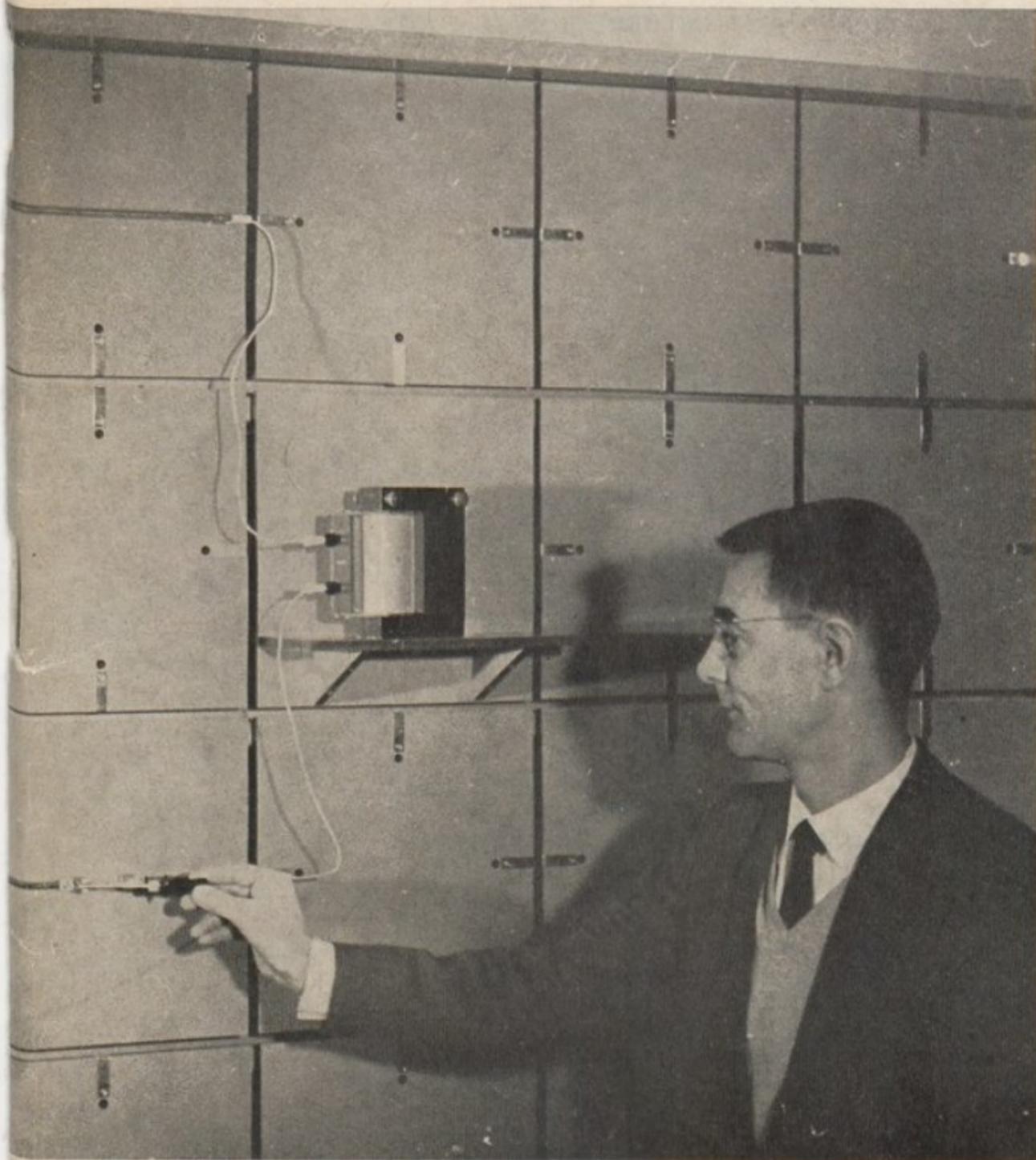




TÉLÉVISION SCOLAIRE
ÉMISSIONS DESTINÉES AUX

ADULTES

1966/67



**cours pratique
d'électricité**

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE - INSTITUT PÉDAGOGIQUE NATIONAL

cours pratique d'électricité

SOMMAIRE

| | | | |
|---------------|---|--|----|
| Emission 1 | — | Le circuit électrique | 1 |
| Emission 2 | — | Les effets du courant électrique | 6 |
| Emission 3 | — | Courant électrique : intensité, différence de potentiel .. | 12 |
| Emission 4 | — | De l'électrostatique à l'électrodynamique | 16 |
| Emission 5 | — | Résistance électrique. Loi d'Ohm | 19 |
| Emission 6 | — | Loi de Joule et récepteurs | 22 |
| Emission 7 | — | Générateurs et récepteurs | 26 |
| Emission 8 | — | Effets chimiques au courant électrique | 32 |
| Emission 9 | — | Montage d'éléments en série | 37 |
| Emission 10 | — | Montage d'éléments en dérivation | 42 |
| Emission 11 | — | Magnétisme et électromagnétisme | 48 |
| Emission 12 A | - | Force électromagnétique — Principe | 51 |
| Emission 12 B | - | Force électromagnétique — Applications | 55 |
| Emission 13 | — | Induction électromagnétique | 58 |
| Emission 14 | — | Auto-induction | 63 |
| Emission 15 | — | Circuit magnétique | 57 |
| Emission 16 | — | Condensateurs | 73 |
| Emission 17 | — | Courant alternatif | 78 |
| Emission 18 | — | Impédances | 84 |
| Emission 19 | — | Puissance en courant alternatif | 90 |

Notre photo de couverture : Au tableau d'expériences du Centre d'Etudes et d'Applications Pédagogiques de l'E.D.F. à Gurcy-le-Châtel (Seine-et-Marne), M. Lièvre, chef de travaux à la section d'applications pédagogiques.

Brochure éditée par l'INSTITUT PÉDAGOGIQUE NATIONAL
avec l'aide de la Délégation Générale de la Promotion Sociale
Rédaction : 29, rue d'Ulm — PARIS (V^e)

Les émissions d'ELECTRICITÉ de la Télévision Scolaire et le présent livret ont été élaborés par l'INSTITUT PÉDAGOGIQUE NATIONAL qui tient à remercier de leur concours M. AUCLERC, ainsi que MM. DAMMANN, GRENET, JOUBERT et MERAT, professeurs.

émission 1

le circuit électrique

intentions pédagogiques

Ce cours d'électricité pratique, qui comportera environ 26 émissions, se place dans le cadre de l'Enseignement Technique orienté vers la Promotion Sociale.

— Il s'adresse à des téléspectateurs non spécialisés en électricité. Son but est de développer très progressivement l'étude des phénomènes électriques, d'en faire apparaître les lois et les applications.

— Le niveau de la formation technique recherchée est sensiblement celui qui est défini par les programmes des Brevets Professionnels non spécialisés en électricité.

— Cet enseignement s'adresse donc plus particulièrement à des utilisateurs.

— Nous nous efforcerons d'employer au maximum l'expérience et l'observation, ainsi que le moyen d'expression par l'image, que nous offre la télévision.

— La fiche d'accompagnement de chaque émission se terminera par un questionnaire, qui permettra au téléspectateur de faire le point des connaissances acquises au cours de cette leçon.

plan de l'émission

1. — Energie électrique.
Sources, récepteurs, circuit électrique.
2. — Mesure de l'énergie électrique - Compteur d'énergie.
Le kilowattheure.
3. — Circuit électrique - Conducteurs - Isolants.
4. — Sens du courant électrique : courant continu - courant alternatif.
5. — Puissance des récepteurs : adaptation à l'emploi.
Tension : adaptation du récepteur à la source.

contenu de l'émission

I. — ENERGIE ELECTRIQUE

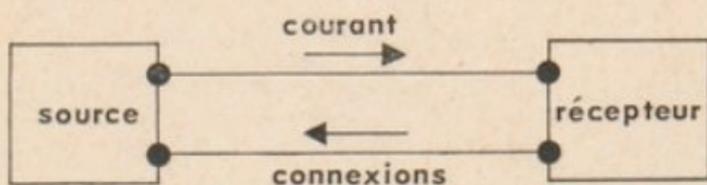
— Nous sommes au siècle de l'électricité.

L'énergie électrique est l'agent universel qui anime les équipements industriels facteurs de production et les équipements domestiques facteurs de confort.

— Toute application de l'électricité implique :

- une **source** d'énergie électrique et un **récepteur** qui transforme cette énergie,
- une pile (source), alimente une ampoule (récepteur) qui produit la lumière.
- Pour les usagers la source la plus répandue est la « **prise de courant** ».

L'ensemble : source, liaisons ou connexions et récepteur constitue le **circuit électrique** qui est parcouru par le **courant électrique**.



II. — MESURE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Le réseau de l'Electricité de France amène l'**Energie Electrique** au compteur de chaque abonné.

La consommation est lue sur le tableau totalisateur du compteur ; la mesure de cette énergie est exprimée en **kilowattheures (1kWh)**.

Le préfixe kilo signifie 1000, l'unité pratique d'énergie est dont le **wattheure (1 Wh)**,

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$$

Il ne faut pas confondre puissance et énergie ou travail.

— La **puissance** exprime la possibilité, que présente un appareil, de réaliser un certain travail en une unité de temps. Elle caractérise quantitativement l'appareil dans l'emploi auquel il est adapté.

La puissance se mesure en watts (1 W) ; multiple : le kilowatt (1 kW).

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

Un moteur de machine à coudre a une puissance voisine de 1/8 kW.

La puissance d'un moteur de motrice de traction peut atteindre 1000 kW.

Remarque : on exprime couramment la puissance d'un moteur d'automobile en chevaux, 1 cheval = 3/4 kW environ (nous considérons ici la puissance réelle et non la puissance fiscale).

Un appareil de puissance 1 Watt qui fonctionne pendant une heure, fournit l'**énergie** ou **travail de 1 wattheure**.

— Cette énergie peut avoir une forme quelconque, thermique, mécanique ou chimique.

— L'appareil emprunte cette énergie sous forme électrique au réseau (très souvent il en consomme davantage à cause de son rendement).

Le kilowattheure est la mesure de l'énergie équivalente au travail d'une puissance de 1 kilowatt pendant 1 heure.

La **puissance nominale** que fournit un appareil dans des conditions de fonctionnement normal est inscrite sur sa plaque signalétique.

Une lampe marquée 150 W fonctionnant pendant 4 heures consomme $150 \text{ W} \times 4 \text{ heures} = 600 \text{ Wh}$.

Un fer à souder de puissance 300 W alimenté pendant 2 heures consomme l'énergie électrique :

$$300 \text{ W} \times 2 \text{ heures} = 600 \text{ Wh}$$

Avec des puissances différentes on peut mettre en jeu la même énergie.

Plus généralement l'énergie en wattheures (ou en kWh) se mesure par le produit de la puissance en watts (ou en kW) par le temps exprimé en heures.

III. — CIRCUIT ELECTRIQUE

a) pour permettre le passage du courant électrique dans un circuit, il faut réaliser avec la source et le récepteur une chaîne ininterrompue de matériaux appelés **bons conducteurs** de l'électricité.

Les métaux jouissent de cette propriété à des degrés différents.

On utilise en général des **fils de cuivre** pour assurer les liaisons entre les deux bornes de la source et les deux bornes du récepteur.

Le passage du courant est assuré quand le **circuit est fermé**.

b) l'interposition d'un matériau appelé **isolant** dans la chaîne des conducteurs, interromp le passage du courant, le **circuit est alors ouvert**.

On réalise des isolants de forme appropriée à l'emploi en porcelaine, en bakélite et diverses matières plastiques.

L'isolant le plus répandu est l'air, il baigne les câbles nus aériens et les machines.

Sans cet isolant naturel, la distribution du courant électrique et son utilisation présenteraient de grandes difficultés.

Pour éviter les contacts fortuits entre les fils de ligne, les conducteurs de liaison sont en général gainés d'isolant souple.

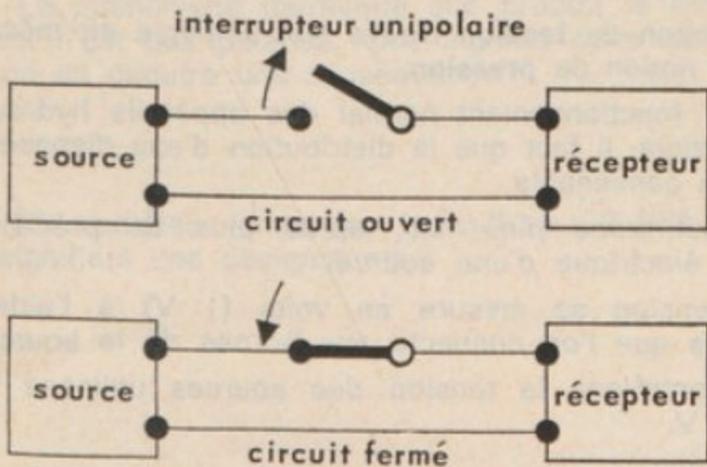
Les isolants nous protègent aussi des dangers du courant électrique.

c) les appareils de manœuvre qui permettent d'ouvrir ou de fermer un circuit électrique sont des **interrupteurs**.

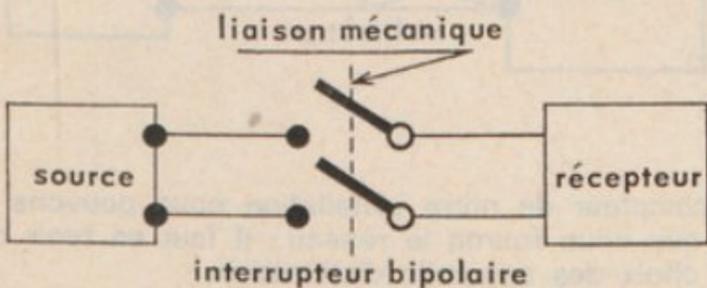
Ils sont souvent réalisés sous boîtier isolant, nous avons présenté l'interrupteur simple :

un couteau en cuivre, serré entre deux mâchoires métalliques assure la fermeture du circuit ; à l'ouverture on écarte le couteau qui se trouve séparé des mâchoires par une couche d'air,

un interrupteur **unipolaire**, ouvre le circuit sur une seule liaison,

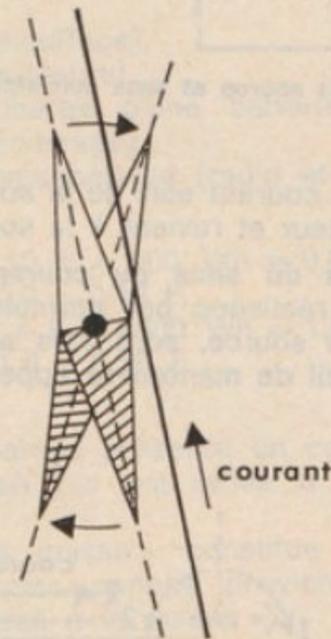


un interrupteur **bipolaire** ouvre le circuit sur les deux liaisons, dans ce cas il isole complètement le récepteur de la source.



IV. — SENS DU COURANT ELECTRIQUE

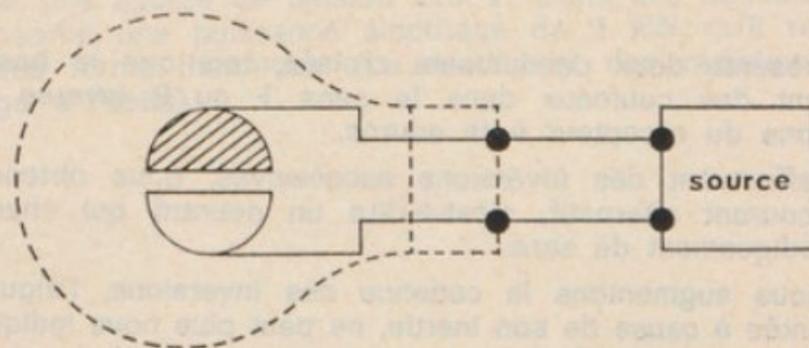
a) Certains phénomènes, dits **polarisés**, diffèrent suivant le branchement des connexions à la source, ceci permet d'attribuer un sens au passage du courant électrique dans le circuit. C'est le cas de la déviation d'une aiguille aimantée au voisinage d'un conducteur parcouru par le courant.



Déviaton d'une aiguille aimantée au voisinage d'un courant

Le sens de cette déviation s'inverse quand nous permutons les connexions aux bornes de la source.

C'est aussi le cas de la plage lumineuse qui apparaît sur une plaque, où sur l'autre, d'une lampe à néon suivant le montage de ses connexions.

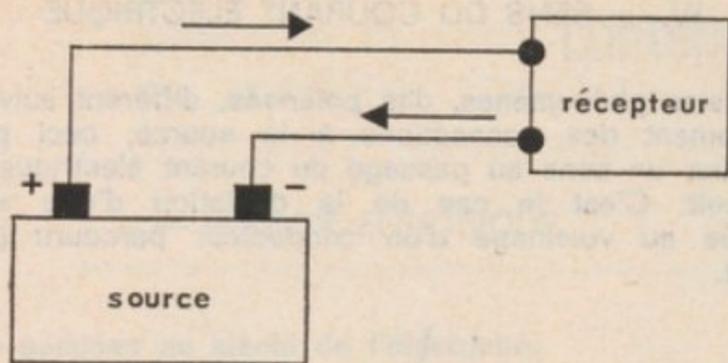


— (Cette lampe à néon est un tube qui comporte deux plaques, ou électrodes, séparées, en atmosphère de néon sous faible pression)

— Ces expériences montrent que certaines sources, telles que les piles et les accumulateurs fournissent un courant de sens constant, appelé **courant continu**.

— Les réseaux de traction électrique, comme le Métropolitain sont alimentés en courant continu (fourni par des générateurs spéciaux de grande puissance).

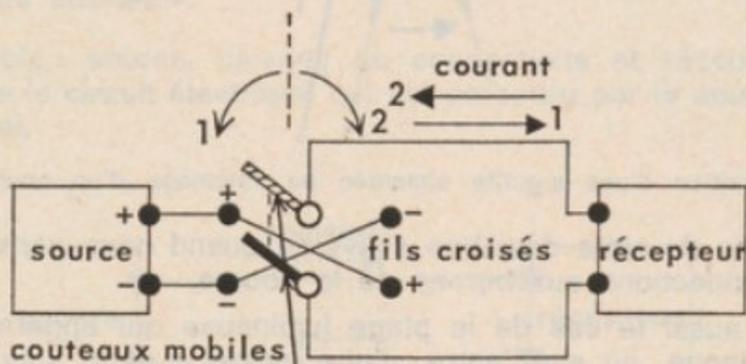
Les bornes des sources de courant continu sont repérées par les signes + et —.



Polarité de la source et sens conventionnel du courant

Par convention le courant sort de la source par la borne +, traverse le récepteur et revient à la source par la borne —.

b) Les inversions du sens du courant dans le récepteur que nous avons réalisées par permutation des connexions aux bornes de la source, sont plus aisément effectuées à l'aide d'un appareil de manœuvre appelé **inverseur**.



Il présente deux conducteurs croisés, tels que le basculement des couteaux dans le sens 1 ou 2 inverse les liaisons du récepteur à la source.

En effectuant des inversions successives, nous obtenons un courant alternatif, c'est-à-dire un courant qui change périodiquement de sens.

Si nous augmentons la cadence des inversions, l'aiguille aimantée à cause de son inertie, ne peut plus nous indiquer les variations rapides du sens du courant, tandis que les électrodes du tube à néon continuent à s'éclairer alternativement.

Le réseau de l'Electricité de France distribue aux usagers du courant alternatif de fréquence 50 hertz, c'est-à-dire qui oscille cinquante fois par seconde, à la manière du mouvement d'une pendule. (Le symbole \sim signifie alternatif).

L'aiguille aimantée ne peut pas suivre les oscillations trop rapides de ce courant; les deux électrodes du tube à néon nous paraissent simultanément lumineuses, parce que notre œil ne peut pas distinguer la succession d'images très rapprochées.

Avec un miroir tournant, qui déplace les images dans l'espace, nous pouvons constater que les deux électrodes du tube sont éclairées alternativement.

V. — PUISSANCE ET TENSION

Nous avons indiqué en paragraphe II que la puissance d'un récepteur correspond à son emploi.

Ainsi un fer à souder électrique marqué 40 W est un outil adapté aux petites soudures délicates dans la construction électronique tandis qu'un fer marqué 300 W (dégageant beaucoup plus de chaleur) chauffe une panne plus large et convient à des soudures plus importantes, en chaudronnerie par exemple.

Nous trouvons sur la plaque signalétique des appareils une autre indication en volts, c'est la **tension électrique de la source** à laquelle l'appareil est adapté, pour fonctionner dans de bonnes conditions.

Nous disposons de deux lampes A et B

A est marquée 60 W - 220 V

B est marquée 60 W - 120 V

— Alimentées avec une source de tension 120 V, la lampe A éclaire très faiblement, la lampe B éclaire normalement.

— Alimentées avec une source de tension 220 V la lampe A éclaire normalement tandis que la lampe B brille d'un vif éclat et se trouve rapidement détruite.

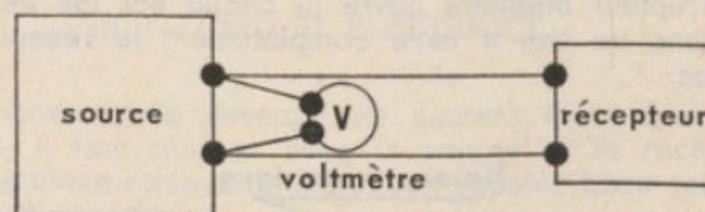
Cette notion de **tension** trouve son analogie en mécanique avec la notion de **pression**.

Pour un fonctionnement normal des appareils hydrauliques par exemple, il faut que la distribution d'eau dispose d'une pression convenable.

Nous définirons plus loin, après plus de précision, la tension électrique d'une source.

Cette tension se mesure en volts (1 V) à l'aide d'un **voltmètre** que l'on connecte aux bornes de la source.

Nous contrôlons la tension des sources utilisées 120 V ou 220 V.



Sur le compteur de notre installation nous pouvons lire la tension que nous fournit le réseau; il faut en tenir compte pour le choix des appareils d'utilisation.

questionnaire

Questions

1. — Citer différentes formes d'énergie pouvant être obtenues à partir de l'énergie électrique.

2. — Evaluer la dépense d'énergie électrique à 0,2 F le kWh dans les cas suivants :

- une lampe de 60 W utilisée pendant 110 heures.
- un réchaud de 450 W utilisé pendant 4 heures.

3. — Dans une voiture automobile certains accessoires (feux de position, moteur d'essuie-glace) n'utilisent apparemment qu'un fil de connexion. Comment se ferme le circuit électrique ?

4. — Le phénomène thermique que produit le passage du courant n'est pas polarisé. Que signifie cette qualification, peut-on en déduire une conséquence ?

5. — Un radiateur porte les indications : 2 kW - 220 V, que signifient ces désignations ?

Réponses.

Energie thermique (chauffage).
Energie mécanique (moteurs).
Energie chimique (charge d'une batterie d'accumulateur).
Energie lumineuse (éclairage).
Rayonnement électromagnétique (radio et télévision).

- énergie $60 \text{ W} \times 110 \text{ h} = 6600 \text{ Wh} = 6,6 \text{ kWh}$.
dépense : $0,2 \times 6,6 = 1,32 \text{ F}$.
- énergie $450 \text{ W} \times 4 \text{ h} = 1800 \text{ Wh} = 1,8 \text{ kWh}$.
dépense : $0,2 \times 1,8 = 0,36 \text{ F}$.

Chacun de ces appareils présente un contact à la masse métallique du châssis qui est reliée à une borne de la source.

Ce « retour par la masse » constitue la fermeture du circuit (de nombreuses pannes proviennent du mauvais contact de ces « mises à la masse »).

Le sens du courant est sans influence sur le dégagement de chaleur dans les conducteurs. Les lampes à incandescence et les réchauds fonctionnent indifféremment sur une source de courant continu ou sur une source de courant alternatif.

Pour obtenir un fonctionnement normal il faut l'alimenter par une source de tension 220 V. Dans ces conditions, il absorbe une puissance électrique de 2 kW qu'il restitue sous forme thermique. (Le rendement des radiateurs est égal à l'unité).

les effets du courant électrique

intentions pédagogiques

— Nous avons présenté dans cette leçon, une étude qualitative des phénomènes fondamentaux provoqués par le passage du courant électrique.

— L'étude ultérieure des relations, entre les différentes grandeurs, apparaîtra alors dans un cadre plus familier.

— Les dispositifs expérimentaux ont été choisis dans le domaine de l'utilisation courante, ou réalisés dans le but de rendre l'observation plus directe.

— Il nous a paru nécessaire d'introduire des notions élémentaires sur la constitution de la matière pour définir l'électron.

L'interprétation moderne du courant électrique présente un caractère concret, et est indispensable en particulier dans l'étude de l'effet chimique du courant.

plan de l'émission

- I. — Molécules et électrons.
- II. — Effet thermique du courant.
- III. — Effet chimique du courant.
- IV. — Effet électromagnétique.
- V. — Questionnaire récapitulatif.

contenu de l'émission

I. — MOLECULES ET ELECTRONS

a) Molécules.

C'est la théorie électronique qui a permis de préciser la nature du courant électrique, et d'interpréter les phénomènes qu'il détermine.

Une source électrique ne crée pas davantage d'électricité qu'une pompe crée l'eau qu'elle anime.

L'électricité est dans la matière, la source fait circuler l'électricité dans le circuit.

La matière est constituée de particules très petites : les molécules.

En divisant à l'extrême une goutte d'eau, nous pourrions obtenir une molécule d'eau qui ne peut plus être divisée sans perdre des propriétés.

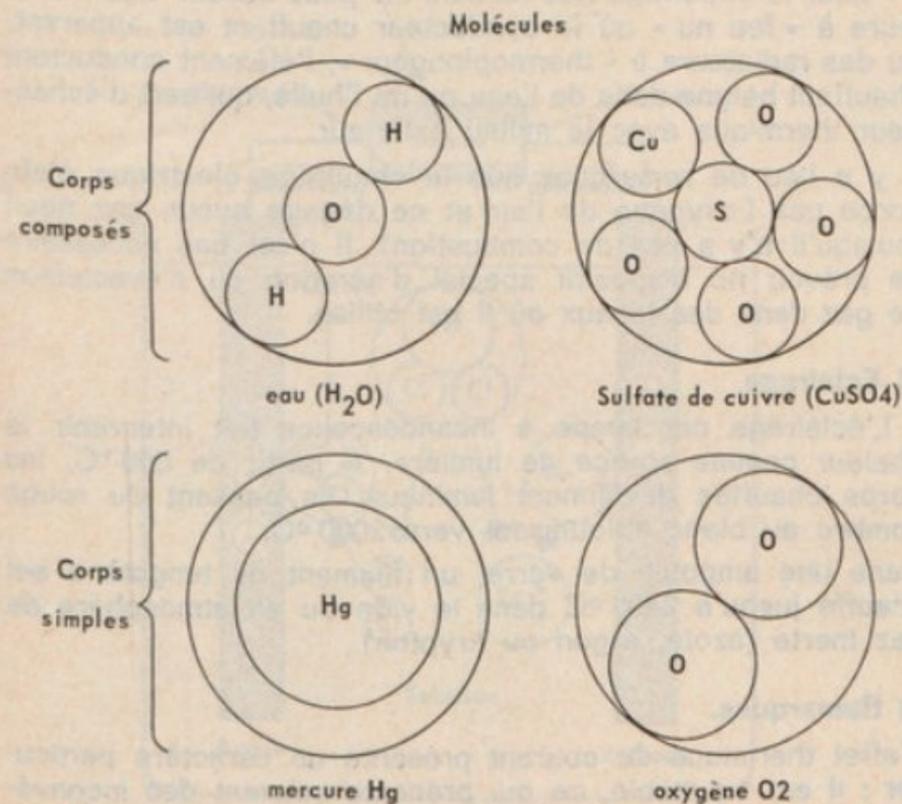
Ce verre contient 18 g d'eau, quantité que les chimistes appellent une mole d'eau. Il y a dans verre 6×10^{23} molécules d'eau. Ce nombre est considérable (il s'exprime par un 6 suivi de 23 zéros).

