façon avec

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ on obtient aussitôt } X = 0,5 c.$$

INDUCTION

Lorsqu'on approche un aimant d'une spire fermée, le flux dû à l'aimant et qui traverse la spire varie avec le déplacement. Il en résulte la création par induction dans la spire, d'un courant électrique. Le phénomène a été découvert par FARADAY (fig. 17). Le courant créé a un sens déterminé. Celui-ci est tel que le flux magnétique induit résultant de la circulation du courant induit s'oppose à la variation du flux magnétique inducteur due au déplacement de l'aimant.

variation du flux inducteur. Elle dépend aussi de nombreux autres facteurs : nombre de spires, résistance, valeur du flux, perméabilité du noyau, etc.

SELF-INDUCTION

Considérons un enroulement présentant une self-induction dont la valeur est par

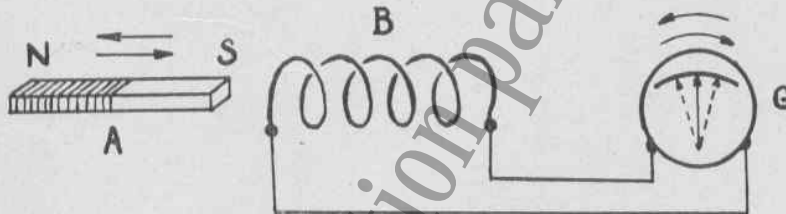


Fig. 17. — Création d'un courant par déplacement d'un aimant. Le déplacement alternatif de l'aimant A crée dans la bobine B un courant qui est lu au galvanomètre G et varie de sens selon le déplacement.

C'est la loi de LENZ (fig. 18).

La variation de flux par un aimant qui se déplace est utilisée dans les magnétos pour créer le courant primaire. L'aimant peut évidemment être remplacé par une bobine inductrice qui fournit un flux inducteur, comme dans les dynamos, les moteurs.

La variation du flux est encore obtenue quand on fait varier le courant dans une bobine inductrice fixe (primaire) liée magnétiquement à une bobine induite fixe (secondaire) ; c'est le cas dans les transformateurs et les bobines d'allumage (fig. 19).

La valeur instantanée du courant induit (ou de la tension aux bornes de la bobine induite si celle-ci est à circuit ouvert) dépend en particulier de la vitesse de

exemple accrue à l'aide d'un noyau de fer. L'établissement d'un courant électrique dans cet enroulement (fig. 20) sera retardé par la self-induction qui tendra à s'opposer à la création du flux magnétique que maintiendra le courant lorsqu'il sera établi. Le temps d'établissement du courant dépend uniquement de la self-induction. Il est le même si la tension appliquée est plus élevée, mais le courant

établi est alors plus élevé ($I = \frac{E}{R}$). Le

flux produit correspond à une énergie magnétique latente emmagasinée. Lorsqu'on coupe le courant cette énergie ten-

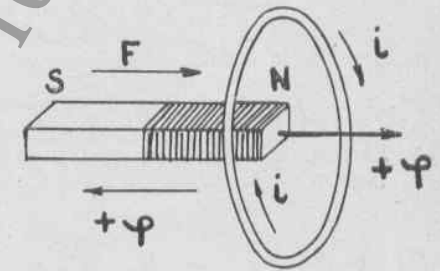


Fig. 18. — Sens du courant induit.

Le déplacement de l'aimant A selon la flèche F crée un courant i qui produit un flux magnétique s'opposant à l'augmentation de celui dû à l'aimant.

dra à maintenir le flux existant en créant dans l'enroulement un courant électrique de même sens que le courant initial et dont la valeur sera d'autant plus grande que la coupure du courant initial sera plus brusque. C'est le courant le self-induction que l'interrupteur coupe évidemment quand même, mais qui donne lieu entre les contacts de l'interrupteur à une étincelle de self-induction. Le courant passe dans cette étincelle et ralentit autant qu'il le peut la rapidité de la coupure.



CONDENSATEUR

Un condensateur est constitué par deux armatures métalliques, séparées par un corps très isolant et qui se chargent respectivement d'électricité de nom contraire lorsqu'on applique une tension continue.