Pour compter ces molécules à raison de une par seconde, toute la population de Paris mettrait 50 millions de siècles. Les molécules d'un corps sont en perpétuelle agitation, la vitesse moyenne de leurs déplacements augmente avec la température. Au froid absolu $-273,15^\circ$, c'est le repos moléculaire.

b) Atomes.

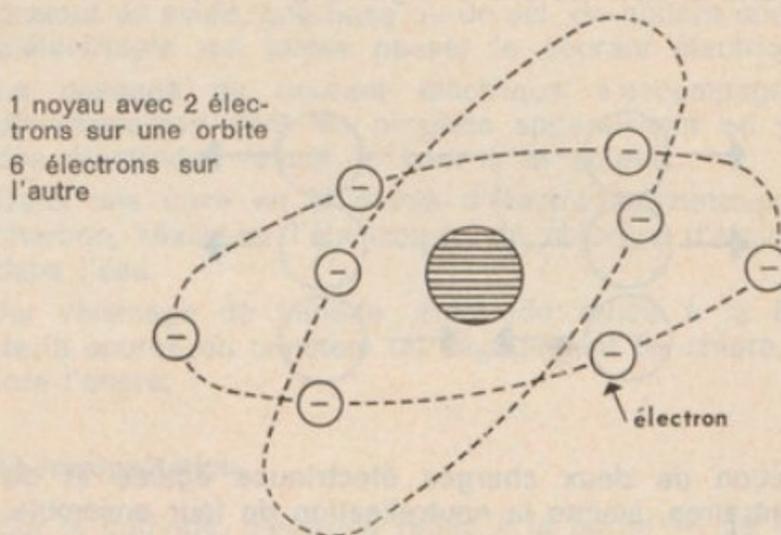
Une molécule d'un corps composé est formée d'éléments de chaque constituant : les **atomes**.

Pour les corps simples, une molécule peut comprendre un ou plusieurs atomes de cet unique constituant.



L'élément de base d'un corps simple est donc l'**atome**.

Un atome comporte un noyau autour duquel gravitent des électrons.



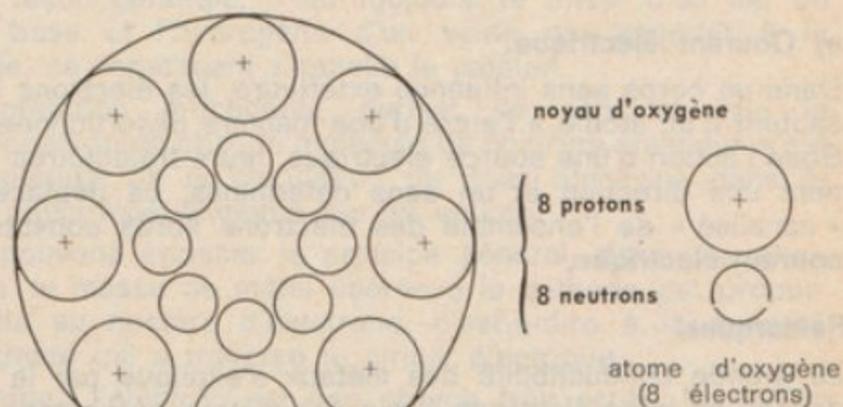
c) Electrons.

Un **électron** peut être considéré comme un grain possédant une charge **élémentaire d'électricité négative**.

Le noyau contient des **protons**, particules à **charge élémentaire positive** (et aussi des neutrons dont la charge électrique est nulle).

Il y a autant d'électrons, à charge négative, dans le nuage électronique que de protons à charge positive dans le noyau.

Donc, la charge électrique d'un atome complet est nulle.

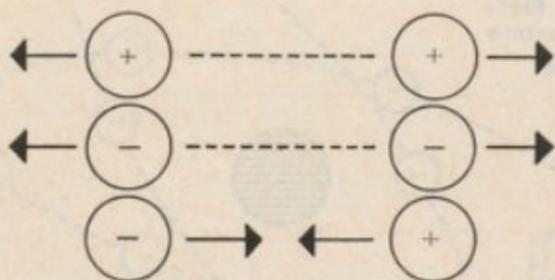


Presque toute la masse de l'atome est concentrée dans le noyau.

En effet, chaque proton ou neutron constituant du noyau a une masse 1836 fois plus grande que celle d'un électron.

La propriété fondamentale des charges électriques est l'action mutuelle qu'elles exercent l'une sur l'autre :

- deux charges de même nom, toutes deux positives ou toutes deux négatives se repoussent,
- deux charges de noms contraires s'attirent. Cette action décroît quand la distance des charges augmente,



— la réunion de deux charges électriques égales et de signes contraires, amène la neutralisation de leur ensemble. Dans un atome, le noyau positif exerce une attraction qui maintient ses électrons sur leurs orbites.

Mais, les électrons les plus éloignés, appelés électrons périphériques sont moins attirés, certains peuvent s'échapper et devenir des **électrons libres**.

L'agitation thermique peut favoriser ce phénomène.

d) Electrification.

L'électrification des corps s'explique par leur gain ou leur perte d'électrons libres.

Frottons un morceau d'ébonite avec une peau de chat. Celle-ci cède des électrons à l'ébonite.

Le bâton d'ébonite s'électrifie négativement par excès d'électrons et la peau s'électrifie positivement par perte d'électrons. L'ébonite électrisée attire les corps légers.

e) Courant électrique.

Dans un corps sans influence extérieure, les électrons libres sautent d'un atome à l'autre d'une manière désordonnée.

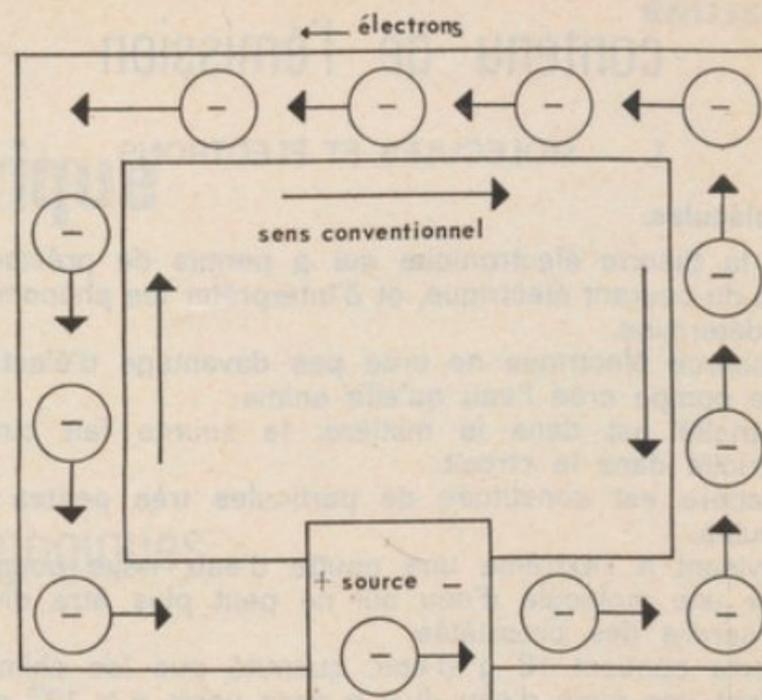
Sous l'action d'une source électrique, leurs trajectoires prennent une direction et un sens déterminés, ce déplacement « canalisé » de l'ensemble des électrons libres constitue le **courant électrique**.

Remarques.

La grande conductibilité des métaux s'explique par la forte densité de leurs électrons libres, les métaux présentent donc une faible résistance au passage du courant électrique.

Par contre, les isolants, dont les électrons libres sont très rares conduisent mal le courant électrique, ils opposent une très grande résistance au passage du courant.

La théorie électronique est postérieure à la découverte des effets du courant électrique. Il est regrettable que l'usage ait conservé, le sens conventionnel du courant, arbitrairement choisi, à l'inverse du déplacement des électrons dans les conducteurs.



II. — EFFET THERMIQUE DU COURANT

a) Chauffage.

Le passage du courant dans tout conducteur dégage de la chaleur, c'est l'effet thermique.

Cette propriété trouve de nombreuses applications :

- réalisation d'étuves et de fours appelés fours à résistance dont la température dépasse rarement 1000 °C ;

- soudure par points de deux tôles serrées entre les électrodes réunies à la source ;

- réchauds électriques, fer à souder à repasser, etc ;

- pour le chauffage des locaux, on peut utiliser des radiateurs à « feu nu » où le conducteur chauffant est apparent, ou des radiateurs à « thermoplongeur », l'élément conducteur chauffant baigne dans de l'eau ou de l'huile, qui sert d'échangeur thermique avec le milieu extérieur.

Il y a lieu de remarquer que le chauffage électrique n'absorbe pas l'oxygène de l'air et ne dégage aucun gaz nocif (puisque'il n'y a pas de combustion). Il n'est pas nécessaire de prévoir un dispositif spécial d'aération ou d'évacuation de gaz dans des locaux où il est utilisé.

b) Eclairage.

L'éclairage par lampe à incandescence fait intervenir la chaleur comme source de lumière. A partir de 500 °C, les corps chauffés deviennent lumineux, ils passent du rouge sombre au blanc éblouissant vers 2000 °C.

Dans une ampoule de verre, un filament de tungstène est chauffé jusqu'à 2400 °C dans le vide ou en atmosphère de gaz inerte (azote, argon ou krypton).

c) Remarques.

L'effet thermique du courant présente un caractère particulier : il est inévitable, ce qui présente souvent des inconvénients et même des dangers.

Ainsi, un moteur électrique est employé pour produire de l'énergie mécanique et cependant il dissipe sous forme de chaleur une partie de l'énergie qu'il reçoit, ce qui diminue son rendement. En outre, cela crée des impératifs dans sa construction : isolants appropriés et refroidissement.

(Les lignes de distribution dissipent dans l'atmosphère sous forme de chaleur une partie de l'énergie qu'elles doivent transporter).

Ajoutons que les installations électriques défectueuses ou mal protégées sont souvent cause d'incendie par effet thermique. Cependant, on peut protéger une installation en utilisant l'effet thermique dans des éléments fusibles « les plombs » ; leur fusion entraîne la coupure du courant en cas de régime dangereux pour l'installation (un contact fortuit entre deux fils de ligne constitue un **court-circuit**).

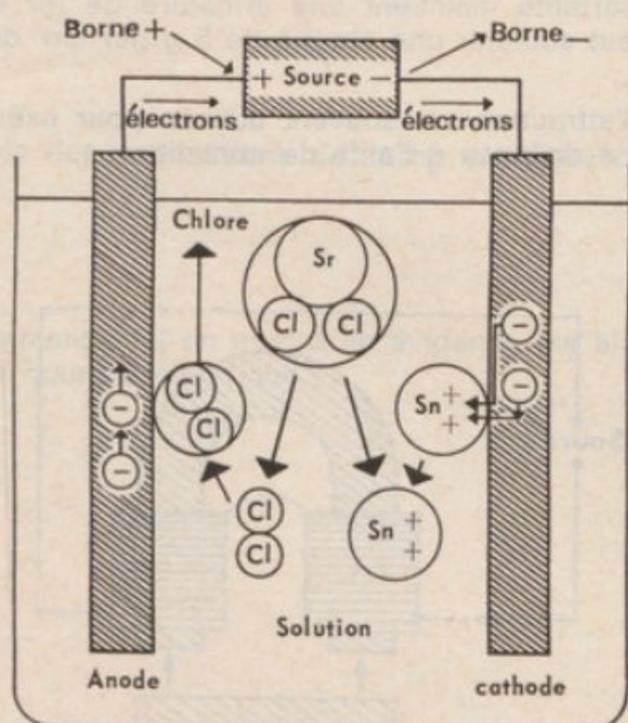
d) Mesure.

Nous avons vu à la précédente leçon que l'unité pratique d'énergie utilisée en électricité est le kWh. L'énergie sous forme thermique s'évalue souvent en thermies.

La thermie est la quantité de chaleur mécanique pour élever de 1 °C la température de 1 tonne d'eau. 1 kWh équivaut à 0,86 thermie.

A titre indicatif, pour comparer les prix de revient des divers modes de chauffage :

- 1 kg de charbon bien employé peut fournir de 6 à 8 thermies ;
- 1 kg de fuel - environ 11 thermies ;
- 1 m³ de gaz de ville 4 à 5 thermies.



III. — EFFET CHIMIQUE

a) Exemple.

L'effet chimique du courant porte le nom d'électrolyse. L'eau pure n'est pas conductrice du courant électrique, si on y dissout un acide, une base ou un sel, on obtient une solution d'électrolyte qui laisse passer le courant électrique.

Le passage du courant électrique s'accompagne d'une décomposition dont les produits apparaissent au voisinage des électrodes reliant le bain à la source.

Dans une cuve en U munie d'électrodes inattaquables en charbon, réalisons l'électrolyse du chlorure d'étain dissous dans l'eau.

Au voisinage de l'anode, électrode reliée à la borne + de la source on constate un dégagement de chlore, il décolore l'encre.

b) Interprétation.

Sur la cathode, électrode reliée à la borne — de la source on constate un dépôt de cristaux d'étain.

L'interprétation électronique du phénomène est la suivante : en solution la molécule électriquement neutre de chlorure stanneux SnCl_2 se dissocie en deux ions électrisés :

— l'anion chlore $(2\text{Cl})^{-}$ est négatif (2 électrons en excès), il se dirige vers l'anode où il cède 2 électrons qui vont rejoindre la borne positive + de la source, et une molécule de chlore Cl_2 électriquement neutre se dégage de l'anode.

— le cation Sn^{++} est positif (il lui manque deux électrons) il se dirige vers la cathode où il prélève deux électrons venant de la borne négative — de la source, le métal étain, électriquement neutre se dépose à la cathode.

c) Généralisation.

D'une façon générale, c'est toujours le métal d'un sel ou d'une base et l'hydrogène d'un acide qui apparaît à la cathode, ce constituant s'appelle le cation.

L'interprétation précédente permet de conclure que la décomposition de chaque molécule de chlorure stanneux s'est accompagnée de la circulation de deux électrons dans le circuit électrique alimenté par la source.

Nous pouvons énoncer le principe général, dans une électrolyse, la masse de métal libérée à la cathode est proportionnelle au nombre d'électrons, c'est-à-dire à la quantité d'électricité qui a traversé le circuit électrique.

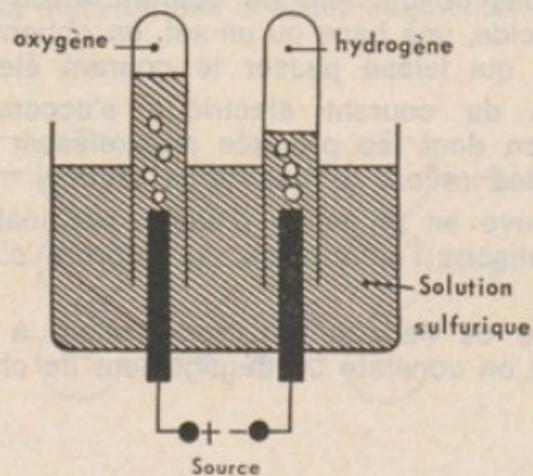
Remarque : l'électron est une charge très petite, l'unité de quantité d'électricité est le coulomb qui vaut environ 6×10^{18} électrons.

d) Applications.

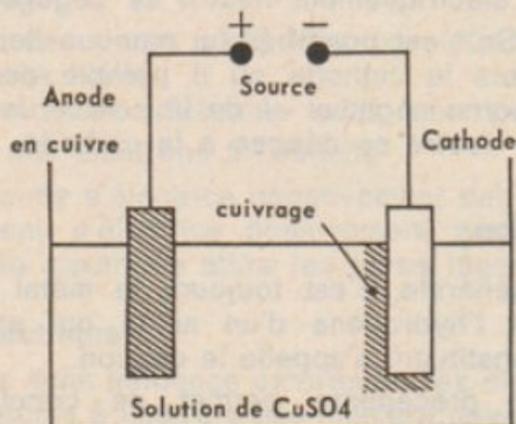
Le phénomène d'électrolyse est souvent plus complexe.

1) Soit que le solvant lui-même intervienne dans les réactions : c'est le cas de l'électrolyse d'une solution d'acide sulfurique avec des électrodes de charbon.

On récupère alors les constituants de l'eau 1 volume d'oxygène à l'anode et 2 volumes d'hydrogène à la cathode.



2) Soit que les électrodes elles-mêmes participent à la réaction, c'est le cas de l'électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre avec anode en cuivre. La cathode se recouvre de cuivre au détriment de l'anode qui disparaît peu à peu.



Ce type d'électrolyse est utilisé industriellement pour obtenir des dépôts métalliques, cuivrage, nickelage, chromage, argenture, dorure — et pour le raffinage de métaux (cuivre très pur utilisé en construction électrique).

A l'état fondu les sels et les bases sont électrolysables. L'aluminium est préparé par électrolyse à chaud vers 850°, de l'alumine (dans un bain de cryolithe) au four Hérault.

IV. — EFFET ELECTROMECHANIQUE

La réalisation du moteur et des commandes mécaniques par courant électrique utilise les phénomènes désignés sous le nom général d'effets électromagnétiques.

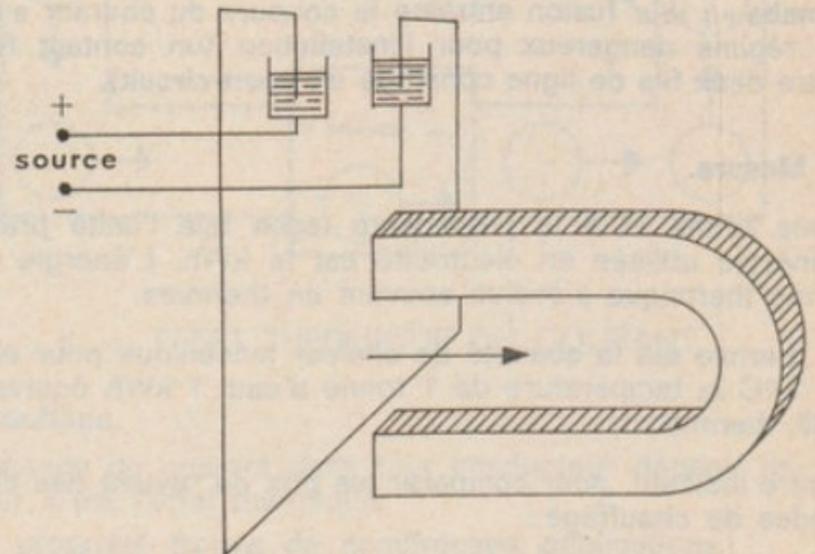
a) Nous avons montré au cours de la leçon précédente la déviation d'une aiguille aimantée par un courant électrique.

Réciproquement, un conducteur parcouru par un courant peut être déplacé par l'action d'un aimant situé au voisinage.

On peut obtenir une rotation permanente si le conducteur déplacé est le rayon d'une roue.

Le courant électrique passant entre l'axe et la cuve à mercure.

Le dispositif s'appelle Roue de Barlow.

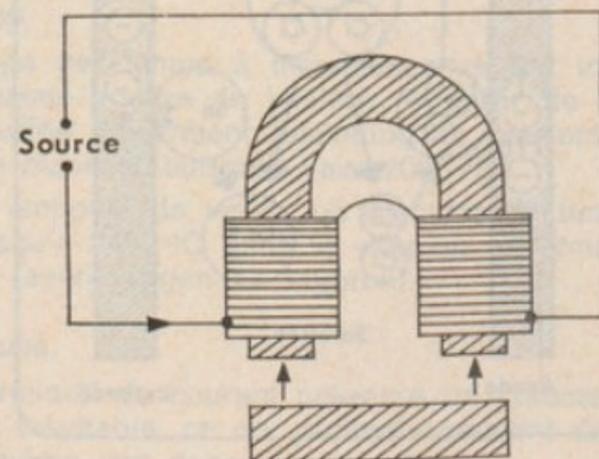


b). Un noyau de fer doux s'aimante très fortement quand il est placé à l'intérieur d'une bobine parcourue par un courant.

On réalise ainsi un électro-aimant.

La force portante maintient une armature de fer collée au pôle, on peut soutenir une charge de 5 g par cm² de surface de contact.

La force d'attraction est souvent utilisée pour exécuter une commande à distance à l'aide de contacteur.



Energie mécanique : l'énergie mise en jeu dans un travail mécanique se mesure par le produit Force \times distance parcourue.

L'unité de travail est le joule, il correspond à l'élévation d'une charge de 102 g à 1 mètre de hauteur.

L'unité de puissance (que nous avons indiquée dans la leçon

précédente) le watt fournit le travail de 1 joule par seconde, et l'unité pratique d'énergie, le wattheure représente donc 3600 joules.

1 wattheure représente le travail fourni pour l'élévation d'une charge de 50 kg à une hauteur de 7,20 m (2^e étage d'une maison) et 1 kilowattheure l'élévation d'une charge de 1200 kg à 300 m de hauteur.

questionnaire

Questions.

1. — Qu'est-ce que le courant électrique ?

Préciser l'action de la source.

2. — Que signifient les expressions :

— corps électrisé positivement

— corps électrisé négativement

3. — Quels sont les inconvénients de l'effet thermique ?

4. — Citez des applications de l'effet chimique du courant.

5. — Comment peut-on mettre en évidence les effets mécaniques du courant électrique ?

Réponses.

1) le courant électrique est un déplacement d'électrons dans les conducteurs (en sens inverse du sens conventionnel).

La source agit à la façon d'une pompe, elle attire les électrons à sa borne +, elle les refoule à sa borne —.

2)

— Un corps est électrisé positivement si à partir de l'état neutre, il a perdu des électrons (charges négatives).

— Un corps est électrisé négativement si à partir de l'état neutre il a acquis des électrons. (Les charges + appartenant au noyau ne s'échappent pas de l'atome).

3) L'effet thermique étant inévitable, il se produit même dans les cas où il n'est pas recherché : transport d'énergie mécanique (moteurs).

Parfois il peut être une cause d'incendie (installations défectueuses et mal protégées).

4) La décomposition par électrolyse permet :

- de séparer les éléments de certains corps (électrochimie),
- d'obtenir des dépôts métalliques (chromage),
- de préparer certains métaux (aluminium, magnésium).

5) Déplacement d'un conducteur parcouru par un courant au voisinage d'un aimant.

Plus généralement moteur électrique.

Attraction et maintien d'une armature de fer par un électroaimant.

courant électrique : intensité d'un courant

Différence de potentiel

intentions pédagogiques

Définir les principales grandeurs électriques, en particulier **intensité, quantité d'électricité, différence de potentiel.**

Exposer les relations entre ces grandeurs. Faire apparaître également les relations avec les grandeurs **puissance et travail** définies dans la leçon précédente.

La définition des grandeurs est accompagnée de la définition légale des unités qui mesurent ces grandeurs.

Développer une méthode d'étalonnage d'un ampèremètre qui s'appuie sur les relations physiques entre les grandeurs électriques.

Déterminer la puissance absorbée par un récepteur à l'aide d'une mesure d'intensité et d'une mesure de différence de potentiel.

résumé de l'émission

La grandeur intensité d'un courant est mise en évidence dans une expérience faisant appel à l'effet des forces électrodynamiques.

Définition légale de l'ampère.

Exposé de la notion de quantité d'électricité. Définition des unités. Etalonnage d'un ampèremètre par la mesure de quantités d'électricité.

Notions de potentiel et de différence de potentiel à partir de l'énergie cédée dans un récepteur par une quantité d'électricité.

Mesure d'une différence de potentiel à l'aide d'un volt-mètre. Relations entre puissance dans un récepteur, intensité absorbée et différence de potentiel à ses bornes.

Mesure de la puissance absorbée par un récepteur.

contenu de l'émission

La répulsion de deux conducteurs parallèles parcourus par un courant électrique peut être utilisée pour mettre en évidence l'intensité d'un courant électrique.

Nous pouvons constater expérimentalement que la force qui s'exerce entre les conducteurs est plus ou moins grande selon la source de courant utilisée. **Cette force dépend de l'intensité du courant.** (Voir fig. 1).

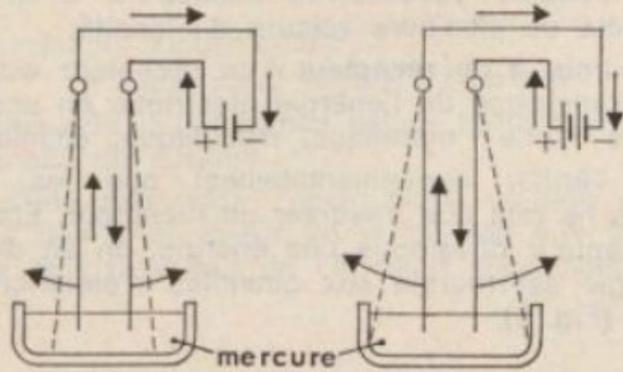


Fig. 1 - Effet des forces électrodynamiques.

La force qui s'exerce entre les deux conducteurs dépend également de conditions géométriques. Longueur des conducteurs, espacement entre eux et nature du milieu (air, eau, etc.).

Unité d'intensité : c'est l'ampère. La définition légale (loi du 17 janvier 1948) s'appuie sur les effets des forces électro-dynamiques. L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui maintenu dans deux conducteurs parallèles rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à un mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} newtons par mètre de longueur.

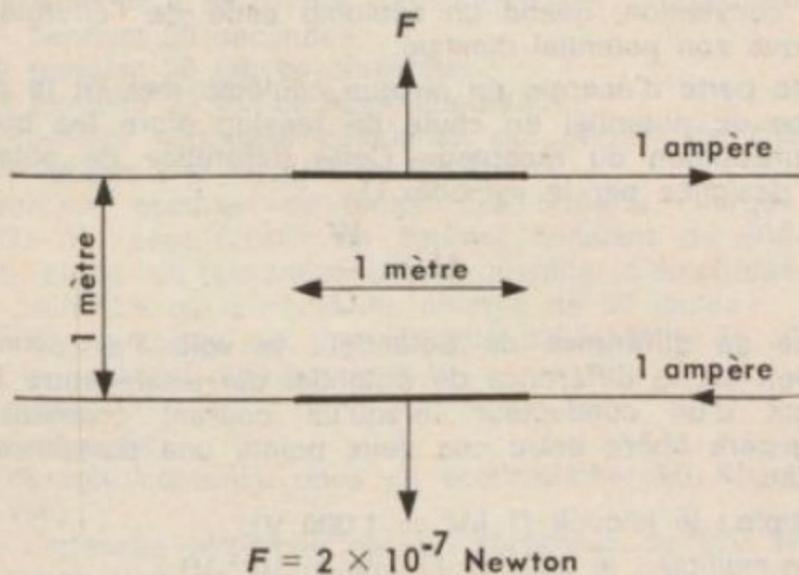


Fig. 2 - Définition légale de l'ampère.

Multiple : kiloampère = 1 kA = 1 000 ampères.

Sous-multiples : le milliampère = 1 mA = 10^{-3} A

le microampère = $1 \mu A = 10^{-6}$ A

Mesure de l'intensité : on mesure l'intensité d'un courant électrique à l'aide d'ampèremètres. Les ampèremètres font appel à un effet quelconque du courant. L'effet électro-dynamique se prête mal à une réalisation pratique d'ampèremètre.

L'ampèremètre thermique est constitué par un fil résistant qui s'échauffe au passage d'un courant. L'allongement du fil est indiqué par une aiguille. (Fig. 3).

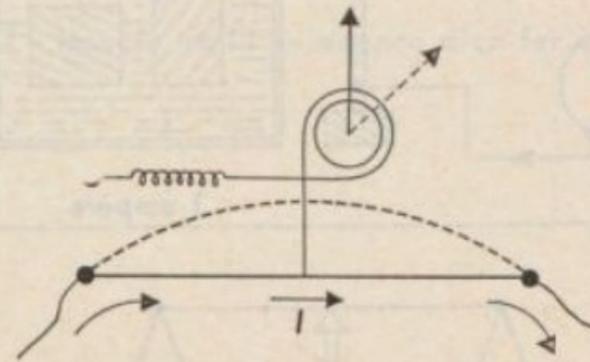


Fig. 3 - Principe de l'ampèremètre thermique.

Dans l'ampèremètre à aimant mobile, le courant parcourt une bobine et fait dévier une aiguille aimantée. (Fig. 4).

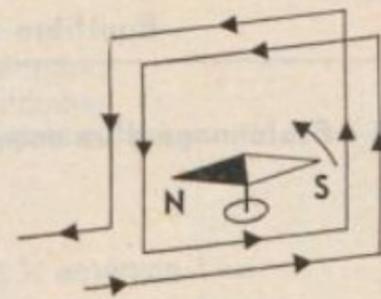


Fig. 4 - Principe de l'ampèremètre à aimant mobile.

L'expérience montre que la déviation de ces appareils n'est pas proportionnelle au courant. Leur étalonnage doit être effectué point par point, à l'aide d'une méthode décrite plus loin.

Quantité d'électricité : le courant est un débit d'électricité, il transporte par unité de temps une quantité d'électricité fonction de sa valeur. Par définition, un courant I constant

transporte pendant un intervalle de temps t une quantité d'électricité :

$$Q = It$$

Unité : le coulomb est la quantité d'électricité transportée par un courant constant de 1 ampère pendant une seconde.

L'électron est une quantité trop petite pour l'usage courant. Un coulomb vaut environ 6×10^{18} électrons.

L'ampèreheure est une unité pratique de quantité d'électricité transportée par un courant constant de 1 ampère pendant une heure.

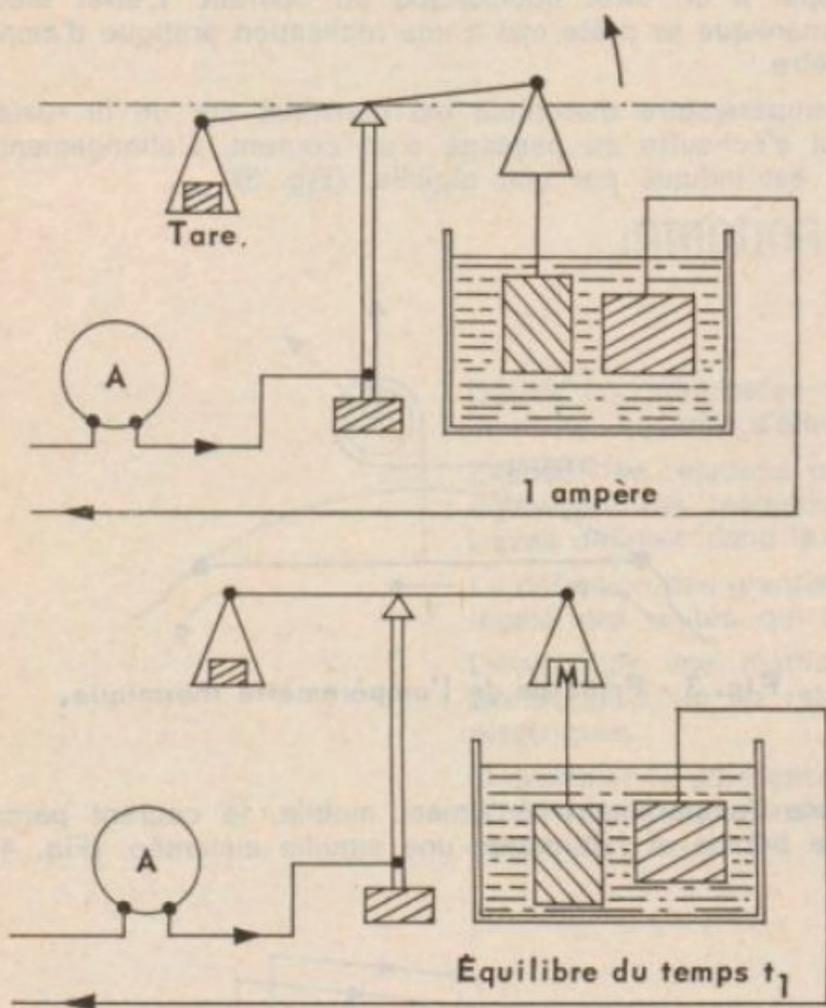


Fig. 5 - Étalonage d'un ampèremètre

En résumé :

$$\begin{aligned} Q \text{ coulombs} &= I \text{ ampères} \times t \text{ secondes.} \\ \text{ampèreheures} &= I \text{ ampères} \times t \text{ heures.} \end{aligned}$$

Étalonnage d'un ampèremètre. (Fig. 5).

On a vu dans une leçon précédente que les effets quantitatifs de l'électrolyse dépendent de la quantité d'électricité qui a traversé un circuit d'électrolyse. D'une façon plus générale, la masse de métal transportée par électrolyse est proportionnelle à la quantité d'électricité qui a traversé la cuve. On peut écrire : $M = kQ$.

Dans une première expérience, on fait traverser une cuve à électrolyse et l'ampèremètre à étalonner par un courant constant de 1 ampère, déterminé à partir de la définition

légale. Après un certain temps t_1 , on mesure par une pesée la masse M de métal transportée. On a $M = kQ = k t_1 I_1$. Dans une seconde expérience, on porte le courant à une valeur différente de 1 ampère telle que I_2 . On mesure le temps t_2 au bout duquel on aura déposé encore une fois la même masse M . On a $M = kQ = k t_2 I_2$. Comme on a déposé la même masse dans les deux expériences, on peut écrire :

$$t_1 I_1 = t_2 I_2$$

$$\text{et finalement : } I_2 = \frac{t_1}{t_2} \times I_1$$

Plusieurs mesures successives conduiront à la détermination exacte de plusieurs valeurs d'intensité.

Energie fournie à un récepteur : un récepteur est un système qui transforme de l'énergie électrique en une énergie d'une autre forme : thermique, mécanique, chimique.

On peut vérifier expérimentalement que les quantités d'électricité ne font que traverser un récepteur. Etant donné que le récepteur développe une énergie, on en déduit que cette énergie est fournie aux quantités d'électricité qui le traversent. (Fig. 6).

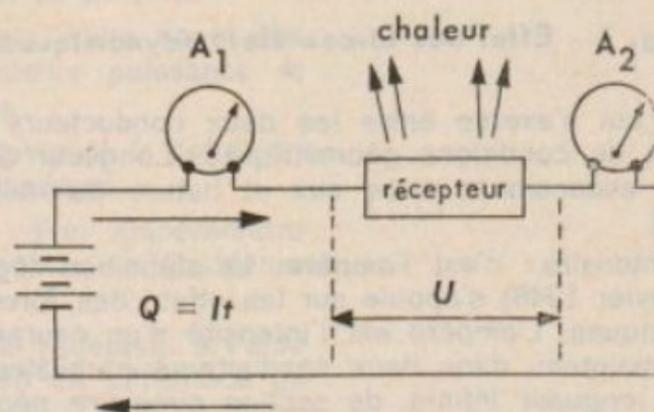


Fig. 6 - Les quantités d'électricité ne font que traverser le récepteur.

Par convention, quand un coulomb cède de l'énergie, on dit que son potentiel diminue.

Cette perte d'énergie de chaque coulomb mesure la différence de potentiel ou chute de tension entre les bornes d'alimentation du récepteur. Cette différence de potentiel est désignée par le symbole U .

$$U = \frac{W}{Q}$$

Unité de différence de potentiel : le **volt**. Par définition le volt est la différence de potentiel qui existe entre deux points d'un conducteur lorsqu'un courant constant de 1 ampère libère entre ces deux points une puissance de 1 watt.

Multiple : le kilovolt (1 kV = 1 000 V).

Sous-multiple : le millivolt (1 mV = 10^{-3} V).

Dans la pratique, la quantité d'électricité Q ne se prête pas à une mesure directe.

En régime permanent, elle est évaluée par la relation $Q = I t$.

Nous pouvons donc écrire :

$$U = \frac{W}{Q} = \frac{W}{I t} = \frac{1}{I} \times \frac{W}{t}$$

Puisque nous avons appris que

$$P = \frac{W}{t} \text{ ou donc}$$

$$U = \frac{1}{I} \times P$$

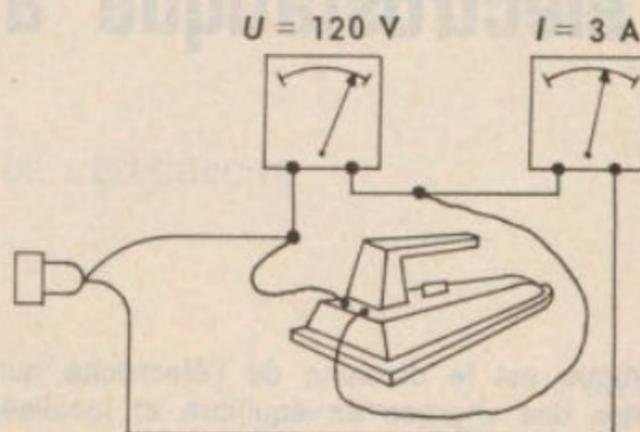
D'où la relation fondamentale :

$$P \text{ watts} = U \text{ volts} \times I \text{ ampères}$$

qui exprime que la puissance est le produit de la tension par l'intensité du courant.

Mesure d'une puissance : nous avons vu que cette grandeur était liée à la valeur de la tension aux bornes d'un récepteur et à la valeur de l'intensité traversant ce récepteur.

On peut donc déterminer la puissance absorbée par un appareil en mesurant la différence de potentiel aux bornes à l'aide d'un voltmètre et l'intensité qui le traverse à l'aide d'un ampèremètre. (Fig. 7).



$$P = U \times I = 120 \times 3 = 360 \text{ W (watts)}$$

Fig. 7 - Mesure de la puissance d'un fer à repasser.

questionnaire

Questions.

Exprimer :

- 2 000 A en kA (kiloampère)
- 0,05 A en mA (milliampère)
- 0,000125 en μ A (microampère)

Calculer :

- la quantité d'électricité transportée par un courant de 25 A pendant 30 secondes,
- 25 A pendant 20 mn en coulombs,
- 25 A pendant 20 mn en ampèreheures ;
- l'intensité supposée constante, qui permet de charger en 10 heures une batterie de 60 Ah ;
- pendant combien de temps une batterie chargée de 10 000 Ah, peut fournir un courant constant de 600 A ;
- la chute de potentiel d'une quantité d'électricité de 250 coulombs qui a cédé une énergie de 50 joules ;
- l'énergie cédée par une quantité d'électricité de 10 Ah dont le potentiel diminue de 6 V,
- en joules,
- en wattheures ;
- l'énergie contenue dans un accumulateur 60 Ah, 12 V (en Wh) ;
- l'intensité absorbée par un récepteur de 600 W de puissance alimenté sur 110 V ;
- la puissance absorbée par un récepteur traversé par un courant de 2,5 A sous 220 V.

Réponses.

- $I = 2$ kiloampères.
- $I = 50$ milliampères.
- $I = 125$ microampères.

- $Q = 750$ coulombs.
- $Q = 30\,000$ coulombs.
- $Q = 8,33$ ampèreheures.

$$I = 6 \text{ ampères.}$$

$$t = 16 \text{ h } 40 \text{ mn.}$$

$$U = 0,2 \text{ volt.}$$

$$W = 216\,000 \text{ joules.}$$

$$Wh = 60 \text{ Wh.}$$

$$W = 720 \text{ Wh.}$$

$$I = 5,45 \text{ A.}$$

$$P = 550 \text{ W.}$$

de l'électrostatique à l'électrodynamique

I. — DÉFINITION

L'électrostatique est le domaine de l'électricité qui étudie les propriétés des charges en équilibre et localisées.

Certains corps que l'on nomme isolants : ambre, verre, résine, ébonite, frottés avec une étoffe ou une peau de chat, acquièrent la propriété d'attirer les corps légers.

D'autres corps, tels que les métaux, que l'on appelle conducteurs, ne peuvent pas s'électriser par frottement, les charges étant plus ou moins mobiles s'écoulent vers le sol par l'intermédiaire du manipulateur. Cependant, il est possible d'électriser des conducteurs, si ceux-ci sont isolés du sol.

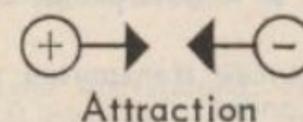
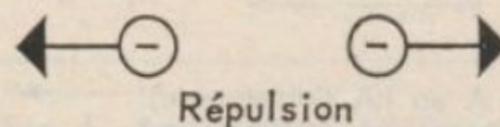
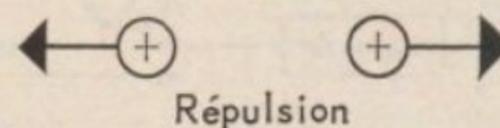
II. — NATURES DE L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE

Il existe deux sortes d'électricité statique :

- 1) l'électricité vitreuse (verre, silice), dite positive,
- 2) l'électricité résineuse (ambre, ébonite, résine), dite négative.

Deux corps chargés d'électricité de noms contraires s'attirent.

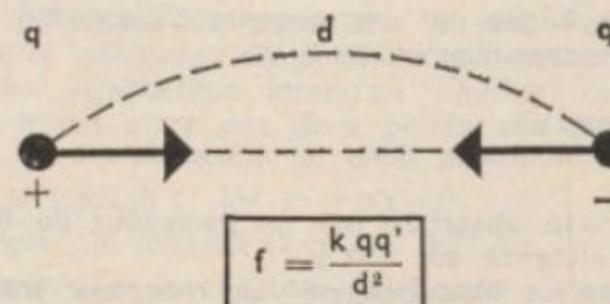
Deux corps chargés d'électricité de mêmes noms se repoussent.



III. — LOI DE COULOMB

L'étude quantitative des phénomènes d'attraction et de répulsion entre les masses d'électricité ponctuelles, a conduit à la loi suivante :

Loi de Coulomb : deux masses électriques ponctuelles, exercent l'une sur l'autre une force dirigée suivant la droite qui les joint et qui varie en raison inverse du carré de leur distance et proportionnelle aux deux masses.



Dans le système M.K.S.A. rationalisé, f exprimée en Newton; Nw , q et q' sont exprimées en coulombs : Cb , d est exprimée en mètre : m.

$$k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} = 9 \times 10^9$$

ϵ_0 est le pouvoir inducteur spécifique du vide ou permittivité du vide.

IV. — PRINCIPE DE CONSERVATION DE L'ÉLECTRICITÉ

L'explication des phénomènes d'électrisation est fournie par la structure atomique des corps.

Les atomes sont formés d'un noyau chargé d'électricité positive, d'électrons chargés d'électricité négative et gravitant autour du noyau. La somme des charges des électrons périphériques est égale et de signe contraire à la somme des charges contenues dans le noyau, de ce fait, la matière est électriquement neutre.

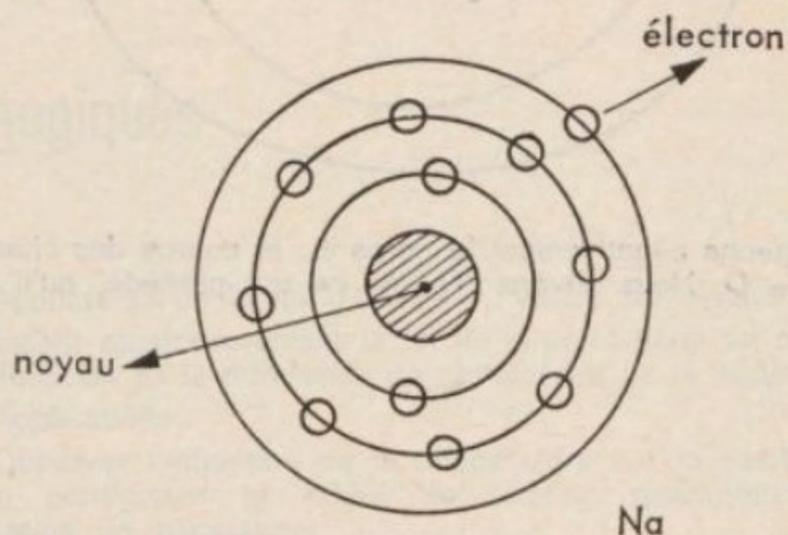
Electriser un corps, c'est détruire l'équilibre des charges des atomes. Lorsqu'on frotte le verre avec du drap, le verre se charge positivement, mais le drap acquiert une charge négative égale à celle du verre.

On ne peut pas faire apparaître une charge électrique, sans créer une charge égale de signe contraire.

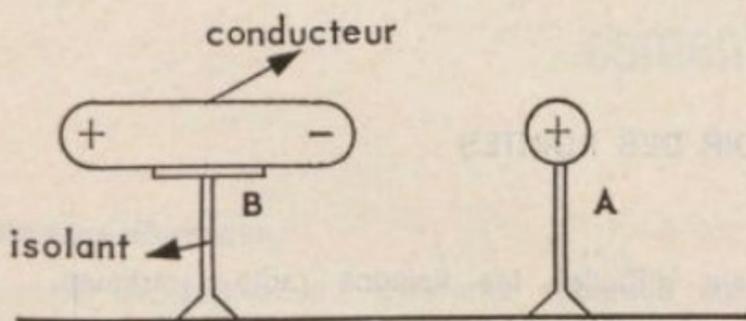
On en conclut qu'un système de corps, isolé dans l'espace, a une charge totale constante.

Schéma de l'atome de sodium.

- somme des charges des électrons périphériques $-11q$;
- somme des charges positives du noyau $+11q$.



V. — PHÉNOMÈNES D'INFLUENCE ÉLECTRIQUE



D'après le principe de conservation de l'électricité, le corps B avait initialement une charge totale nulle, puisqu'il est isolé, il apparaît donc autant de charges positives, qui sont repoussées par celles de A et elles se localisent à l'autre extrémité de B.

B) Influence totale.

Il y a influence totale, lorsque les charges apparues sur le corps influencé sont égales en valeur absolue, à celle du corps influençant.

Il n'y a influence totale que dans le cas d'un conducteur creux entourant presque complètement la charge influençante.

C) Conducteurs.

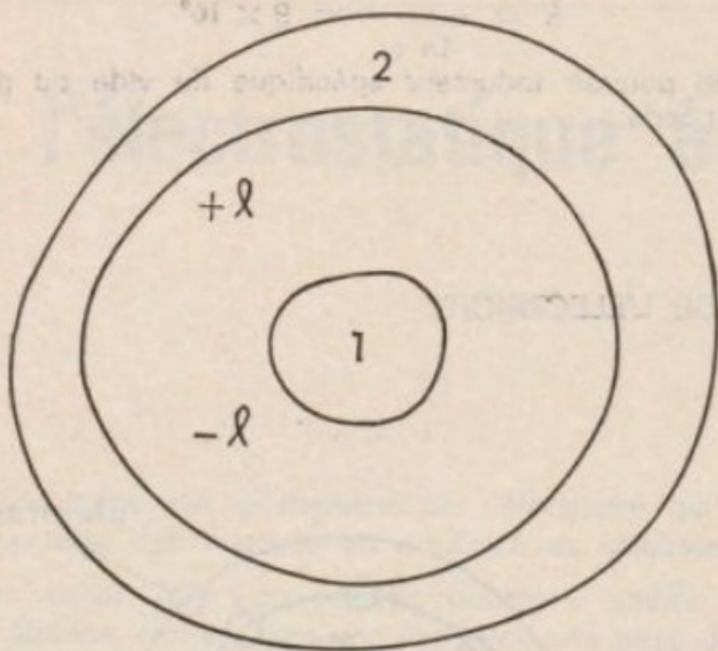
La condensation de l'électricité est une conséquence directe des phénomènes d'influence totale.

On considère deux conducteurs dont l'un entoure complètement l'autre.

A) Influence sur un conducteur isolé.

Soit un conducteur isolé B à l'état neutre, placé à proximité d'un corps chargé A.

Il apparaît des charges en des endroits bien déterminés du corps B. En effet, le conducteur B possède des électrons libres qui sont attirés par les charges positives de A, et les charges négatives des électrons apparaissent à l'extrémité de B, située au voisinage de la sphère A.



Chargeons négativement le corps 1 : la source des charges est. $-Q$. Nous savons d'après ce qui précède, qu'il y a

influence totale, donc la face interne du conducteur 2 tend à se charger positivement, la somme des charges est $+Q$.

Ceci est encore valable, lorsque le corps 2 n'entoure pas complètement 1, pourvu que l'ouverture soit de faible dimension par rapport à celle du conducteur.

Les faces des conducteurs portant les charges, s'appellent les armatures.

Les deux armatures portant des charges égales et de signe contraire, constituent un condensateur.

La bouteille de Leyde qui fut le premier condensateur, se charge par influence comme nous venons de l'expliquer.

Formule fondamentale :

La différence de potentiel existant entre les deux armatures d'un condensateur, est proportionnelle à la charge.

$$Q = CV$$

C = capacité du condensateur
unité : le farad dans le système M.K.S.A.

V = différence de potentiel : volt.

Q = charge en coulomb.

VI. — POUVOIR DES POINTES

Les charges portées par un corps, tendent à s'accumuler aux endroits où la courbure est la plus grande. Lorsque le conducteur est terminé par une pointe, si le potentiel est

suffisant, il y a décharge dans l'air, se manifestant sous forme de phénomènes lumineux.

VII. — APPLICATION AU POUVOIR DES POINTES

A) Le feu Saint-Elme.

C'est un phénomène qui fut observé à l'époque où les navires étaient en bois.

Par influence, le pont se chargeait d'électricité, et par temps humide, il se formait une couche conductrice à la surface des mâts, permettant la décharge accompagnée d'aigrettes lumineuses.

B) Elimination des parasites à bord des avions.

Un avion en vol s'électrise par frottement sur les couches d'air. Les variations de charges produisent des parasites,

rendant difficiles les liaisons radio-électriques.

On réduit le phénomène en laissant traîner de la queue de l'avion, un simple fil métallique, le pouvoir des pointes décharge l'appareil.

C) Le paratonnerre.

Il se compose d'une tige de fer, terminée par une pointe métallique et reliée au sol par un conducteur. La foudre éclate entre le paratonnerre et les nuages, les charges se dissipent dans le sol.

résistance électrique, loi d'ohm

intentions pédagogiques

- Faire apparaître les causes qui déterminent l'intensité du courant dans un circuit alimenté sous une tension constante.
- Etablir le rôle du récepteur dans le circuit et ses propriétés qualitatives de résistance électrique.
- Observer l'influence de la tension sur l'intensité du courant dans un récepteur — étude quantitative — établissement de la loi d'Ohm.

- Application de la loi d'Ohm — mesure de résistance.
- Etablir quantitativement la loi du courant dans un circuit, en fonction de la différence de potentiel et de la résistance.
- Applications.
- Observer l'influence de la température sur la résistance d'un conducteur et établir la relation quantitative de variation de résistance.

contenu de l'émission

A) Résistance électrique.

On branche successivement différents appareils sur une prise de courant (en 120 V). Un ampèremètre mesure l'intensité du courant fourni par la prise. On observe une intensité différente pour chaque récepteur. Soit 0,4 A pour le petit fer à souder, 3,5 A pour le fer à repasser, 1 A pour la lampe d'éclairage. Chaque récepteur paraît apposer au courant une résistance différente.

Cette résistance a-t-elle un caractère constant? La figure 2 représente un montage qui comporte une source à tension réglable S, un ampèremètre A, un voltmètre V et un récepteur R.

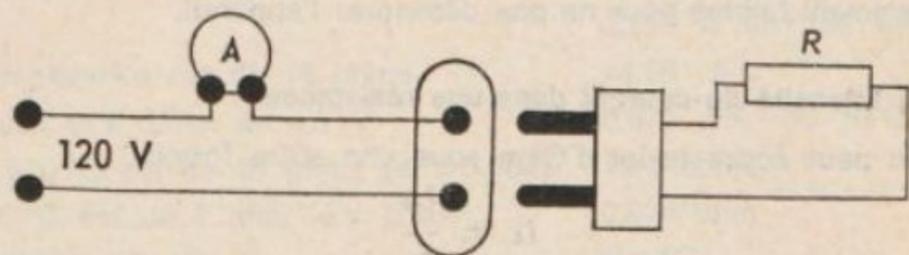


FIG. 1

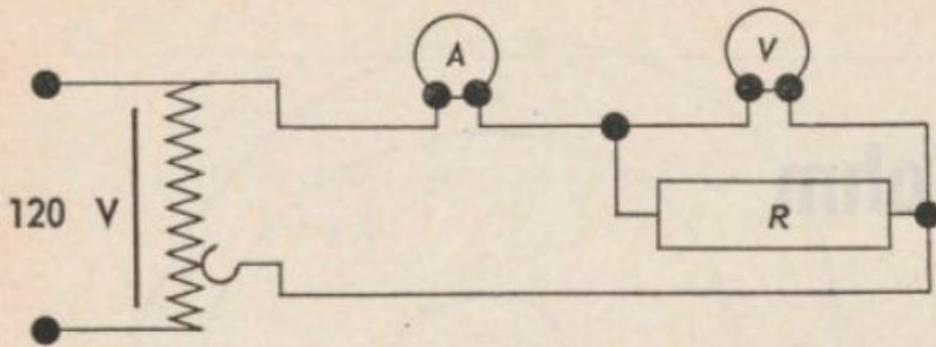


FIG. 2

Si on mesure les courants I_1, I_2, I_3 correspondant aux tensions U_1, U_2, U_3 on observe que le quotient $\frac{U_1}{I_1}, \frac{U_2}{I_2}, \frac{U_3}{I_3}$ donne toujours le même résultat (aux erreurs de mesure près).

On a relevé les valeurs $\frac{72}{3} = 24, \frac{50}{2} = 25, \frac{25}{1} = 25$.

Le quotient $R = \frac{U}{I}$ caractérise un récepteur, le symbole R représente la résistance électrique d'un conducteur.

L'unité de résistance est l'Ohm : symbole Ω ; sous-multiple : le microhm $\mu\Omega$ multiple : le mégohm $M\Omega$. Par définition, un ohm est traversé par un courant de 1 ampère quand on applique à ses bornes une différence de potentiel de 1 volt.

L'expression $R \text{ ohms} = \frac{U \text{ volts}}{I \text{ ampères}}$ porte le nom de loi d'Ohm.

Application :

On peut mesurer la résistance d'un récepteur en utilisant la loi d'Ohm. Un voltmètre mesure la différence de potentiel U appliquée. Un ampèremètre mesure l'intensité I du courant.

Exemple : $120 \text{ V} : 3,5 \text{ A} = 34,3 \text{ ohms}$.

Note : les valeurs de U et I doivent être choisies suffisamment faibles pour ne pas détériorer l'appareil.

B) Intensité du courant dans une résistance.

On peut écrire la loi d'Ohm sous une autre forme :

$$I_A = \frac{U_V}{R_A}$$

Cette expression donne l'intensité du courant dans une résistance R aux bornes de laquelle on applique une différence de potentiel U .

Applications :

— Pour réaliser un voltmètre (fig. 3) il suffit de disposer d'un appareil de mesure sensible aux faibles courants milliampèremètre ou microampèremètre et de mettre en série avec cet appareil une résistance de valeur élevée R .

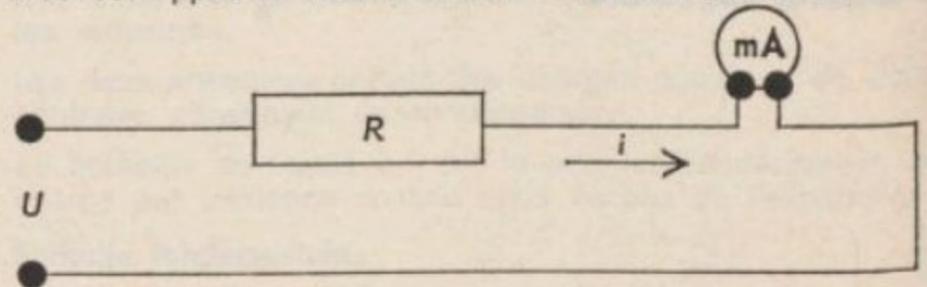


FIG. 3

— Sous une différence de potentiel U la résistance R est parcourue par un courant i (en négligeant la résistance du milliampèremètre).