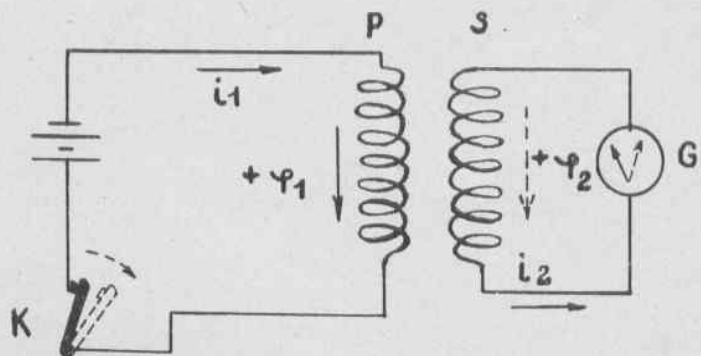


Fig. 19. — Induction par variation de flux d'une bobine.

En ouvrant la clef K, on supprime le courant i_1 qui par le primaire P donnait un flux ϕ_1 . Dans le secondaire, il naît un courant i_2 , mesurable par le galvanomètre G, et qui donne un flux ϕ_2 qui tend à s'opposer à la disparition de ϕ_1 , et a donc le même sens.

La quantité d'électricité Q qui constitue la charge, est proportionnelle à la tension E appliquée et à la capacité C du condensateur. On a :

$$Q = C E$$

La capacité d'un conducteur est proportionnelle à la surface s des armatures, dépend du pouvoir inducteur spécifique K propre au diélectrique utilisé, et est inversement proportionnelle à l'épaisseur de ce diélectrique ; ce qui s'écrit :

$$C = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{KS}{e}$$

Si pour l'air on admet $K = 1$, ce coefficient devient pour le mica 6,65, pour le quartz 4,5, pour l'ébonite 2,5, pour le papier paraffiné 3 à 4.

L'unité de capacité est le Farad représenté par la lettre F . Le sous-multiple couramment utilisé est le microfarad : 1 microfarad = 0,000.001 farad = $1 \mu F$.

La charge et la décharge d'un conducteur sont pratiquement instantanées. La décharge est oscillante lorsque le conducteur est lié à un circuit inductif.



On emploie le condensateur pour absorber, en se chargeant, une partie de l'énergie contenue dans l'étincelle de self-induction qui se produit entre les contacts d'un rupteur. Le résultat est double : la rupture est rendue plus brusque, car l'étincelle de self dure moins longtemps ; les contacts sont protégés de l'attaque résultant de la température élevée de l'étincelle.

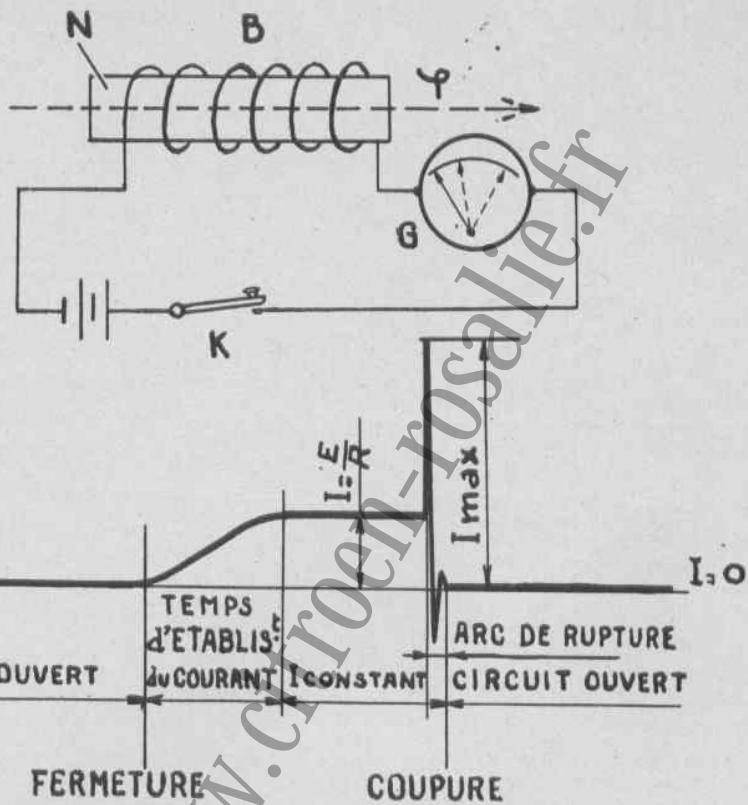


Fig. 20. — Action de la self-induction sur le courant.
En fermant par la clef K le circuit de la bobine de self montée sur un noyau de fer ω , le courant ne s'établit pas instantanément car la self freine l'établissement du flux Φ . Le courant I établi s'inscrit au galvanomètre G . Si l'on coupe le circuit, un courant de self est créé, il tend à maintenir le flux Φ en donnant une pointe d'intensité qui traverse l'arc de rupture.

Mis à disposition par