La déviation D de l'appareil $D = ki = \frac{kU}{R} = U \left(\frac{k}{R} \right)$ est bien proportionnelle à la différence de potentiel à ses bornes.

— Un rhéostat est une résistance réglable manuellement.

Le rhéostat se monte en série avec l'appareil dans lequel on désire régler l'intensité (fig. 4). Quand le curseur du rhéostat est dans la position de résistance maximale (fig. 4 a).

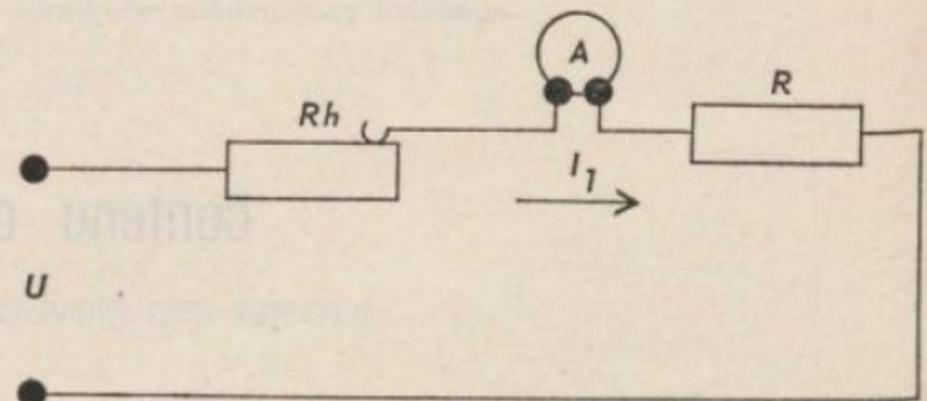


FIG. 4 a

L'intensité a pour valeur : $I_1 = \frac{U}{R + Rh}$

En amenant le curseur dans la position de résistance minimale (fig. 4 b) l'intensité prend la valeur : $I_2 = \frac{U}{R}$

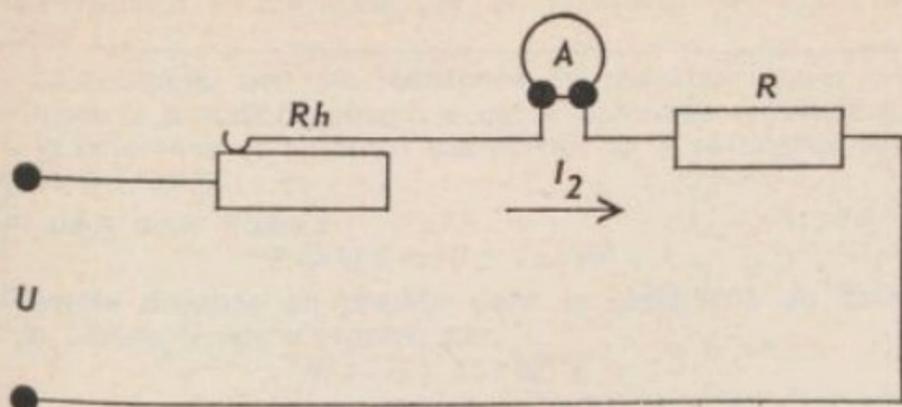


FIG. 4 b

Le rhéostat permet le réglage de l'intensité entre les valeurs I_1 et I_2 .

C) Influence de la température.

Quand on mesure la résistance d'une lampe d'éclairage à filament métallique par la méthode d'Ohm, on constate que la valeur trouvée dépend de la valeur de la différence de potentiel. On a mesuré par exemple 30 Ω , 50 Ω et 70 Ω pour les différences de potentiel respectives 15 V, 35 V et 70 V.

La résistance mesurée avec une tension très faible peut être **8 à 10 fois** plus faible que la résistance mesurée sous la tension nominale de la lampe. Ce phénomène est une conséquence de la variation de la résistance des conducteurs avec la température. Dans les conditions habituelles d'emploi des récepteurs, la variation de température est faible et la différence de résistance n'apparaît pas de façon manifeste. Par contre, dans une lampe d'éclairage, la température du filament s'élève à chaud au voisinage de 2 500 °C.

Dans les limites courantes de température la résistance d'un conducteur métallique varie suivant la loi :

$$R = R_0 (1 + \alpha \vartheta)$$

R = résistance à la température ϑ
 R_0 = résistance à 0 °C
 α = coefficient de température
 ϑ = température de la résistance

Pour le cuivre et l'aluminium $\alpha = 0,004$.

Pour le fer et l'aluminium $\alpha = 0,0055$.

Alliage Constantan $\alpha =$ pratiquement zéro.

Carbone $\alpha = -0,0007$.

Les résistances étalon sont réalisées en alliage à coefficient de température nul.

Dans les machines électriques, réalisées en fil de cuivre, la résistance peut augmenter de 20 à 30 % entre l'état froid et l'état chaud en fonctionnement à plein régime.

questionnaire

Calculer :

- la résistance d'un appareil qui absorbe 10 A sous 50 V de différence de potentiel
- la résistance d'un appareil qui absorbe 50 mA sous 220 V
- la résistance d'un appareil qui absorbe 3 A sous 117 V
- le courant qu'il absorberait sous 390 V
- le courant qu'il absorberait sous 6 V
- le courant absorbé sous 220 V par un appareil dont la résistance est de 15 ohms
- le courant absorbé par une résistance de 70 000 ohms sous une d.d.p. de 4,5 V
- la résistance à 60 °C d'une bobine dont la résistance à 0 °C est de 10 ohms ($\alpha = 0,004$)
- la résistance à 0 °C d'un moteur dont la résistance à 20 °C est de 1 ohm ($\alpha = 0,004$),
- la température de ce moteur quand sa résistance est devenue 1,3 ohm
- la température du filament de carbone d'une lampe dont la résistance est de 120 ohms, à 20 °C et de 78 ohms à chaud ($\alpha = -0,0007$)

Réponses

- 5 ohms
- 4.000 ohms
- 39 ohms
- 10 A
- 0,154 A ou 154 mA
- 14,66 A
- 0,671 mA ou 671 μ A
- 12,4 ohms
- 0,926 ohm
- 101 °C
- 500 °C

loi de joule et récepteurs

intentions pédagogiques

- Faire apparaître la différence entre un récepteur délivrant de l'énergie thermique et un récepteur délivrant de l'énergie mécanique.
- Chercher la relation entre la puissance calorifique dégagée et la puissance électrique absorbée.
- Faire apparaître l'expression de la quantité de chaleur dégagée en fonction de la valeur de la résistance, du courant qui traverse celle-ci et du temps. Loi de Joule.

- Trouver expérimentalement la relation entre l'unité électrique d'énergie : le joule et l'unité d'énergie thermique, la thermie.
- Montrer l'existence de la force contre électromotrice dans un moteur électrique.
- Identifier la fraction utile de l'énergie absorbée par un moteur et la fraction perdue en chaleur.

contenu de l'émission

• Loi de Joule.

Dans un récepteur thermique toute l'énergie électrique absorbée est transformée en chaleur. En observant une

lampe d'éclairage on constate que l'éclat du filament est fonction de la puissance absorbée. Il suffit de faire varier le courant dans cette lampe (fig. 1).

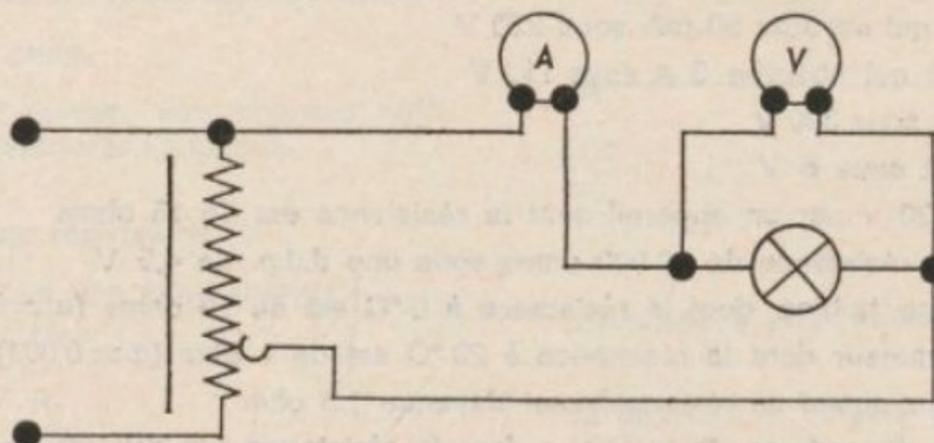


FIG. 1

La puissance P absorbée par un récepteur est égale à $P = U I$

Si ce récepteur est une résistance on remarque que :
 — toute la puissance absorbée est transformée en chaleur,
 — la différence de potentiel aux bornes de la résistance est égale à $U = RI$.

On peut donc écrire :

$$P = U I = RI \times I = RI^2$$

L'énergie dissipée en chaleur dans la résistance au bout d'un certain temps s'exprime par :

$$W = P \times t = RI^2 t$$

L'expression :

| | | | | | | |
|--------|-----|------|---------|---------|---------|----------|
| W | $=$ | R | \cdot | I^2 | \cdot | t |
| Joules | | ohms | | ampères | | secondes |

est appelée **Loi de Joule**.

• **Equivalent thermique.**

Une quantité de chaleur, c'est-à-dire une énergie thermique se mesure généralement en *Thermies*.

La thermie est la quantité de chaleur qui élève de 1°C la température de 1 tonne d'eau.

La millithermie est la quantité de chaleur qui élève de 1°C la température de 1 kilogramme d'eau (pratiquement 1 litre).

La relation entre l'unité d'énergie « joule » et l'unité de quantité de chaleur « thermies » ne peut être établie que par expérience. On utilise à cette fin un calorimètre (fig. 2).

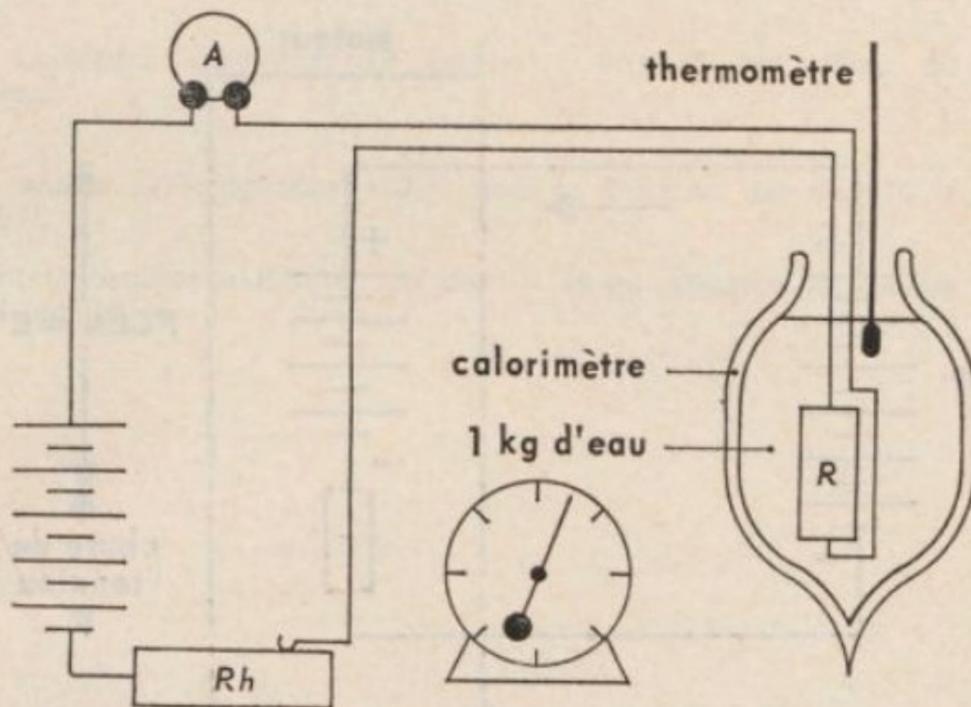


FIG. 2

Le calorimètre est un récipient soigneusement isolé au point de vue thermique. On peut ainsi admettre que toute la chaleur fournie au calorimètre sert à échauffer le liquide qu'il contient, par exemple de l'eau.

On mesure d'une part l'énergie électrique dissipée par une résistance plongée dans le calorimètre, soit :

$$R \times I \times I \times t = W$$

$$2 \text{ ohms} \times 5 \text{ A} \times 5 \text{ A} \times 1020 \text{ s} = 51.000 \text{ joules}$$

d'autre part on mesure la quantité de chaleur reçue par l'eau du calorimètre.

$$m \times c \times (\vartheta_2 - \vartheta_1) = W$$

$$1 \text{ kg} \times 1 \text{ mth par kg et par } ^\circ\text{C} \times (30,2 - 18) = 12 \text{ millithermies.}$$

D'où : 12 millithermies = 51.000 joules.

et $1 \text{ millithermie} = 4.180 \text{ joules}$

• Récepteur mécanique.

Si on mesure la résistance d'un moteur électrique à courant continu, à l'arrêt on constate que cette résistance est assez faible. On a mesuré par exemple 1 ohm pour un moteur de 2 kW, 120 V.

Quand le même moteur est en marche sous sa tension nominale on constate que le quotient $\frac{U}{I}$ est très différent de 1.

On a mesuré pour le même moteur $U = 120 \text{ V}$, $I = 5 \text{ A}$. Il n'est pas possible que la résistance soit passée de 1 à

$$\frac{120}{5} = 24 \text{ ohms ?}$$

Si maintenant on laisse un voltmètre aux bornes du moteur lancé après coupure du courant dans l'induit, on voit le voltmètre indiquer une tension qui décroît progressivement avec la vitesse de rotation.

Le moteur développe une tension appelée force contre électromotrice ou F.C.E.M. et qui s'oppose au passage du courant, d'où une apparence de résistance plus grande en marche normale.

En réalité, le courant absorbé par un moteur a pour com-
pression (fig. 3) :

$$I_A = \frac{U - E'}{R}$$

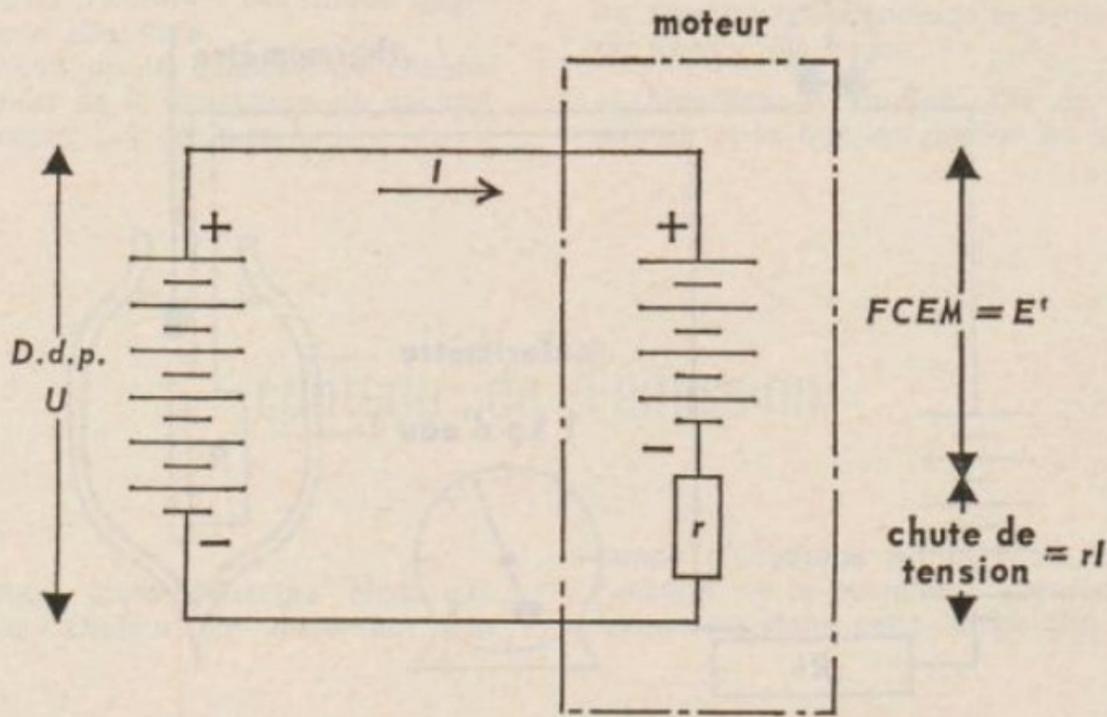


FIG. 3

- I = courant absorbé par le moteur en marche
- U = différence de potentiel appliquée aux bornes du moteur
- E' = F.C.E.M. du moteur
- R = résistance interne du moteur (mesurée à l'arrêt).

• Récapitulation.

Un récepteur qui fournit uniquement de l'énergie thermique est constitué par une résistance dite passive. Toute la puis-

sance qu'il absorbe est transformée en chaleur par effet joule.

$$P_a = UI = RI^2$$

Un récepteur qui délivre une énergie non thermique, tel qu'un moteur, développe une force contre électromotrice.

La puissance qu'il absorbe se partage en puissance utile et en puissance perdue en chaleur par effet joule :

$$P_a = UI = E'I + rI^2$$

questionnaire

Calculer :

- la puissance dissipée dans une résistance de $10\ \Omega$ par un courant de 5 A ;
- la puissance dissipée dans une résistance de $1.000\ \Omega$ par un courant de 10 mA ;
- l'énergie exprimée en joule et en millithermie dissipée en 30 secondes dans une résistance de $100\ \Omega$ parcourue par un courant de 1 ampère ;
- l'énergie exprimée en joules et en millithermies dissipée en 1 heure dans une résistance de $17\ \Omega$ par un courant de 7 A ;
- le temps nécessaire pour développer 100 mth à partir d'une puissance de 500 watts ;
- puissance nominale d'une bouilloire électrique qui amène 1 litre (1 kg) d'eau de $20\ ^\circ\text{C}$ à $80\ ^\circ\text{C}$ en 10 minutes ;
- l'intensité absorbée par un moteur alimenté sous 120 V dont la F.C.E.M. est de 110 V et la résistance interne $0,5\ \Omega$;
- la F.C.E.M. d'un moteur dont la résistance interne est de $1\ \Omega$ et qui absorbe 4 A sous une différence de potentiel de 24 V.

Réponses :

- 250 watts
- 0,1 watt ou 100 milliwatts
- 3.000 joules
0,72 mth (3.000/4.180)
- 3.000.000 joules ou
 3×10^6 joules
720 mth - ou 0,72 th
- 836 secondes ou
14 minutes (valeur arrondie par excès)
- 418 watts

20 A

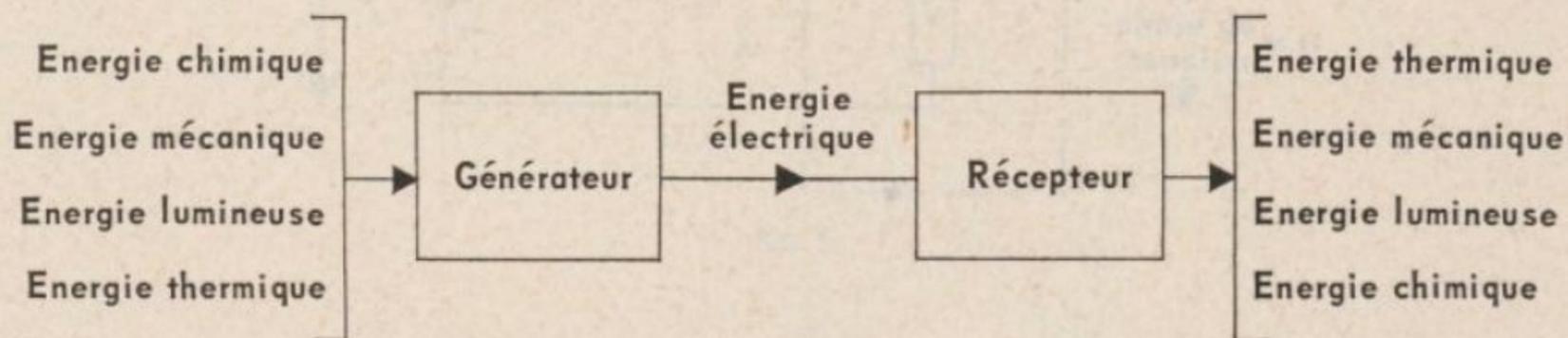
20 V

les générateurs et récepteurs

intentions pédagogiques

Nous avons essayé au cours de cette leçon de mettre en valeur quelques principes fondamentaux relatifs à l'énergie.

A) Associer le générateur et le récepteur, car l'un et l'autre sont des « transformateurs d'énergie ».



Le courant électrique qui emprunte la **voie du circuit** est l'agent de transport de l'énergie électrique.

B) La différence de potentiel est le critère de la variation d'énergie que subit le courant en traversant soit un récepteur, soit un générateur.

C) La source ou générateur est donc caractérisée par la différence de potentiel qu'elle présente entre ses bornes. Mais comme l'effet **thermique est inévitable** dans tout conducteur, dès que le courant passe, le générateur lui-même n'échappe pas à cette loi : il présente donc une résistance électrique.

plan de l'émission

- 1 — Rappels
- 2 — Générateur et récepteur
- 3 — Générateurs statiques
- 4 — Générateurs rotatifs

5 — Propriétés des générateurs (force électromotrice, résistance interne)

6 — Bilan des puissances et rendement.

contenu de l'émission

1. — Rappels.

— Un circuit électrique comporte essentiellement une source ou générateur, un récepteur ou appareil d'utilisation et des liaisons ou connexions.

— C'est le générateur qui fait circuler le courant dans le circuit.

— Un récepteur peut produire de la chaleur (radiateur) ou du travail (moteur).

2. — Générateur et récepteur.

Chaque **Coulomb**, unité de quantité d'électricité, fait le tour du circuit, il reçoit de l'énergie électrique dans le générateur, et la cède en passant dans le récepteur, c'est un agent de transport.

Analogie : un train qui fait la navette entre la mine et l'usine pour transporter le charbon.

Expérience : un montage comportant une pile, et un moteur qui entraîne un jouet, permet de contrôler que le « potentiel » du courant diminue dans le récepteur, et qu'il s'élève de la même façon dans le générateur.

On utilise pour cela deux voltmètres V1 et V2 identiques, polarisés, à zéro central, montés l'un et l'autre de la même manière entre l'entrée et la sortie, du générateur pour V1, et du récepteur pour V2 (fig. 1).

Les connexions étant de très faible résistance électrique les deux voltmètres présentent des déviations égales mais de sens inverses.

Analogie mécanique : un compresseur élève la pression de l'air ; dans la perforatrice qu'il anime, l'air perd cette pression.

3. — Générateurs statiques.

Différents types de piles :

— **piles chimiques**, qui équipent les lampes portatives et les postes de radio à transistors ; elles transforment de l'énergie chimique en énergie électrique ;

— **photopiles**, qui utilisent l'énergie lumineuse ; elles constituent l'élément actif des posemètres de photographe, et sont employées comme piles solaires des satellites envoyés dans l'espace.

Les accumulateurs sont des piles chimiques réversibles c'est-à-dire rechargeables.

4. — Générateurs rotatifs.

— Le réseau de distribution utilise de puissants alternateurs, qui fournissent le courant alternatif aux abonnés.

Dans les centrales hydrauliques les turbines motrices sont mues par une chute d'eau. Dans les centrales thermiques des turbines à vapeur entraînent les alternateurs.

— Les dynamos, génératrices de courant continu, font partie de l'équipement de la plupart des automobiles.

La dynamo entraînée par le moteur, charge la batterie d'accumulateurs qui est un réservoir d'énergie électrique.

A l'arrêt la batterie assure le démarrage du moteur et l'éclairage du véhicule.

5. — Propriétés du générateur.

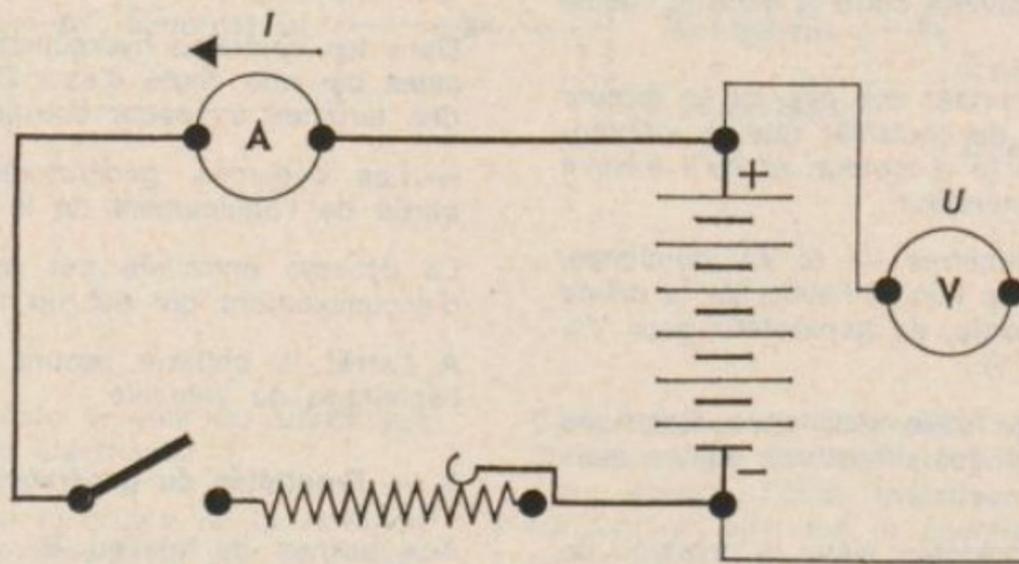
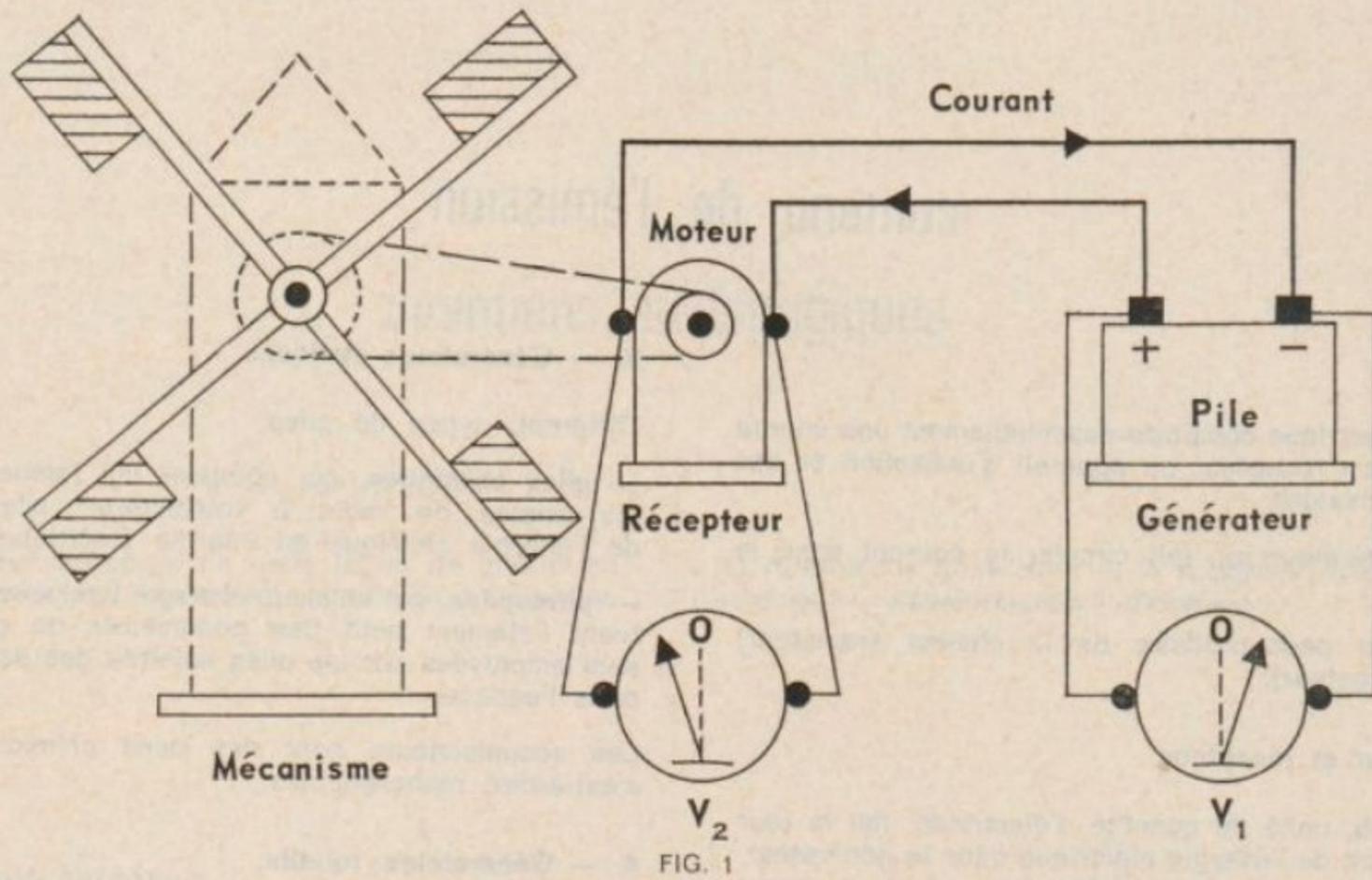
Aux bornes du réseau de distribution, c'est-à-dire chez l'abonné, jusqu'à la prise de courant, la tension mesurée au voltmètre est pratiquement constante.

Le courant débité dans un récepteur ne dépend que du récepteur lui-même.

La plupart des sources qui ne disposent pas de système de régulation, ne présentent pas une tension constante,

indépendante du courant utilisé.

Etudions un générateur de courant continu, par exemple un groupe de piles, le montage est réalisé suivant le schéma (fig. 2).



A l'aide d'un rhéostat c'est-à-dire d'une résistance variable, nous pourrions régler le courant débité par ces piles.

Nous mesurons pour différentes positions du curseur du rhéostat, la tension U aux bornes du générateur et le courant I qui parcourt le circuit.

— En circuit ouvert on relève $U_0 = 9,1 \text{ V}$ et $I_0 = 0$.

— En circuit fermé des mesures successives ont fourni :

$$U_1 = 8,8 \text{ V et } I_1 = 0,1 \text{ A}$$

$$U_2 = 8,5 \text{ V et } I_2 = 0,2 \text{ A}$$

$$U_3 = 8,2 \text{ V et } I_3 = 0,3 \text{ A}$$

$$U_4 = 7,9 \text{ V et } I_4 = 0,4 \text{ A}$$

Nous constatons que la tension U décroît quand le courant I augmente.

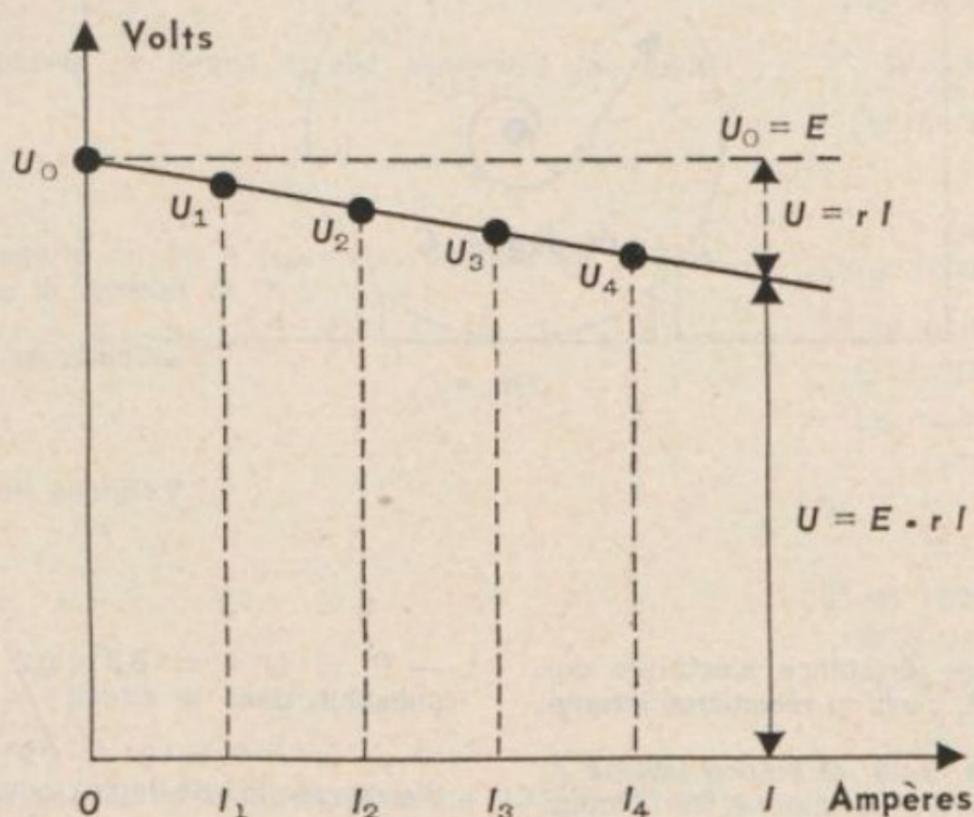


FIG. 3

Pour tout générateur la courbe obtenue s'appelle la **caractéristique en charge du générateur**.

Dans le cas présent c'est une droite. La valeur maximale de la tension est U_0 mesurée en circuit ouvert, on dit aussi tension à vide du générateur, elle le caractérise : on l'appelle **force électromotrice** $E = U_0$, de ce générateur.

Pour un débit I , la valeur de la tension U est plus faible $U = E - u$. U est la tension utile fournie au circuit

extérieur ; u s'appelle la chute de tension interne dans le générateur.

- Nous pouvons constater que le générateur en fonctionnement s'échauffe. Provoquons un débit I important pour que l'élévation de température soit aisément mesurable. Pour cela on court-circuite la pile, c'est-à-dire qu'on ferme son circuit sur une résistance très faible.

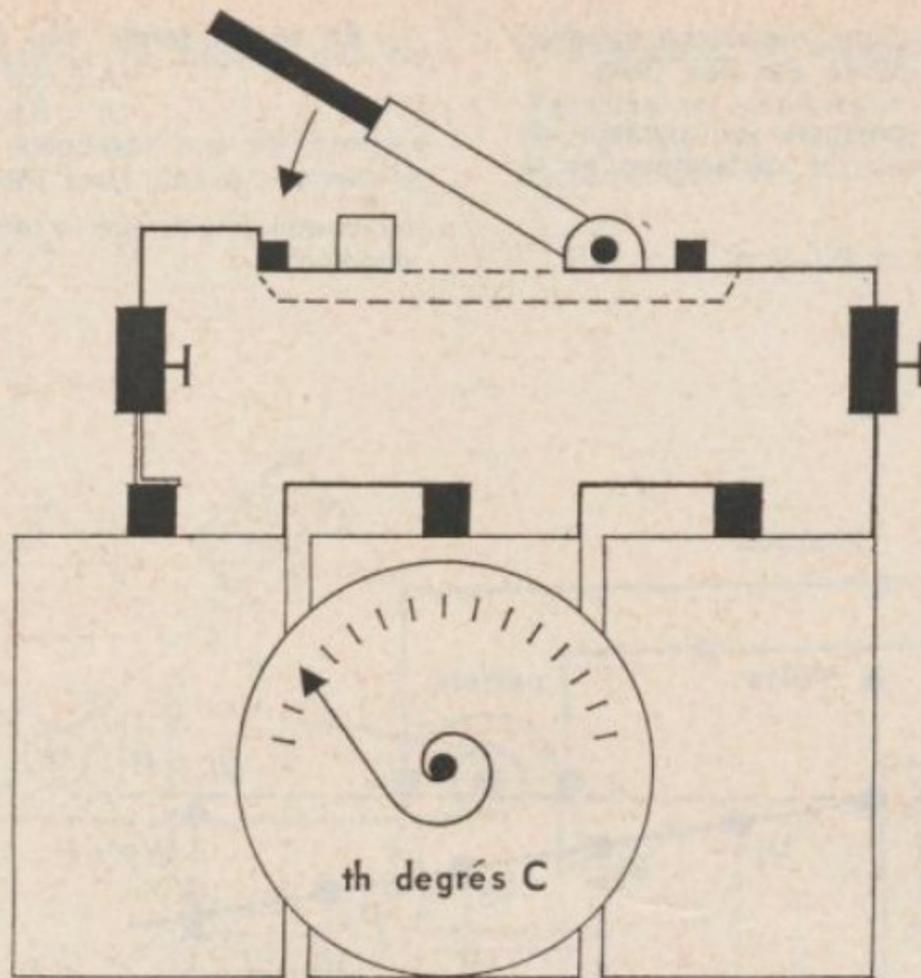


FIG. 4

Le générateur présente donc une résistance électrique qui s'échauffe au passage du courant, c'est sa **résistance interne** r .

La chute de tension u est due à cette résistance interne r , le graphique montrant que u est proportionnel à I , nous écrirons $u = rI$ (expression de la loi d'Ohm).

La relation fondamentale de ce genre de générateur est $U = E - rI$ (U et E en volts, r en ohms, I en ampères).

Si nous tenons compte des mesures $E = U_0 = 9,1$ V et $U_2 = 8,5$ V avec $I_2 = 0,2$ A nous pouvons en conclure que ce groupe de piles a une force électromotrice $E = 9,1$ V

— que dans ces conditions la chute de tension interne $u = 9,1 - 8,5 = 0,6$ V

— et que sa résistance interne $r = \frac{u}{I} = \frac{0,6}{0,2} = 3 \Omega$

6. — Bilan des puissances.

L'expression $U = E - rI$ peut s'écrire (en multipliant les 2 nombres par I),

$$UI = EI - rI^2$$

— $P = UI = 8,5 \times 0,2 = 1,70$ W est la puissance utilisable dans le circuit ;

— $p = rI^2 = 3 \times 0,2^2 = 0,12$ W est la puissance thermique (loi de Joule) que le générateur dissipe en pure perte ;

— $P' = EI = 9,1 \times 0,2 = 1,82$ W est la puissance totale mise en jeu dans les piles par effet chimique.

Le **rendement électrique** de ce générateur dans ces conditions est

$$\eta = \frac{P}{P'} = \frac{UI}{EI} = \frac{U}{E} = \frac{8,5}{9,1} = 0,93 \text{ ou } 93\%$$

Ce rendement dépend du régime du générateur, c'est-à-dire du courant I qu'il débite.

Analogie : Un moteur d'automobile ne fournit pas entièrement au véhicule la puissance mise en jeu par le carburant.

Il dégage de la chaleur, il s'entraîne lui-même et il entraîne ses accessoires (pompes, soupapes...).

questionnaire

Questions :

I. — Une batterie d'accumulateurs a fourni un courant d'intensité 4 A pendant 10 heures sous la tension moyenne de 6 V.

- a) quelle quantité d'électricité a-t-elle débitée ? (en ampères-heures)
- b) qu'elle est la puissance moyenne utile de ce générateur ? (en watts)
- c) quelle énergie a-t-elle fournie au circuit qu'elle alimente ? (en watt-heures).

II. — Pour recharger cette batterie on lui a fourni un courant de 3,75 A pendant 12 heures, sous la tension de 7 V.

- a) quel est son rendement en quantité ?
- b) quel est son rendement en énergie ?

III. — Un générateur présente une force électromotrice de 130 V et une résistance interne de 1 Ω.

- a) quelle est la tension à ses bornes quand il débite un courant d'intensité 10 A ?
- b) dans ces conditions, quelle est la puissance utile qu'il fournit au circuit extérieur ?
- c) quelle puissance thermique dissipe-t-il en pure perte ?
- d) quel est son rendement électrique ?

Réponses :

$$1^{\circ} \quad Q = \frac{I \times t}{\text{Ah} \quad \text{A} \quad \text{h}}$$

$$\text{ici } 4 \text{ A} \times 10 \text{ h} = 40 \text{ Ah}$$

$$2^{\circ} \quad P = \frac{U \times I}{\text{W} \quad \text{V} \quad \text{A}}$$

$$\text{ici } 6 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

$$3^{\circ} \quad W = \frac{P \times t}{\text{Wh} \quad \text{W} \quad \text{h}} = UIt$$

$$\text{ici } 24 \text{ W} \times 10 \text{ h} = 240 \text{ Wh}$$

On a restitué à cette batterie :

1° en quantité d'électricité :

$$Q' = 3,75 \text{ A} \times 12 \text{ h} = 45 \text{ Ah}$$

Le rendement en quantité est :

$$\eta_1 = \frac{Q}{Q'} = \frac{40}{45} = 0,88$$

2° en énergie :

$$W' = U'I't' = 7 \times 3,75 \times 12 = 315 \text{ Wh}$$

Le rendement en énergie est :

$$\eta_2 = \frac{W}{W'} = \frac{240}{315} = 0,76$$

$$1^{\circ} \quad U = \frac{E}{\text{V}} - \frac{rI}{\text{V} \quad \Omega \text{A}}$$

$$\text{ici } U = 130 - 1 \times 10 = 120 \text{ V}$$

$$2^{\circ} \quad P = \frac{U \times I}{\text{W} \quad \text{V} \quad \text{A}}$$

$$\text{ici } P = 120 \times 10 = 1\,200 \text{ W}$$

$$3^{\circ} \quad P = \frac{rI^2}{\text{W} \quad \Omega \text{A}} = I \times 10^2 = 100 \text{ W}$$

$$4^{\circ} \quad \eta = \frac{UI}{EI} = \frac{1200}{1300} = 0,92$$

les effets chimiques du courant électrique

plan de l'émission

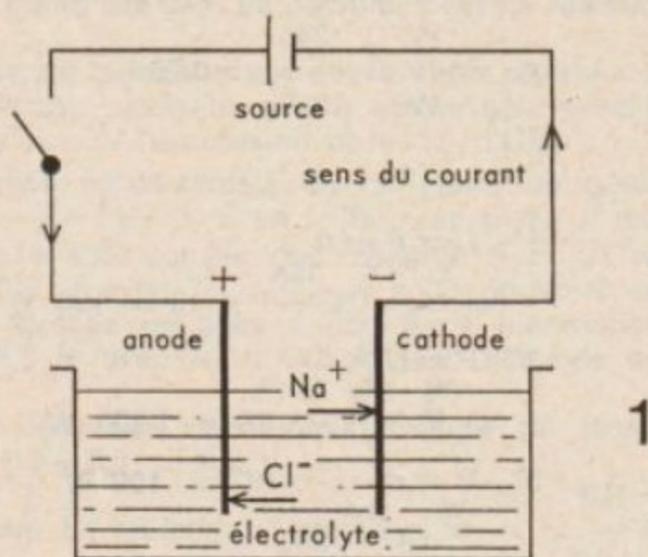
- Notions d'électrolyse ;
- Applications industrielles de l'électrolyse ;
- Effets chimiques : transformation de l'énergie chimique en énergie électrique - Piles et accumulateurs.

contenu de l'émission

I — ELECTROLYSE

1 - Electrolyse du chlorure de sodium fondu.

Représentons une cuve à électrolyse, contenant une solution de chlorure de sodium. Le bain est appelé électrolyte.



Les éléments métalliques qui plongent dans le bain sont les électrodes.

Le courant électrique entre dans la solution par l'électrode

positive appelée anode, il sort de l'électrolyte par l'électrode négative ou cathode.

Si l'on ferme l'interrupteur on constate que du chlore se dégage à l'anode, et que du sodium liquide flotte sur le bain autour de la cathode.

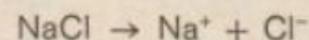
Pour comprendre ce qui s'est passé, examinons plus profondément la solution.

Le chlorure de sodium dissous est en partie dissocié en ions, avant le passage du courant.

Les ions positifs sont des atomes ou des groupements d'atomes ayant perdu un ou plusieurs électrons.

Les ions négatifs sont formés d'atomes ou de groupements chimiques, ayant capté un ou plusieurs électrons.

La dissociation ionique du NaCl s'exprime de la façon suivante :



Initialement, l'atome de sodium est électriquement neutre, ce qui veut dire que la somme des charges positives du noyau est égale et de signe contraire à la somme des charges négatives des électrons.

Appelons $-q$ la charge d'un électron.

Atome de sodium : charge du noyau + 11 q
charge des 11 électrons — 11 q.

La somme des charges est égale à zéro.

Dans l'ion sodium Na^+ , le noyau est le même, mais il manque un électron.

Ion sodium : charge du noyau + 11 q
charge des 10 électrons — 10 q.

La somme totale des charges égale + q, raison pour laquelle on affecte l'ion sodium d'un signe + = Na^+ .

Atome de chlore : charge du noyau + 17 q
charge des 17 électrons — 17 q.

Ion chlore : charge du noyau + 17 q
charge des 18 électrons — 18 q.

La somme totale des charges égale — q.

L'ion chlore se note Cl^- , c'est un atome de chlore, qui a capté un électron supplémentaire.

C'est la dissolution du sel, qui provoque sa dissociation électrolytique.

Donc avant la fermeture de l'interrupteur la solution contient de nombreux ions Na^+ et Cl^- .

En faisant passer le courant, on établit une différence de potentiel entre les électrodes.

Sachant que deux corps chargés d'électricité de signe contraire s'attirent, les ions Cl^- se dirigent vers l'anode. Ils perdent leurs électrons à son contact et forment des molécules de gaz chlore qui se dégage.

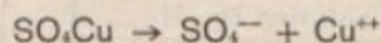
Chaque électron libéré par un ion Cl^- se dirige vers la cathode le long du circuit, en s'opposant au sens du courant. Simultanément, les ions Na^+ se dirigent vers la cathode. Chaque ion Na^+ capte un électron au contact de celle-ci et redevient atome de sodium.

Cela explique que les produits de décomposition n'apparaissent que sur les électrodes.

Le transport des charges électriques des ions explique le passage du courant.

2 - Solution de SO_4Cu avec anode en cuivre.

Le sulfate de cuivre en solution se dissocie de la façon suivante :

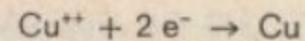


L'ion SO_4^{--} a capté deux électrons.

L'ion Cu^{++} a capté deux électrons.

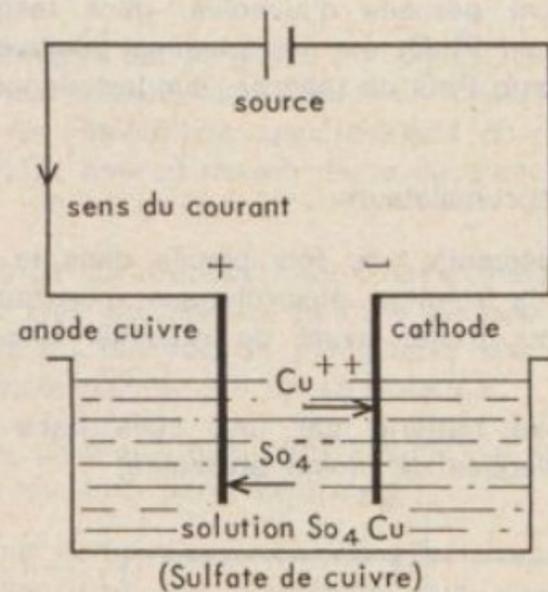
Après passage du courant pendant un certain temps, on constate que l'anode se détériore et que du cuivre s'est déposé sur la cathode.

Les ions Cu^{++} se dirigent vers la cathode, où chacun d'eux prend 2 électrons pour former un atome de cuivre.



Les ions SO_4^{--} se dirigent vers l'anode et attaquent celle-ci, après avoir libéré deux électrons qui s'acheminent vers la cathode au sein du circuit extérieur, en s'opposant au sens du courant.

C'est l'électrolyse à anode soluble.



2

II — APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTROLYSE

1 - Electrochimie.

Les réactions du premier type, telle que l'électrolyse du chlorure de sodium, permettent d'obtenir du chlore à l'anode.

D'autres électrolyses favorisent la préparation industrielle de l'hydrogène, de l'oxygène, de la soude, de l'eau de Javel, des chlorates...

2 - Electrométallurgie.

C'est une branche de la chimie qui se consacre à la préparation de certains métaux par voie électrolytique, comme l'aluminium, le chrome, le magnésium.

3 - Galvanoplastie.

C'est le principe de l'électrolyse avec anode soluble, qui permet de déposer à la cathode, une couche du métal constituant l'anode, à condition que l'électrolyte soit un sel de ce métal.

C'est ainsi que l'on peut obtenir des dépôts de nickel, cuivre, chrome, or, argent...

On peut de cette manière, prendre des empreintes ou reproduire des objets, tels que planches typographiques, statues...

L'opération porte le nom de galvanoplastie.

III — GÉNÉRATEURS DE COURANT CONTINU

1 - Les accumulateurs.

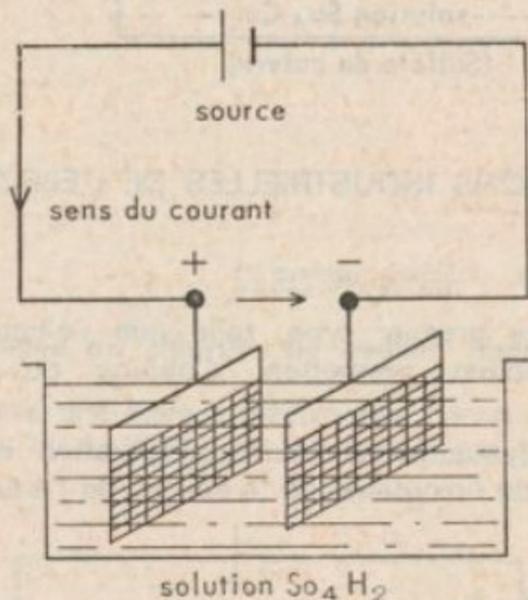
Ils sont constitués par des plaques de plomb reliées les unes aux autres, plongeant dans une solution d'acide sulfurique à 25 % de concentration.

Ces plaques sont percées d'alvéoles, dans lesquels on dispose du minium Pb_3O_4 sur les plaques positives et du protoxyde de plomb PbO ou litharge, sur les plaques négatives.

a) Charge des accumulateurs.

Les différents éléments, une fois placés dans la cuve et immergés dans la solution électrolytique, constituent une batterie, qu'il faut traiter avant de recueillir une tension d'emploi.

Schématisons une batterie par une cuve dans laquelle plongent deux plaques de plomb alvéolées.



3

Si nous faisons passer le courant entre les pôles de la batterie, des réactions chimiques complexes prennent naissance au sein des plaques et dans la solution.

Les plaques sont profondément modifiées, une dissymétrie apparaît entre elles.

Tout au long de cette opération, il y a eu transformation d'énergie chimique en énergie électrique.

Cette charge suffit à former l'accumulateur, elle dure généralement plusieurs heures.

L'accumulateur joue le rôle de récepteur pendant la charge ; il possède une force contre électromotrice.

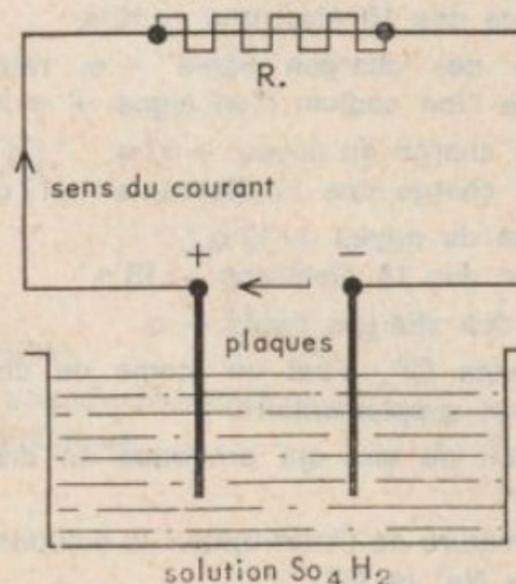
b) Décharge des accumulateurs.

Après avoir modifié les plaques, l'accumulateur est chargé.

Il est prêt à restituer en partie l'énergie qu'il a emmagasinée.

Réalisons un circuit avec une résistance R , du fil conducteur et la batterie préalablement chargée.

Si nous fermons le circuit, nous obtenons un courant, produit par la batterie.



4

L'accumulateur est devenu générateur.

Il possède une force électromotrice entre ses bornes.

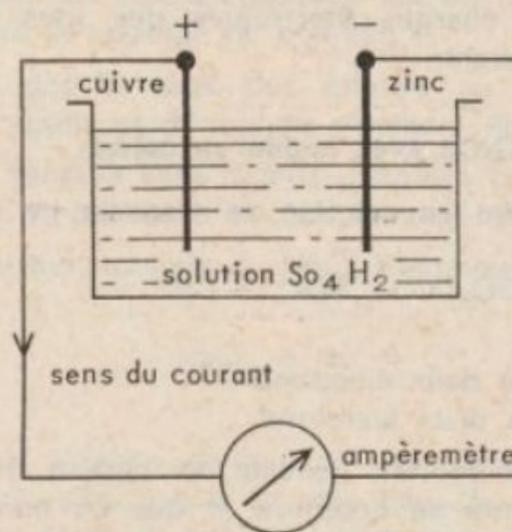
Pendant la décharge, le courant qui circule entre les plaques est de sens contraire à celui de la charge.

Ce courant de décharge contribue à modifier de nouveau l'état des plaques.

Au cours de cette opération, il y a eu transformation d'énergie chimique en énergie électrique.

2 - Les piles hydro-électriques.

Si la dissymétrie entre les électrodes est réalisée par



5

construction, il sera possible d'obtenir directement une énergie électrique.

Un tel générateur est une pile hydro-électrique.

a) Pile de Volta.

Elle est constituée d'une lame de cuivre et d'une lame de zinc très pur, plongeant dans une solution d'acide sulfurique.

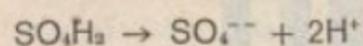
Relions les deux lames métalliques aux bornes d'un ampèremètre.

Si nous fermons un tel circuit, l'ampèremètre dévie, le courant passe à l'extérieur de la pile, du cuivre au zinc.

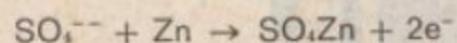
Le cuivre est donc le pôle + du générateur.

Le zinc est donc le pôle — du générateur.

Nous savons qu'en solution, l'acide chlorhydrique se dissocie en ions :

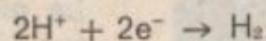


Les ions SO_4^{--} se dirigent vers le zinc, où une oxydation se manifeste :



Cette réaction chimique est seule capable de libérer de l'énergie électrique dans la lame de zinc.

Les 2 ions H^+ se dirigent vers le cuivre où ils captent 2 électrons pour former une molécule d'hydrogène :



Autour du cuivre, l'hydrogène est libéré sans profit énergétique.

Il y a transformation d'énergie chimique en énergie électrique, au niveau du zinc.

Le dégagement d'hydrogène sur la plaque de cuivre modifie l'état de sa surface, ce qui entraîne une diminution de la force électromotrice.

On dit que la pile se polarise.

b) Pile sèche.

Le pôle négatif est constitué par un cylindre de zinc creux, à l'intérieur duquel se trouve un bâtonnet de graphite, entouré de l'électrolyte, généralement du chlorure d'ammonium NH_4Cl , fixé au moyen d'une substance solide appelée gélose.

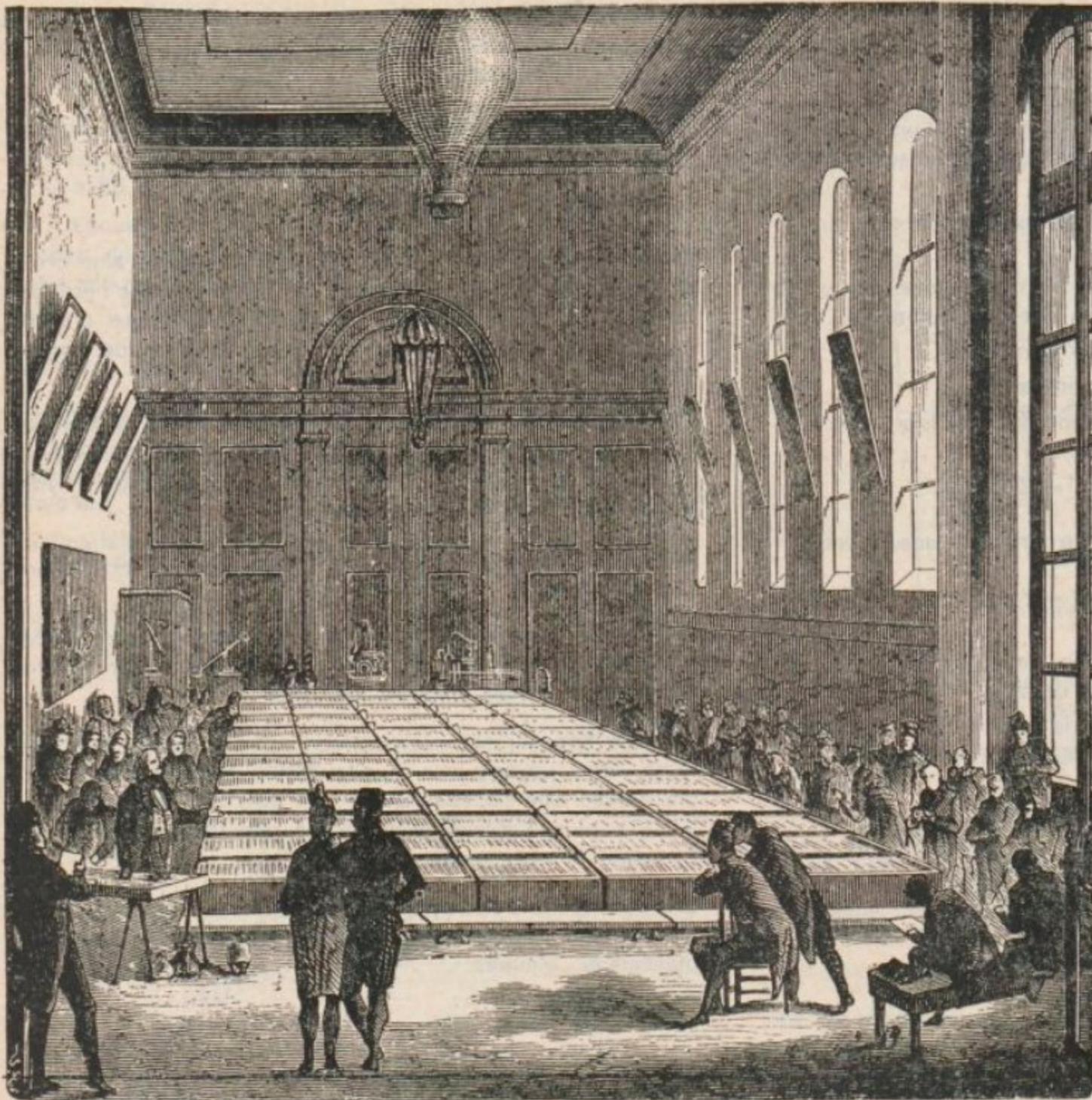
Ceci permet son transport sans écoulement de l'électrolyte. Dans ce type de pile, on entoure le graphite d'une poche contenant du bioxyde de manganèse qui absorbe l'hydrogène, empêchant la pile de se polariser.

L'énergie chimique des piles résulte, le plus souvent, de l'attaque du zinc par l'électrolyte.

C'est pour cette raison que les piles usagées sont parfois recouvertes d'un sel blanchâtre que vous avez souvent observé. C'est un chlorure de zinc.

Si nous faisons une comparaison entre piles et accumulateurs, nous voyons que la pile débite sans charge préalable, tandis que l'accumulateur doit être initialement chargé. Il n'y a plus d'utilisation pour une pile usagée, tandis que l'on peut à loisir recharger une batterie.

Les piles sont utilisées dans le cas où l'on n'a besoin que d'une faible puissance, les accumulateurs pour obtenir des puissances élevées.



La grande pile de l'Ecole Polytechnique construite en 1813, sur l'ordre de Napoléon 1^{er}.

« Comme Berthollet lui parlait un jour des grands travaux de Davy sur l'électricité, l'Empereur demanda, avec son impétuosité ordinaire, pourquoi ces découvertes n'avaient pas été faites en France.

— Sire, répondit Berthollet, c'est que jusqu'à ce jour nous n'avons pas possédé de pile voltaïque assez puissante.

— Eh bien ! qu'on en construise sur-le-champ une suffisante, et qu'on n'épargne ni soin ni dépense.

C'est ainsi que fut construite aux frais de l'Etat la magnifique pile voltaïque de l'Ecole Polytechnique. »

L. FIGUIER — Les Merveilles de la Science

montage d'éléments en série

intentions pédagogiques

Dans les leçons précédentes nous avons défini les grandeurs électriques : énergie, puissance, courant et tension et mis en évidence les fonctions des éléments récepteurs ou générateurs.

Les réalisations font en général intervenir des circuits constitués par des ensembles de ces éléments.

Par simple analyse, de tels dispositifs peuvent être décomposés en deux types de montages fondamentaux, dont nous allons dégager les lois :

1° Montage d'éléments en série, cette étude fera l'objet de cette émission.

2° Montage d'éléments en dérivation, étude, qui sera présentée dans l'émission suivante.

plan de l'émission

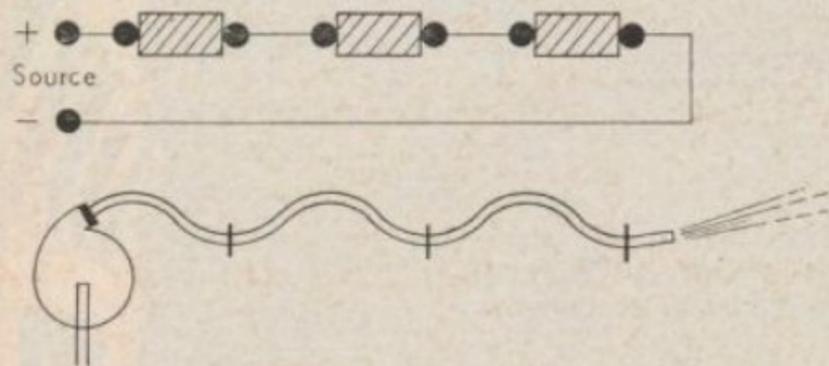
- 1 - Eléments en série.
- 2 - Cas des récepteurs thermiques - application aux rhéostats.
- 3 - Cas des récepteurs quelconques - application au démarrage des moteurs à courant continu.
- 4 - Circuit fermé - comportant générateurs et récepteurs.
- 5 - Récapitulation.

Un questionnaire comportant des exercices d'application directe (avec les réponses), complète cette notice.

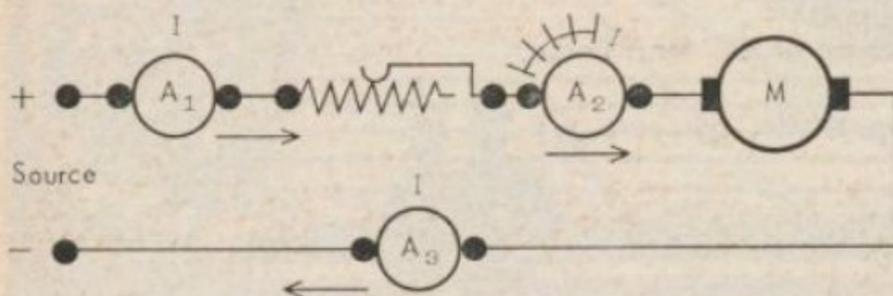
contenu de l'émission

I — ÉLÉMENTS EN SÉRIE

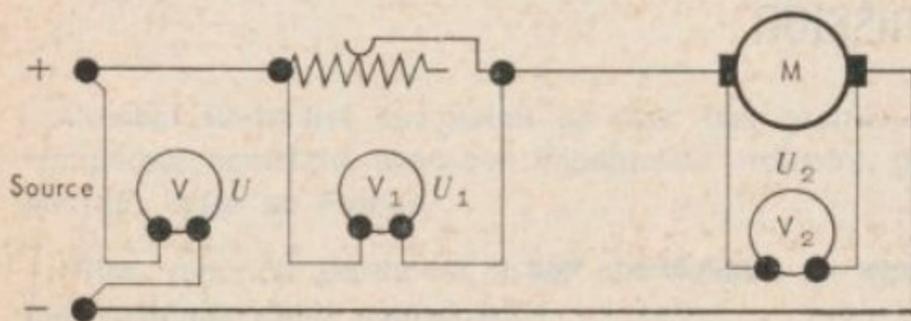
Ils sont disposés l'un à la suite de l'autre comme des tuyaux formant une seule conduite.



a) Dans ce circuit le même courant I traverse simultanément tous ces éléments.



Vérification expérimentale à l'aide d'ampèremètres placés en divers points du circuit comportant en série un rhéostat et un moteur.

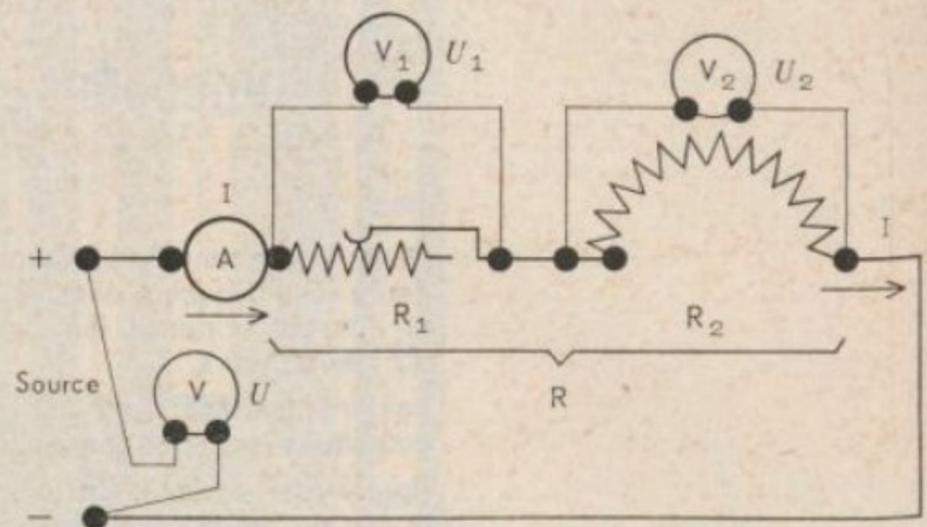


b) Relevons à l'aide de voltmètres la tension U_1 et U_2 aux bornes de chaque élément, et la tension U fournie par la source : nous constatons que $U = U_1 + U_2$.

Cette relation caractérise ce montage et peut se généraliser à plus de deux récepteurs.

II — CAS DES RÉCEPTEURS THERMIQUES

Le montage expérimental comporte un rhéostat et un réchaud.



Chacun est caractérisé par sa résistance électrique mesurée par la loi d'Ohm :

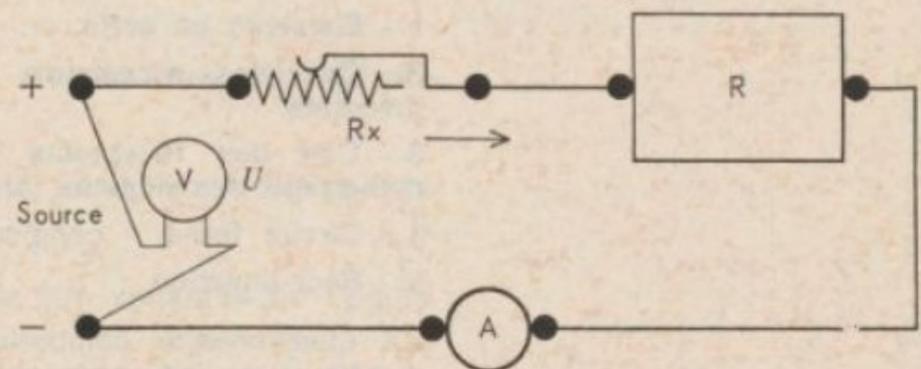
$R_1 = \frac{U_1}{I}$ et $R_2 = \frac{U_2}{I}$; les tensions et le courant sont lus aux appareils de mesure.

La résistance totale de l'ensemble $R = \frac{U}{I}$

(U tension fournie par la source et I courant commun.)
Puisque $U = U_1 + U_2$, cette résistance totale R est la somme $R_1 + R_2$.

Généralisation : les résistances en série s'ajoutent.

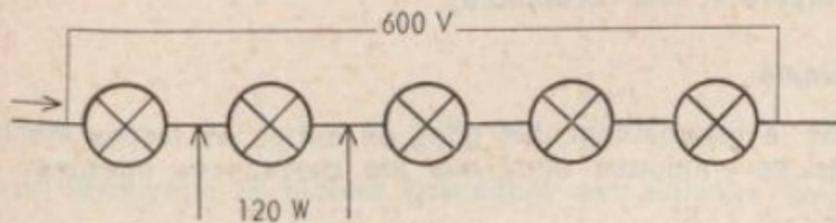
Applications.



a) Un rhéostat est une résistance réglable R_x que l'on place en série sur un circuit de résistance R pour modifier l'intensité du courant

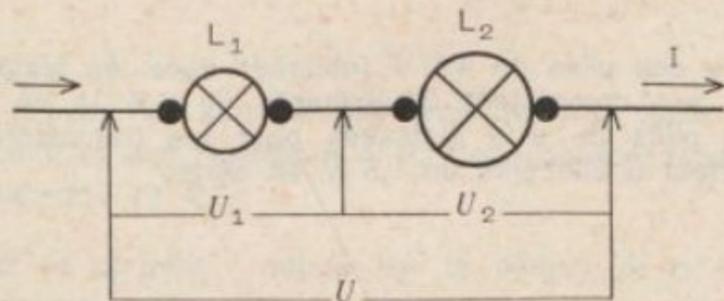
$$I = \frac{U}{R + R_x}$$

b) Des lampes identiques en série se partagent également la tension totale.



Exemple : montage utilisé dans le métropolitain, 5 lampes de 120 volts en série sont alimentées sous 600 volts. Ce montage est assez rarement utilisé car la coupure de l'une quelconque d'entre elles interrompt le circuit.

c) Des récepteurs en série, de résistances différentes ne se partagent pas également la tension.

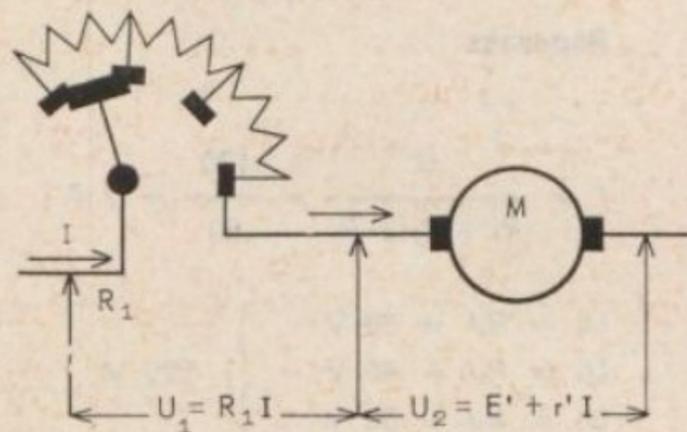


Les tensions partielles sont proportionnelles à la résistance de chacun, $U_1 = R_1 I$ et $U_2 = R_2 I$.

Nous contrôlons ce résultat avec un montage de deux lampes différentes en série.

III — CAS DES RÉCEPTEURS QUELCONQUES

Le montage comporte en série, un rhéostat (récepteur thermique) et un moteur (récepteur mécanique).



Nous mesurons les tensions : U fournie par la source U_1 aux bornes du rhéostat et U_2 aux bornes du moteur. La relation générale $U = U_1 + U_2$ s'applique à tous les cas de montage en série.

Exprimons ces tensions, compte tenu des résultats établis dans les leçons précédentes.

Pour le rhéostat de résistance R_1 on a $U_1 = R_1 \times I$.

Pour le moteur de force contre-électromotrice E' et de résistance interne r' on a $U_2 = E' + r' \times I$.

Dans ces conditions la tension fournie à ce circuit peut s'écrire $U = E' + (R_1 + r') I$

Quels que soient les récepteurs, dans le montage en série, toutes les résistances s'ajoutent.

Application.

Rhéostat de démarrage d'un moteur à courant continu. La force contre-électromotrice d'un moteur n'apparaît qu'avec la rotation, et elle croît avec la vitesse.

A l'arrêt, au moment du démarrage, le moteur se comporte comme une résistance r' (assez faible en général).

Le courant qu'il absorberait sans rhéostat serait prohibitif

$$I_a = \frac{U}{r'}$$

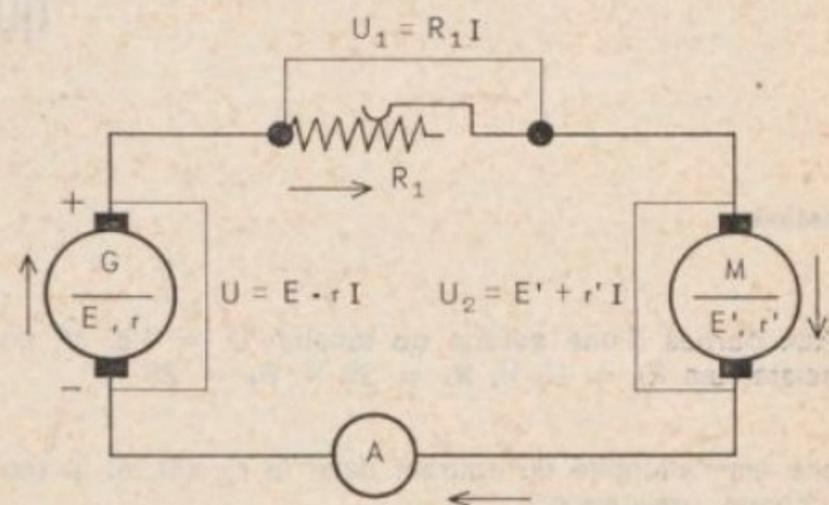
Avec le rhéostat R_x le courant est réduit $I = \frac{U}{r' + R_x}$

au fur et à mesure de la mise en vitesse, on peut supprimer ce rhéostat, car la force contre-électromotrice E'

diminue le courant absorbé $I = \frac{U - E'}{r'}$ (expression de

la loi d'Ohm appliquée à ce récepteur).

IV — CIRCUIT FERMÉ



Considérons maintenant l'ensemble du circuit comprenant les récepteurs en série et le générateur lui-même.

Ce générateur fournit la tension U au circuit ; le premier récepteur, résistance, utilise la tension U_1 ; le second récepteur, moteur, utilise la tension U_2 . Nous avons établi à la leçon sur les générateurs la relation $U = E - rI$, dans laquelle U est la tension utile qu'il fournit, E est sa force électromotrice et r sa résistance interne.

Compte tenu de cette relation et de celles des récepteurs l'expression

$$U = U_1 + U_2$$

$$\text{devient } E - rI = R_1 I + E' + r' I$$

En groupant les termes :

$$E - E' = (R_1 + r + r') \times I$$

C'est la loi d'Ohm appliquée à un circuit fermé, elle tient compte de tous les éléments du circuit.

Ainsi une dynamo génératrice de force électromotrice $E = 120 \text{ V}$ et de résistance $r = 1 \text{ ohm}$, alimentant un circuit qui comporte un rhéostat $R_1 = 3,5 \text{ ohms}$, et un moteur de force contre-électromotrice $E' = 90 \text{ volts}$ et de résistance $r' = 0,5 \text{ ohm}$, débite dans ce circuit le courant :

$$I = \frac{120 - 90}{3,5 + 1 + 0,5} = 6 \text{ ampères.}$$

Généralisation

Si le circuit comporte en série plusieurs générateurs et

récepteurs, la loi s'écrit (en langage condensé) :

$$\Sigma E - \Sigma E' = I \times \Sigma R$$

Le signe Σ se lit sigma et signifie somme de tous les termes tels que...

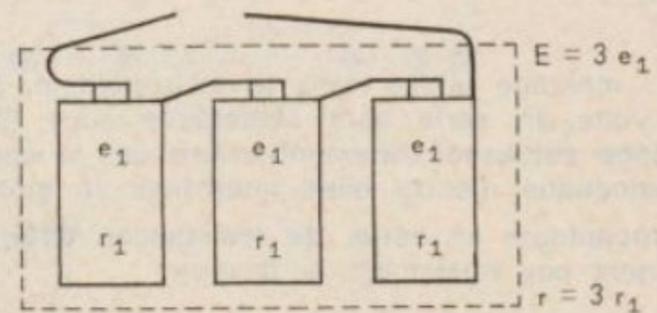
(ΣE = somme des forces électromotrices

$\Sigma E'$ = somme des forces contre-électromotrices

ΣR = somme des résistances, y compris celles des générateurs et des récepteurs).

Exemple.

Dans le groupement des piles en série, les forces électromotrices s'ajoutent ainsi que les résistances internes.



Il existe des piles de 4,5 V (utilisées dans les lampes de poche) qui comportent 3 éléments de 1,5 V en série. Et des piles de 9 V (utilisées pour les transistors) qui comportent 6 éléments de 1,5 V en série.

questionnaire

Questions

1) Aux bornes d'une source de tension $U = 120 \text{ V}$, on place en série 3 résistances $R_1 = 15 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 25 \Omega$.

Quelle est l'intensité du courant dans le circuit, et la tension aux bornes de chaque résistance ?

Réponses

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{120}{60} = 2 \text{ A.}$$

$$\left. \begin{array}{l} U_1 = R_1 I = 30 \text{ V} \\ U_2 = R_2 I = 40 \text{ V} \\ U_3 = R_3 I = 50 \text{ V} \end{array} \right\} 120 \text{ V}$$

2) Un moteur a une force contre-électromotrice $E' = 100 \text{ V}$ et une résistance interne $r' = 1 \Omega$, il absorbe un courant $I = 25 \text{ A}$.

Calculer la tension U à ses bornes.

Faire le bilan des puissances mises en jeu.

$$U = E' + r'I = 125 \text{ V}$$

$$\text{La source fournit } P = UI = 3125 \text{ W}$$

Le moteur transforme :

$$\text{sous forme thermique } p = r' I^2 = 625 \text{ W}$$

$$\text{sous forme mécanique } P' = E'I = 2500 \text{ W}$$

$$\text{total : } 3125 \text{ W}$$

3) Au démarrage le moteur précédent est alimenté sous $U = 125 \text{ V}$.

Déterminez la résistance du rhéostat de démarrage R_x pour que le courant ne dépasse pas 40 A .

Au démarrage $E' = 0$

$$\text{donc } I = \frac{U}{r' + R_x} \text{ soit}$$

$$40 = \frac{125}{1 + R_x} \text{ d'où } R_x = 2,12 \Omega$$

4) On groupe en série 3 éléments de pile ayant chacun une f.e.m. $E = 1,6 \text{ V}$ et une résistance 1Ω . Cette source débite sur une ampoule de résistance 17Ω .

Calculer le courant I débité par la source et la tension aux bornes de l'ampoule.

Appliquons la loi générale.

$$\Sigma E - \Sigma E' = I \times \Sigma R$$

Ici il n'y a pas de force contre-électromotrice E' , donc :

$$1,6 \times 3 = I \times (1 + 1 + 1 + 17)$$

$$I = 0,24 \text{ A}$$

$$\text{Aux bornes de l'ampoule } U = 17 \times 0,24 = 4,08 \text{ V.}$$

montage d'éléments en dérivation

intentions pédagogiques

Cette émission termine l'étude des bases de l'électrocinétique qui font intervenir les grandeurs :

courant, tension, puissance, résistance, forces électromotrice et contre-électromotrice.

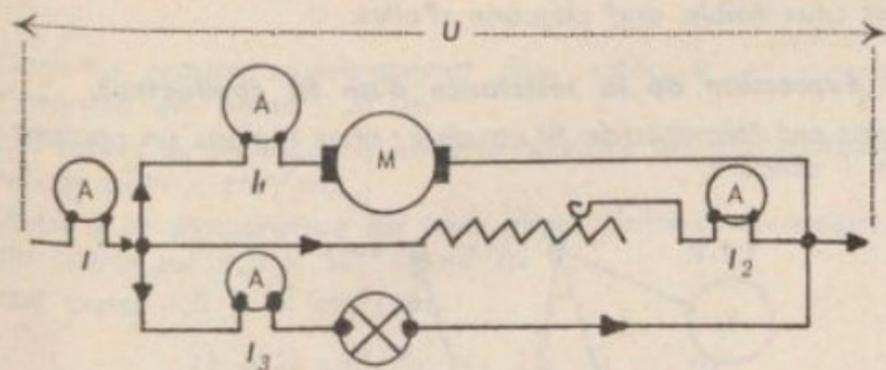
Les résultats, que nous mettons en évidence par l'expérience et les mesures, peuvent apparaître comme les conséquences des conclusions antérieures ; c'est pourquoi nous serons amenés à préciser certains rappels indispensables.

plan de l'émission

- 1° Partage du courant dans les dérivation sous tension commune.
- 2° Indépendance des récepteurs, si cette tension commune est constante.
 - a) Application : distribution à tension constante ;
 - b) Conditions : les chutes de tension en ligne et dans la source doivent pouvoir être négligées.
- 3° Résistance équivalente à un ensemble de résistances en dérivation.
- 4° Expression de la résistance d'un fil conducteur.
- 5° Remarques sur les appareils de mesure :
 - shunt d'ampèremètre,
 - résistance d'un voltmètre.

contenu de l'émission

1° Dans un montage en dérivation (ou en parallèle), les récepteurs sont connectés entre deux points communs.



Nous pouvons vérifier à l'aide d'ampèremètres que les divers courants I_1, I_2, I_3, \dots ont pour somme le courant I débité par la source.

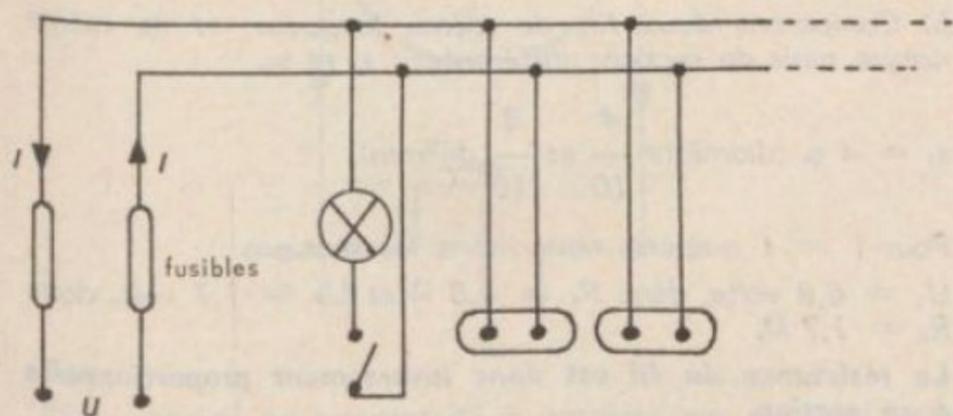
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Chaque récepteur utilise la même tension U entre les bornes communes.

2° Si la tension U est constante, les récepteurs sont indépendants.

En enlevant l'un des récepteurs, ou en ajoutant un nouveau récepteur en dérivation, le régime de fonctionnement des autres (c'est-à-dire le courant absorbé par chacun), n'est pas modifié.

a) **Application** : distribution de l'énergie électrique sous tension constante ; tous les récepteurs sont montés en dérivation ; les prises de courant rendent ce montage aisé.



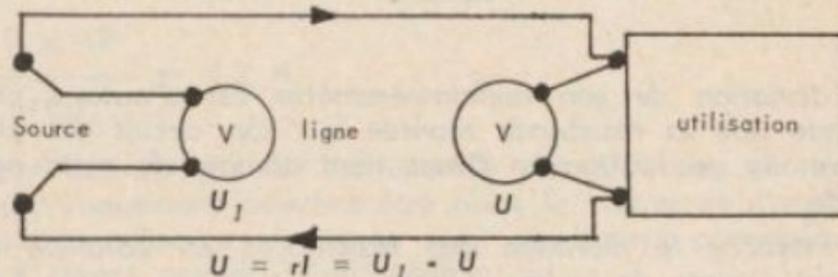
Le courant total I absorbé dépend du nombre et de la nature des récepteurs.

Les fusibles de l'installation (ou le disjoncteur) interrompent l'alimentation si ce courant I dépasse une limite imposée.

b) **Conditions.**

Nous montrons à l'aide d'une ligne constituée de fils très résistants l'importance de la chute de tension en ligne

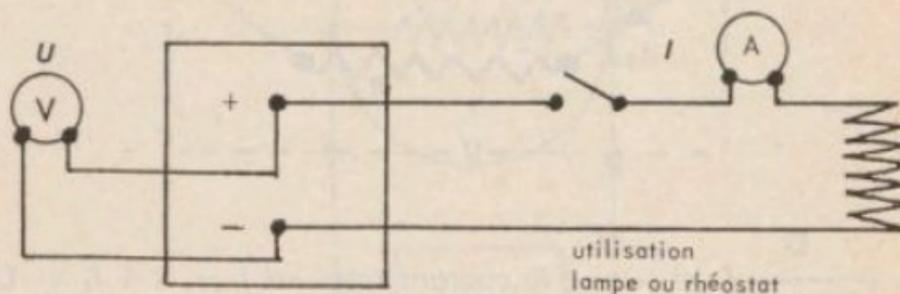
$$u = U_1 - U$$



Cette chute de tension $u = rI$ dépend de la résistance r de la ligne et du courant absorbé.

A l'aide d'une ligne réalisée en fils très bons conducteurs, cette chute de tension devient négligeable.

Nous montrons que certaines sources, les piles par exemple, ont une tension utile décroissante avec l'augmentation du



courant qu'elle débite (voir leçon sur les générateurs), tandis qu'une batterie d'accumulateurs présente une tension pratiquement indépendante de son débit I .

Conclusion : Pour obtenir une tension sensiblement constante il faudra choisir :

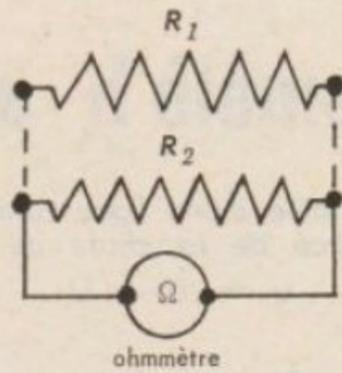
- une ligne de très faible résistance,
- une source de très faible chute de tension.

3° **Résistance en dérivation** (ou en parallèle).

Nous mesurons directement à l'aide d'un ohmètre séparément $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 55 \Omega$, la résistance de l'ensemble R_1 et R_2 en dérivation est 35Ω environ.

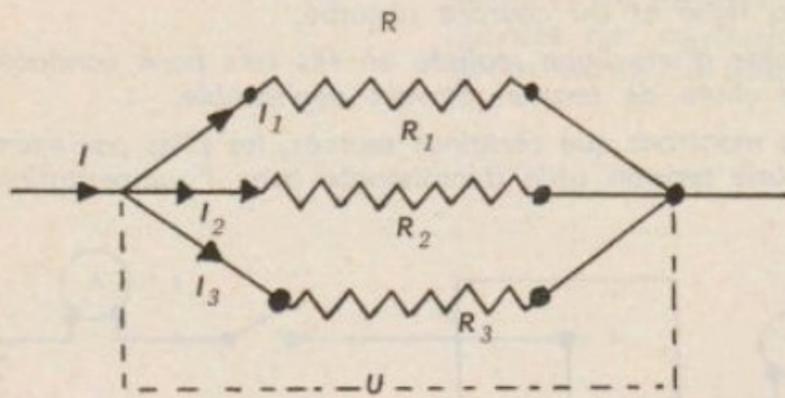
L'ensemble présente une résistance plus faible que chacune des deux résistances. Ceci est en accord avec la notion intuitive de résistance : le courant trouve dans l'ensemble « plus de passage » que dans l'une d'elles.

Remarque : Un ohmmètre à pile utilise la loi d'Ohm.



La déviation de son milliampèremètre est d'autant plus grande que la résistance montée sur son circuit est plus faible. La graduation en **Ohms** tient compte de cette propriété.

— Etudions le montage des résistances en parallèle en tenant compte de la loi d'Ohm. Sous la même tension U .



$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, \text{ le courant total est } I = I_1 + I_2 = U$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Or la résistance de l'ensemble est R telle que $I = \frac{U}{R}$.

$$\text{Nous en déduisons } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Pour simplifier l'écriture et les calculs on définit la **conductance**

$$G = \frac{1}{R}$$

Pour des résistances en dérivation :

la conductance de l'ensemble G est la somme des conductances ($G_1 + G_2$) des éléments.

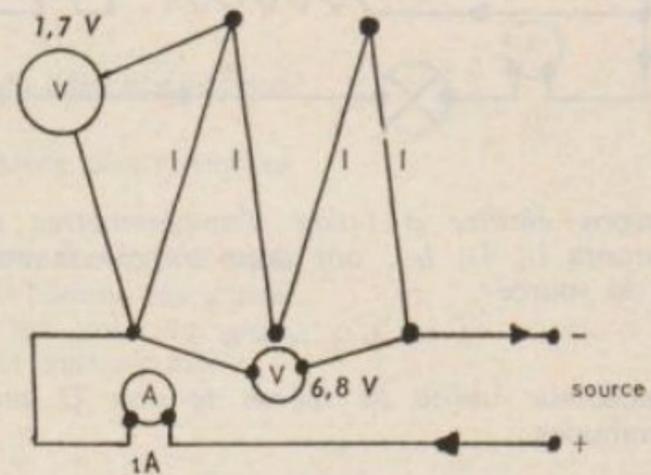
Si les résistances sont égales, par exemple trois résistances de $100 \Omega = R_1 = R_2 = R_3$.

$$G = G_1 + G_2 + G_3 = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{3}{100}$$

$$R = \frac{100}{3} = 33 \Omega, \text{ la résistance de l'ensemble est trois fois plus faible que chacune d'elles.}$$

4° Expression de la résistance d'un fil conducteur.

Dans ces éléments de fil en série, nous réglons un courant I de 1 ampère.



a) Pour un fil homogène, de section constante :

— aux bornes d'une longueur l nous lisons 1,7 Volt (sa résistance est donc $r_1 = 1,7 \Omega$) ;

— aux bornes d'une longueur $2l$ nous lisons 3,4 Volts ($r_2 = 3,4 \Omega$) ;

— aux bornes d'une longueur $4l$ nous lisons 6,8 Volts ($r_4 = 6,8 \Omega$).

La résistance du fil est donc proportionnelle à sa longueur.

b) Comparons deux fils de même longueur, et de même nature mais de sections différentes : s_1 et s_2 .

$$s_1 = 4 s_2 \text{ (diamètre } \frac{4}{10} \text{ et } \frac{8}{10} \text{ de mm).}$$

Pour $I = 1$ ampère, nous lisons les tensions :

$U_1 = 6,8$ volts, donc $R_1 = 6,8 \Omega$ et $U_2 = 1,7$ volt, donc $R_2 = 1,7 \Omega$.

La résistance du fil est donc inversement proportionnelle à sa section.

c) Comparons deux fils de même longueur, de même section, mais de nature différente (mailechort et ferro-nickel). Pour $I = 1$ A nous lisons les tensions :

$U_1 = 6,8$ volts, donc $R_1 = 6,8 \Omega$ et $U_2 = 3$ volts, donc $R_2 = 3 \Omega$.

La résistance d'un fil dépend donc de sa nature ; on caractérise cette propriété par une nouvelle grandeur : la résistivité ρ (se lit rô).

L'expression de la résistance d'un conducteur de section constante s en m^2 , de longueur l mètres, de résistivité ρ est donc :

$$R \text{ en ohms} = \rho \times \frac{l}{s}$$

Dans le système international des unités, $\rho = \frac{R \times s}{l}$ s'exprime en ohms $\times m^2/m$.

Les tables de technologie utilisent souvent un sous-multiple : le microhm $\times cm^2/cm$.

Ainsi à la température de zéro degré Celsius, la résistivité du cuivre est $1,5 \times 10^{-8} \Omega m^2/m$

soit aussi $1,5 \mu \Omega cm^2/cm$

$$(1 \mu \Omega cm^2/cm = 10^{-8} \Omega m^2/m)$$

Le cuivre est très bon conducteur de l'électricité.

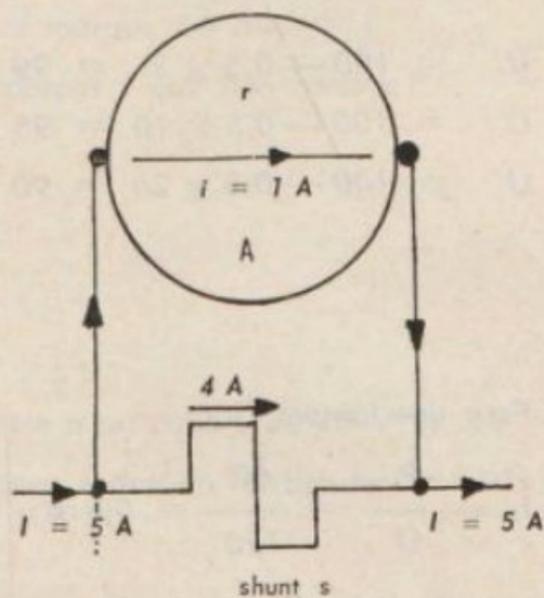
Par contre les fils utilisés pour la constitution des rhéostats ont une résistivité qui varie de

$$30 \times 10^{-8} \text{ à } 100 \times 10^{-8} \Omega m^2/m$$

Ces résistivités sont données à zéro degré Celsius ; nous avons vu en effet dans une précédente leçon que la résistance des métaux augmente avec la température.

5° Remarques sur les appareils de mesure.

a) Shunt d'ampèremètre.



Pour mesurer un courant de 5 ampères par exemple, avec un ampèremètre dont le calibre (valeur de la déviation maximale) est 1 ampère, on utilise un dispositif appelé shunt. Dans ce cas l'ampèremètre est monté en dérivation aux bornes d'un shunt, résistance s , quatre fois plus faible que la résistance propre r de l'ampèremètre (avec ses cordons).

Ainsi le courant $I = 5 A$ à mesurer se partage en $i = 1 A$ qui traverse l'ampèremètre et $4 A$ qui traverse le shunt. Ainsi shunté au cinquième quand l'ampèremètre marquera $i = 0,5 A$ le courant total à mesurer sera $I = 0,5 \times 5 = 2,5 A$.

Les constructeurs fournissent une gamme de shunts ; avec un ampèremètre, on dispose ainsi de plusieurs calibres d'utilisation.

Avec chaque shunt l'ampèremètre constitue un nouvel appareil de mesure.

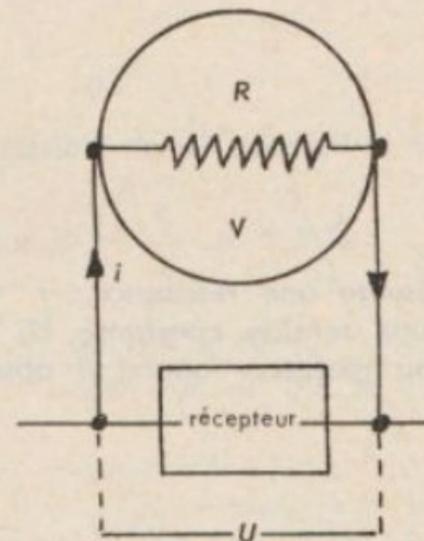
Si l'ampèremètre porte 100 divisions, avec le shunt marqué 10 A, la lecture correspondant à 42 divisions sera

$$\frac{10 \times 42}{100} = 4,2 A.$$

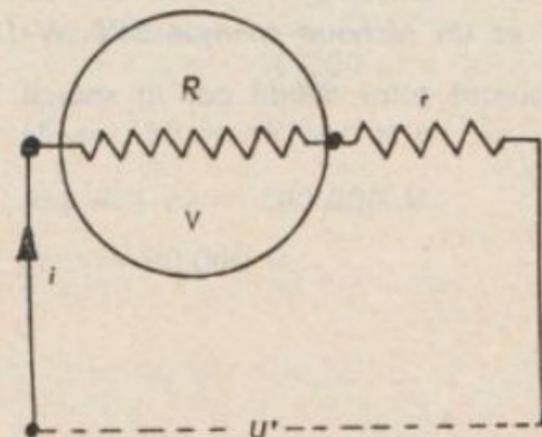
Pour des raisons de commodité d'emploi, les shunts et leurs connexions peuvent être dans le boîtier de l'appareil. Celui-ci présente alors une série de bornes correspondant aux divers calibres d'utilisation.

Résistance d'un ampèremètre (avec ou sans shunt).

L'appareil, ou l'ensemble, étant monté en série dans le circuit, doit présenter une **très faible résistance**, pour ne pas perturber ce circuit par sa présence (chute de tension).



b) Résistance d'un voltmètre.



Par contre un voltmètre, monté en dérivation entre deux points, pour mesurer une différence de potentiel U , ne doit dériver qu'un très faible courant i qui assure son fonctionnement.

Donc la résistance R du voltmètre = $\frac{U}{i}$ doit être très grande.

On peut modifier le calibre d'un voltmètre à l'aide d'une résistance additionnelle r en série, pour la même déviation (avec le courant i) il mesurera la tension :

$$U' = i \times (R + r)$$

Les constructeurs fournissent des voltmètres multicalibres à plusieurs bornes ; des résistances additionnelles sont incorporées dans le boîtier.

questionnaire

1) Une ligne présente une résistance : $r = 0,5 \Omega$; sachant que la source présente une tension constante $U_s = 100 \text{ V}$, quelle sera la tension U utile au récepteur quand il absorbe soit 2 A, soit 10 A, soit 20 A ?

$$U = 100 - 0,5 \times 2 = 99 \text{ V}$$

$$U' = 100 - 0,5 \times 10 = 95 \text{ V}$$

$$U'' = 100 - 0,5 \times 20 = 90 \text{ V}$$

2) On monte en dérivation, sous la tension 120 V, 10 lampes marquées 60 W-120 V et un réchaud marqué 300 W-120 V.

Calculer le courant total débité par la source.

Pour une lampe :

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ A}$$

Pour le réchaud :

$$I_2 = \frac{300}{120} = 2,5 \text{ A}$$

$$I = 10 \times 0,5 + 2,5 = 7,5 \text{ A}$$

P totale 900 Watts.

3) Quelle est la résistance R équivalente à 10 lampes marquées 120 V-60 W montées en dérivation (dans les conditions de fonctionnement) ?

$$\text{Courant par lampe : } I = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ A.}$$

$$\text{Résistance d'une lampe : } r = \frac{U}{I} = 240 \text{ }.$$

$$R = \frac{r}{10} = 24 \text{ } \Omega.$$

4) Quelle est la résistance d'un fil de cuivre de 1 mm^2 de section, de 62 mètres de longueur (à froid) ?

$$\rho = 1,6 \times 10^{-8} \text{ } \Omega \text{ m}^2/\text{m}$$

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

$$l = 62 \text{ m } s = 0,000001 \text{ m}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2.$$

$$R = \frac{1,6 \times 10^{-8} \times 62}{10^{-6}} = 1 \text{ } \Omega \text{ environ.}$$

5) Un milliampèremètre de calibre 100 mA a une résistance $r = 0,9 \text{ } \Omega$.

On veut le shunter au dixième, quel shunt doit-on employer ?

Ainsi shunté il marque $60 \text{ mA} = i$.

Quel est le courant I que l'on mesure ?

$$I = 10 i.$$

Il passe i dans l'appareil et $9 i$ dans le shunt.

$$\text{donc } s = \frac{r}{9} = 0,1 \text{ } \Omega.$$

$$I = 60 \text{ mA} \times 10 = 600 \text{ mA} = 0,6 \text{ A.}$$

6) Un voltmètre a un calibre de 15 V et une résistance $R = 10\,000 \text{ } \Omega$.

Quelle résistance r doit-on lui ajouter en série pour que son calibre soit porté à 150 V ?

$$i_{\text{ maximal}} = \frac{15}{10\,000}$$

$$U' = 150 = (R + r) \times i$$

$$\text{soit } R + r = 100\,000 \text{ } \Omega$$

$$\text{et : } = 90\,000 \text{ } \Omega.$$

magnétisme - électromagnétisme

intentions pédagogiques

- Mettre en évidence le magnétisme et le définir.
- Etudier les grandeurs qui permettent de caractériser cette notion, et qui sont l'induction et le flux magnétique.
- Revenir sur les effets magnétiques d'un courant.
- Visualiser quelques spectres magnétiques.

contenu de l'émission

I — NOTIONS PRÉLIMINAIRES

Le magnétisme est un chapitre nouveau et il faut le définir à l'aide de grandeurs nouvelles.

Rappelons d'abord quelques constatations fondamentales
1^{re} constatation : un aimant attire la limaille de fer. Cette attraction ne se produit qu'en deux zones de l'aimant appelées les pôles.

2^e constatation : à la surface de la terre une aiguille aimantée, qui est un petit aimant mobile autour d'un axe, prend une direction bien définie.

Ceci a conduit à appeler le pôle de l'aiguille aimantée, orientée vers le nord terrestre, pôle Nord, l'autre pôle, orienté vers le sud terrestre, pôle Sud.

Application : la boussole.

Conséquence : notion de champ magnétique.

Lorsqu'une aiguille aimantée se déplace, on met en évidence des forces magnétiques et on dit que l'aiguille est placée dans un champ magnétique, c'est-à-dire dans une région où l'on peut mettre en évidence des phénomènes magnétiques.

Exemple : la surface de la terre se trouve dans le champ magnétique terrestre.

3^e constatation : un champ magnétique peut être créé par un aimant ou par un courant (voir les effets électromagnétiques des courants).

4^e constatation : l'aimantation d'une substance est possible si le corps est ferromagnétique :

exemples de corps ferromagnétiques :

- le fer, le cobalt, le nickel,
- alliages divers comportant ces mêmes corps.

II — ÉTUDE DU CHAMP MAGNÉTIQUE

Pour caractériser le champ magnétique, on utilise provisoirement la force s'exerçant sur le pôle Nord d'un barreau aimanté.

En un point donné, le champ est défini à l'aide d'un vecteur dont les caractéristiques sont les suivantes :

- direction : celle de la force s'exerçant sur le pôle Nord,
- sens : celui de cette même force,
- point d'application : le point considéré,
- intensité à définir ultérieurement.

Cette grandeur est appelée **l'induction magnétique**.

Unité d'induction : le tesla (symbole T).

Conséquence : orientation d'une aiguille aimantée dans un champ magnétique : elle s'oriente en prenant la direction

→
 du vecteur B . Et le sens Sud-Nord défini par les deux pôles de l'aiguille, est le même que le sens de l'induction magnétique.

Application : étude qualitative des champs magnétiques.

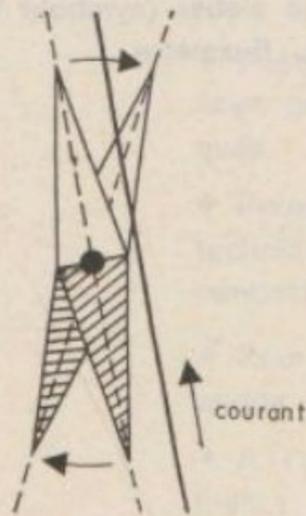
— Une aiguille aimantée très petite appelée magnétomètre est utilisée pour donner la direction et le sens de l'induction magnétique en un point d'un champ magnétique.

— Plusieurs magnétomètres permettent d'observer, au même instant, l'induction magnétique en plusieurs points d'un champ magnétique.

— On peut utiliser pour cette exploration des grains de limaille de fer. Par aimantation induite, en entrant dans le champ magnétique, ils deviennent autant de petits aimants. On visualise le champ magnétique ainsi. On dit qu'on réalise un **spectre magnétique**.

III — CHAMP MAGNÉTIQUE, CRÉÉ PAR UN COURANT, DANS L'AIR (OU LE VIDE)

1) Expérience d'Oersted :



Au-dessus d'une aiguille aimantée, et parallèlement à celle-ci, on place un conducteur rectiligne.

Lorsqu'un courant parcourt le conducteur, on observe une déviation de l'aiguille.

On explique ce déplacement par l'existence d'un champ magnétique que crée le courant qui parcourt le conducteur.

La règle de l'**Observateur d'Ampère** permet de déterminer le sens du déplacement lorsque le sens du courant est connu.

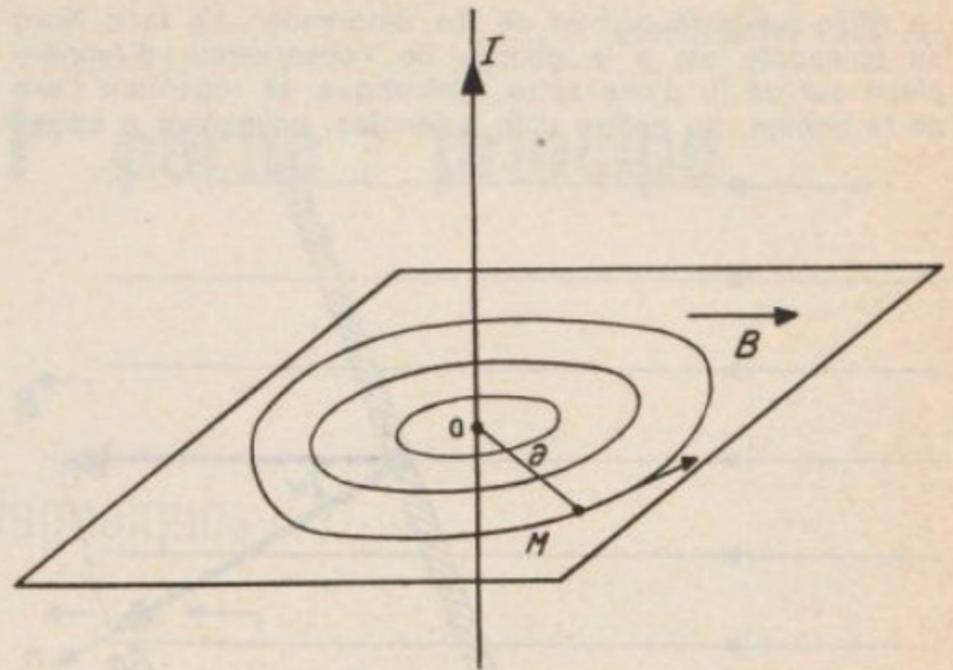
Cet observateur, couché sur le conducteur, est traversé par le courant des pieds vers la tête.

Règle : l'observateur d'Ampère, regardant le pôle Nord de l'aiguille aimantée, voit ce pôle se déplacer vers sa gauche.

2) Etude du champ magnétique créé par un courant circulant dans un conducteur rectiligne.

Cette étude est possible grâce aux spectres magnétiques que l'on peut réaliser. Les grains de limaille dessinent des lignes appelées lignes d'induction.

Les lignes d'induction sont des **circonférences** admettant pour axe le conducteur.



(On rencontre de telles lignes dans tous les spectres et ce sont toujours des courbes fermées.)

La valeur de l'induction B au point M situé dans l'air à la distance x du conducteur, est donnée par la relation

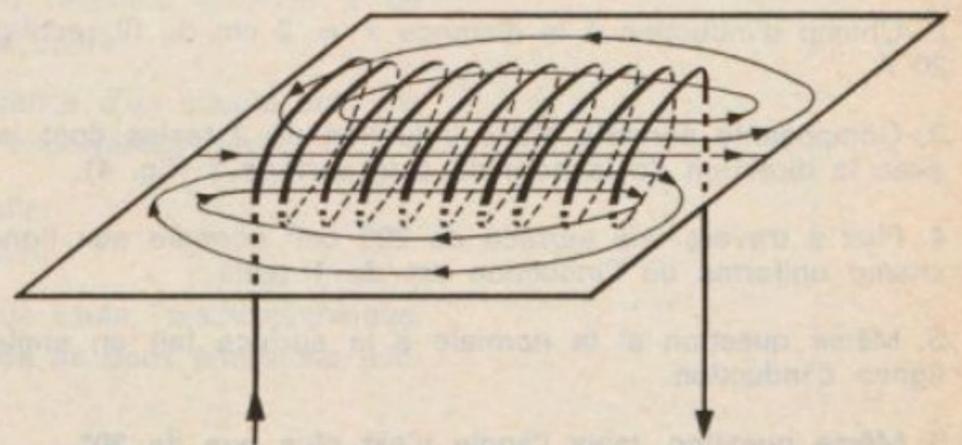
$$B = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{x}$$

I exprimé en ampères,
 x exprimé en mètres.

3) Etude du champ magnétique créé par une bobine longue.

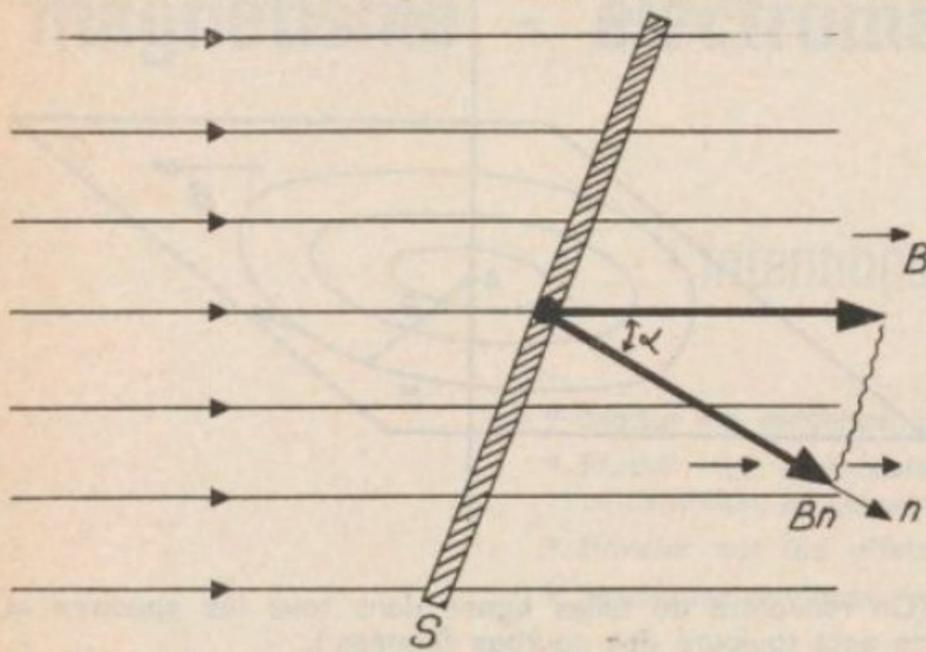
On appelle ainsi des bobines dont la longueur vaut plus de 10 fois le diamètre. On les nomme aussi solénoïdes.

Le spectre magnétique obtenu montre que les lignes d'induction sont des droites parallèles à l'intérieur du solénoïde (champ uniforme).



A l'extérieur, le spectre ressemble à celui d'un aimant droit. Ceci amène à définir une face Nord et une face Sud pour la bobine.

La règle suivante permet de les déterminer. La face Nord du solénoïde est à la gauche de l'observateur d'Ampère placé sur un fil d'une spire quelconque, et regardant l'axe de la bobine. Au centre d'un solénoïde, possédant n spires



par mètre, et placé dans l'air, l'induction est égale à :

$$B = 4 \pi \cdot 10^{-7} n I$$

I exprimé en ampères.

IV — FLUX D'INDUCTION

Considérons une surface S placée dans un champ d'induction uniforme (schéma ci-contre).

On appelle flux d'induction magnétique à travers la surface S le produit de l'aire S par la composante normale Bn de l'induction magnétique B .

On représente le flux d'induction par la lettre φ (lire phi).

$$\varphi = Bn \cdot S$$

$$\text{ou } \varphi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Unité de flux :

$$\alpha = 0, B = 1 \text{ T}, S = 1 \text{ m}^2$$

$$\text{Alors } \varphi = 1 \text{ Wb}$$

L'unité de flux est le weber (symbole Wb).

Mesure du flux : au fluxmètre.

questionnaire

Questions - Calculer :

1. Champ d'induction au centre d'un solénoïde parcouru par un courant d'intensité $I = 20 \text{ A}$. Nombre de spires par mètres : $n = 1000$.
2. Champ d'induction à la distance $x = 2 \text{ cm}$ du fil rectiligne parcouru par un courant de 20 A .
3. Composante normale d'une induction de 2 teslas dont la direction fait un angle de 60° avec la direction de la normale à la surface S (fig. 4).
4. Flux à travers une surface de 200 cm^2 normale aux lignes d'induction en un point d'un champ uniforme où l'induction est de 1 tesla.
5. Même question si la normale à la surface fait un angle de 60° avec la direction des lignes d'induction.
6. Même question, mais l'angle n'est plus que de 30° .

Réponses

$$B = 25 \cdot 10^{-3} \text{ tesla.}$$

$$B = 2 \cdot 10^{-4} \text{ tesla.}$$

$$Bn = 1 \text{ T}$$

$$\varphi = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

$$\varphi = 10^{-2} \text{ Wb}$$

$$\varphi = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ Wb.}$$

force électromagnétique : 1^{re} partie : principe

intentions pédagogiques

- Possédant les notions de base de l'électromagnétisme nous pouvons aborder l'étude de ses conséquences pratiques.
 - Parmi ces conséquences, la plus importante en électrotechnique est l'existence de la force qui s'exerce sur un conducteur placé dans un champ magnétique.
 - Pour étudier les caractéristiques de cette force nous avons choisi un dispositif expérimental simple.
 - A l'aide de ce dispositif, nous étudierons successivement :
 - 1) la direction,
 - 2) le sens,
 - 3) l'intensité de la force électromagnétique.
 - Nous appliquerons ensuite les résultats obtenus à un cas particulier important, celui du cadre.
 - Nous constaterons ainsi l'existence d'un couple dont les applications pratiques les plus importantes sont :
 - 1) le galvanomètre à cadre mobile,
 - 2) les moteurs à courant continu.
 - Pour rendre cette leçon, clé de toute l'électrotechnique, plus assimilable, elle sera diffusée en deux émissions successives.
- La première portera sur les caractéristiques de la force électromagnétique.
- La seconde traitera des applications : cadre, galvanomètre, principe des moteurs électriques.

contenu de l'émission

I. — RAPPELS

Nous avons déjà rencontré, au cours d'émissions précédentes, des manifestations de la force électromagnétique.

Dans la leçon II, un conducteur horizontal était attiré à l'approche d'un aimant. Dans la leçon III nous avons vu se repousser deux conducteurs verticaux parcourus par un même courant.

II. — ÉTUDE DE LA FORCE ELECTROMAGNETIQUE

1° Dispositif expérimental.

Un conducteur vertical, mobile autour de son extrémité supérieure, traverse le champ d'un aimant placé dans un plan horizontal. Au niveau du conducteur, le vecteur induc-

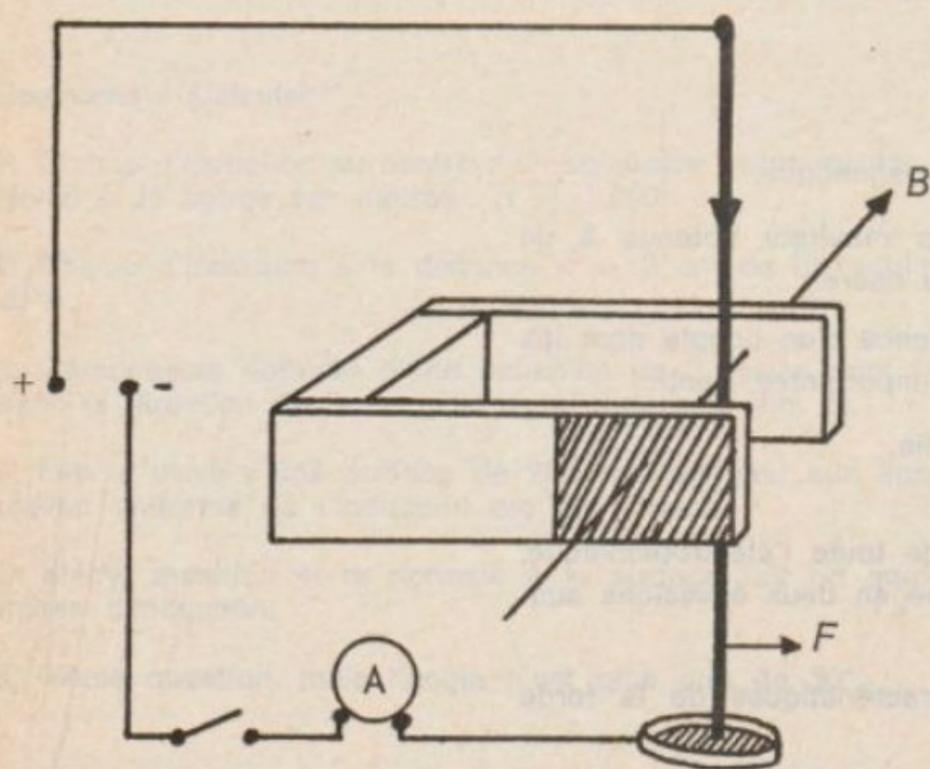


FIGURE 1

tion est dirigé de l'avant vers l'arrière de la figure. Un générateur alimente le conducteur de façon que le courant parcourt celui-ci de haut en bas.

2° Direction de la force.

Lançons le courant dans le conducteur, son extrémité inférieure se déplace vers la droite. La force s'exerce donc sur le conducteur, de la gauche vers la droite. La direction de la force est donc celle d'une droite perpendiculaire au plan formé par les directions du courant et de l'induction (fig. 1).

3° Sens de la force.

Lorsqu'on inverse le sens du courant parcourant le conducteur en permutant les connexions aux bornes du géné-

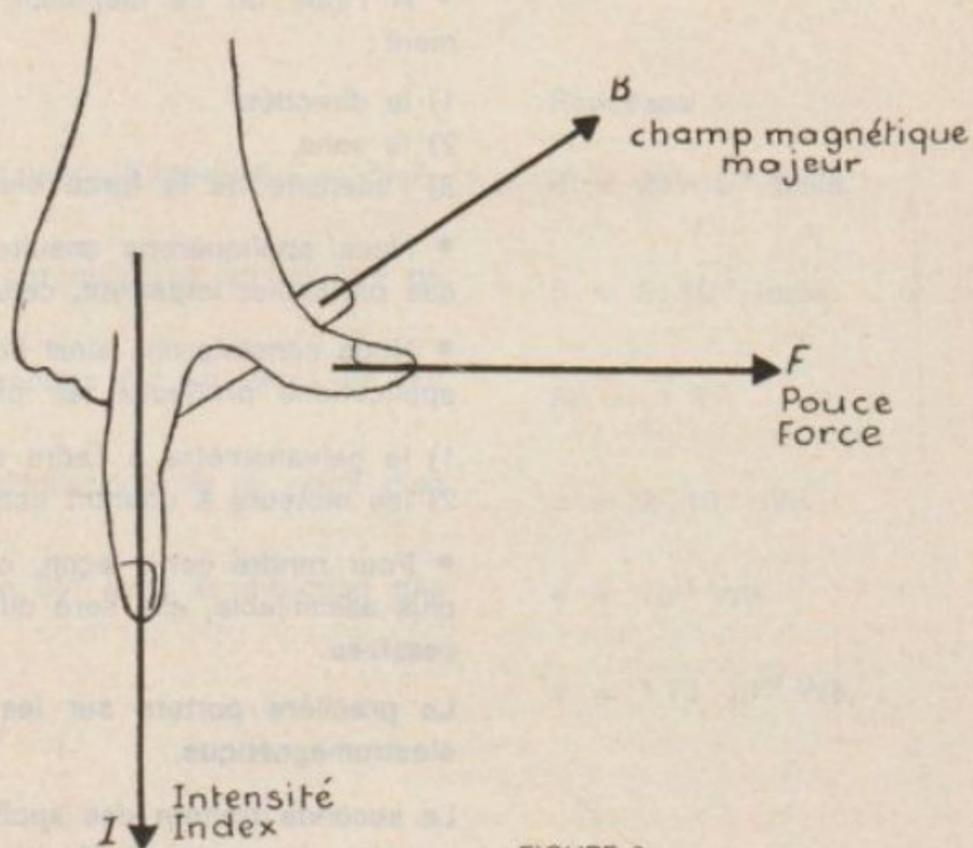


FIGURE 2

rateur, on observe un déplacement du conducteur vers la gauche. Le sens de la force dépend donc du sens du courant parcourant le conducteur.

Retournons maintenant l'aimant, après avoir rétabli le sens primitif du courant, nous observons une déviation vers la gauche. Le sens de la force dépend donc également du sens de l'induction.

Pour prévoir le sens de la force il existe une règle simple : celle des trois doigts de la main droite.

Lorsqu'on place l'index de la main droite dans le sens de l'intensité du courant, le majeur dans le sens du champ magnétique, le pouce indique le sens dans lequel pousse la force (fig. 2).

4° Intensité de la force.

Pour mesurer l'intensité de la force il faut relier par un fil le conducteur soumis à cette force, à l'extrémité d'un dynamomètre sensible. Pour que le poids du conducteur n'intervienne pas dans nos mesures il faut que le conduc-

Observons ce que devient la force lorsque nous faisons varier l'intensité du courant. Pour des intensités $3I$, $2I$, I nous obtenons des allongements du dynamomètre correspondant à $3F$, $2F$, F . Nous pouvons en conclure que la force électromagnétique est proportionnelle à l'intensité du courant parcourant le conducteur.

Gardons maintenant le courant constant et faisons varier l'induction en utilisant 1 puis 2 et enfin 3 barreaux aimantés.

Nous constatons encore que des inductions B , $2B$, $3B$ produisent des forces F' , $2F'$, $3F'$.

L'intensité de la force est donc également proportionnelle à l'induction.

On peut aussi montrer que l'intensité de la force est proportionnelle à la longueur du conducteur plongé dans le champ. Nous vérifions en effet que lorsqu'on double la longueur du conducteur effectivement placé dans le champ

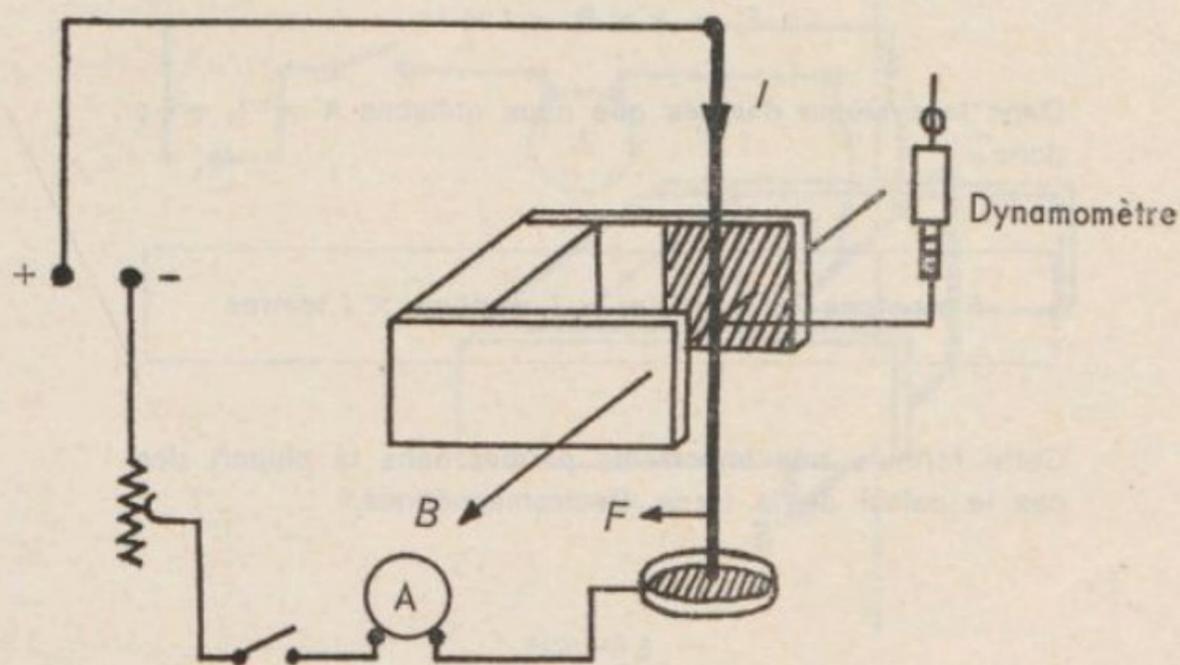


FIGURE 3

teur reste vertical malgré l'allongement du dynamomètre. Pour cela nous avons fixé celui-ci à un support à crémaillère. Pour pouvoir modifier le courant parcourant le conducteur, nous avons ajouté au circuit électrique un rhéostat. Un ampèremètre nous permettra de connaître l'intensité du courant (fig. 3).

à l'aide d'un second jeu d'aimants identique au précédent, l'intensité de la force lue sur le dynamomètre est doublée.

Dans certains cas, les directions du champ et du courant ne sont pas perpendiculaires. D'autres mesures permettent de vérifier que la force n'est plus proportionnelle à l'induction mais à sa projection sur un axe perpendiculaire

à la direction du courant. Si nous appelons B_n cette projection nous pouvons écrire (fig. 4)

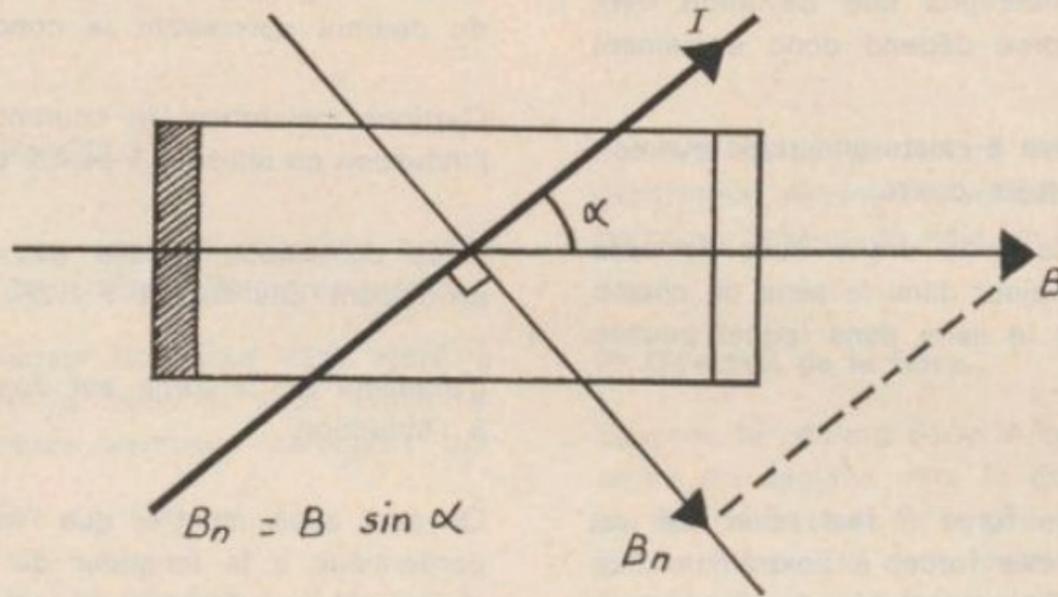


FIGURE 4

$$F = k \times B_n \times I \times l$$

Dans le système d'unités que nous utilisons $k = 1$, on a donc :

$$F \text{ newtons} = B_n \text{ teslas} \times I \text{ ampères} \times l \text{ mètres}$$

Cette formule très importante permet dans la plupart des cas le calcul de la force électromagnétique.

force électromagnétique : 2^e partie : applications

III. — LE CADRE

a) Définition.

On appelle cadre l'élément de circuit obtenu en donnant à un fil conducteur la forme d'un rectangle. Ici le cadre peut tourner autour de son axe de symétrie vertical (fig. 5).

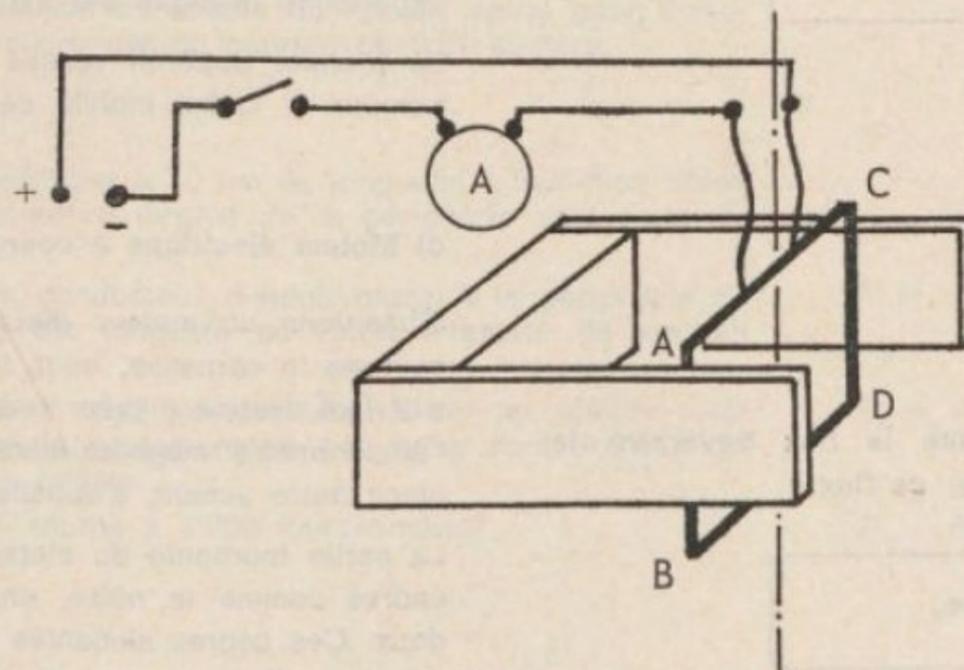


FIGURE 5

b) Plaçons le cadre entre les pôles d'un aimant de manière que les côtés horizontaux AC et BD aient la même direction que le champ.

Quelle que soit la position du cadre, les directions du champ et du courant sont dans un plan horizontal. Les deux forces s'exercent alors verticalement. Elles ne peuvent donc communiquer au cadre aucun mouvement.

Par contre les côtés verticaux sont soumis à deux forces égales et opposées : ces deux forces constituent ce qu'on

appelle un couple. Ce couple tend à faire tourner le cadre autour de son axe.

Pour calculer l'importance de ce couple, on calcule son moment :

$$C = F_1 \times d_1 + F_2 \times d_2$$

Ici :

$$F_1 = B_x \times I \times AB$$

$$F_2 = B_x \times I \times CD$$

$$d_2 = \frac{AC}{2}$$

$$d_1 = \frac{AC}{2}$$

or $AB = CD$, donc :

$$C = (B_x \times I \times AB) \times \frac{AC}{2} + (B_x \times I \times AB) \times \frac{AC}{2}$$

$$C = B_x \times I \times AB \times AC$$

Or $AB \times AC$ représente la surface S du cadre.

$$C = B_x \times I \times S$$

En général le fil constituant le cadre est enroulé sur un support rectangulaire et fait plusieurs fois le tour de ce support. Si ce nombre de tours est n :

$$C = n \times B_x \times S \times I$$

C en joules-couple

B en tesla

S en mètres-carrés

I en ampères

Remarque :

Le produit $n \times B_x \times S$ représente le flux traversant le cadre (voir leçon 11). Appelons Φ_0 ce flux.

$$C = I \times \Phi_0$$

Lorsqu'on lance le courant dans le cadre ainsi placé, celui-ci pivote aussitôt autour de son axe sous l'effet du couple. Malheureusement, ce couple n'est pas constant et diminue à mesure que tourne le cadre. En particulier lorsque le plan du cadre se trouve perpendiculaire à l'induction, les forces constituant le couple passent par l'axe de rotation et le produit :

$$F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2 = 0, \text{ donc : } C = 0$$

Le cadre s'immobilise dans cette position.

c) Le galvanomètre à cadre mobile.

Si nous fixons au cadre dans sa première position (côtés horizontaux parallèles à l'induction) un dynamomètre, nous constatons que la force exercée sur ce dynamomètre est d'autant plus grande que le courant traversant le cadre est intense. La position finale du cadre dépend donc de l'intensité du courant. Si l'on repère cette position par une aiguille fixée au cadre, se déplaçant devant un cadran, on peut graduer ce cadran en intensités. On a ainsi réalisé un appareil de mesure extrêmement utilisé dans la pratique comme ampèremètre et même comme voltmètre par addition de résistances convenables en série.

Dans la réalisation industrielle d'un tel appareil, le dynamomètre que nous utilisons est remplacé par un ressort spiral. Un dispositif simple que nous saurons bientôt réaliser permet de créer un champ d'induction constamment parallèle au plan du cadre. On obtient ainsi un couple constant quelle que soit la position du cadre. On peut alors graduer le cadran en parties égales. Les ampèremètres ainsi réalisés s'appellent ampèremètres magnéto-électriques. Leur importance pratique est extrêmement grande.

Le premier appareil réalisé sur ce principe fut le galvanomètre à cadre mobile de Deprez et d'Arsonval (1881).

d) Moteur électrique à courant continu.

Observons un moteur électrique industriel. Lorsque nous ouvrons la carcasse, nous trouvons à l'intérieur un dispositif fixe destiné à créer une induction radiale comme dans l'ampèremètre magnéto-électrique. Ce dispositif, qui remplace notre aimant, s'appelle inducteur.

La partie tournante du moteur est constituée de nombreux cadres comme le nôtre, enroulés sur un cylindre de fer doux. Ces cadres alimentés en courant par un système de contacts glissants sont soumis à un couple électromagnétique important : c'est le couple moteur. Le système de contacts glissants constitue l'ensemble collecteur-balais.

Un moteur à courant continu est donc constitué :

- d'un dispositif destiné à créer un champ magnétique intense : c'est l'inducteur ;
- d'une partie tournante constituée de nombreux cadres sur lesquels agit le couple électromagnétique : c'est l'induit ;
- d'un ensemble de contacts glissants : collecteur et balais.

questionnaire

Questions

1° Un conducteur rectiligne de longueur $L = 0,2$ m, traversé par un courant $I = 10$ A est normal aux lignes d'induction d'un champ $B = 1,2$ tesla. Déterminer la force à laquelle il est soumis.

2° Un conducteur rectiligne de 5 cm de longueur est placé normalement aux lignes d'induction d'un champ uniforme de 0,6 tesla. Il est soumis à une force de 0,15 N. Quelle est l'intensité du courant qui le traverse ?

3° Un conducteur de 10 cm de longueur parcouru par un courant de 20 A est placé dans un champ uniforme de 1 tesla qui fait un angle de 30° avec la direction du conducteur. Quelle force s'exerce sur lui ?

4° Lorsqu'on approche un aimant d'un arc électrique, celui-ci est soufflé. Dire pourquoi. Indiquer le sens dans lequel se déplace la flamme (voir fig. 6).

5° Le cadre d'un ampèremètre magnéto-électrique à champ radial comprend 100 tours de fil. L'induction constante dans laquelle il est plongé vaut 0,2 tesla. Quelle doit être la valeur du moment du couple du ressort spiral pour immobiliser le cadre lorsqu'il est parcouru par un courant de 0,01 ampère. Longueur du cadre 6 cm. Largeur du cadre 4 cm.

6° Le rotor d'un petit moteur électrique a 10 cm de longueur. L'induction créée par l'inducteur est radiale (c'est-à-dire dirigée de la périphérie vers l'axe du rotor), elle vaut $B = 1$ tesla.

a) à quelle force est soumis un conducteur d'induit placé à la périphérie du rotor. Montrer que cette force est tangente au rotor. Intensité du courant 8 ampères.

b) 400 conducteurs identiques sont régulièrement répartis sur le cylindre rotor qui a 8 cm de diamètre. La moitié seulement de ces brins sont actifs à un instant donné. Evaluer le couple moteur.

c) puissance du moteur lorsqu'il tourne à 1 200 tours/minute ?

Réponses

$$F = 2,4 \text{ N soit également } 0,245 \text{ kgp.}$$

$$I = 5 \text{ A.}$$

$$B_x = 0,5 \text{ tesla.}$$
$$F = 1 \text{ N.}$$

L'arc est soufflé vers la droite.

$$C = 0,00048 \text{ joules-couple.}$$

$$F = 0,8 \text{ N.}$$

$$C = 3,2 \text{ joules-couple.}$$

$$P = 64 \text{ Watts.}$$

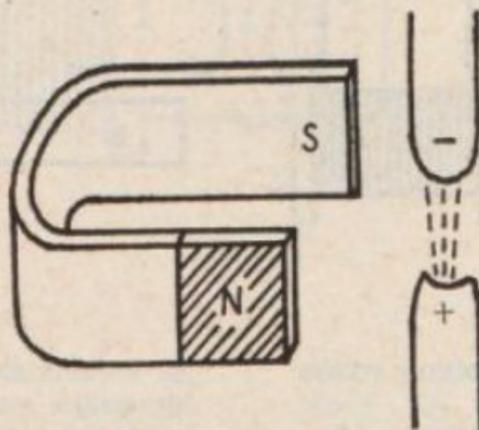


FIGURE 6

induction électromagnétique

intentions pédagogiques

Définir le phénomène d'induction à l'aide d'expériences simples.
Calculer la force électromotrice induite.
Rechercher des applications de ce phénomène.

contenu de l'émission

Le phénomène d'induction peut s'étudier en faisant varier le flux dans un circuit, ou en faisant couper un flux par un conducteur.
Etudions d'abord la f.e.m. qui prend naissance lorsque le flux embrassé par le circuit varie.

I. — F.E.M. INDUITE PAR VARIATION DU FLUX EMBRASSÉ PAR UN CIRCUIT

Expérience :

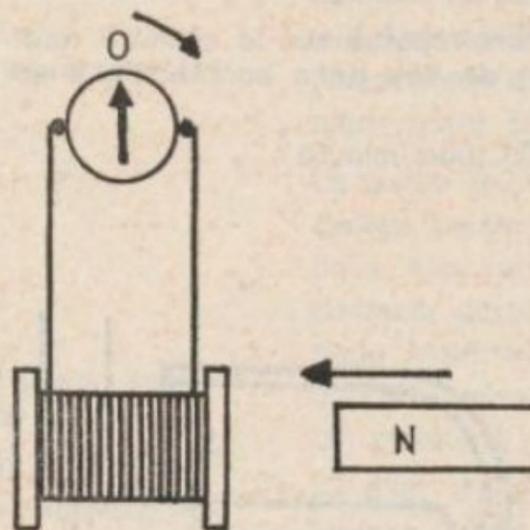


FIGURE 1

On approche le pôle Nord d'un aimant, d'une bobine reliée aux deux bornes d'un galvanomètre.
Le galvanomètre dévie lorsque l'aimant se déplace. L'aiguille, par contre, reste devant la division 0, qui se trouve

au milieu de l'échelle, lorsque l'aimant est immobile. Si lorsqu'on avance le pôle Nord, le galvanomètre dévie vers la droite, lorsqu'on retire ce même pôle on observe une déviation vers la gauche.

On peut donc conclure que :

- un courant circule dans le circuit puisque le galvanomètre en indique le passage, pendant le déplacement ;
- le sens de ce courant dépend du sens de déplacement de l'aimant.

Cette même expérience permet de constater que si on approche un pôle Sud, on produit un courant de même sens que lorsqu'on retire un pôle Nord. De la même façon, avancer un pôle Nord ou retirer un pôle Sud, crée un courant de même sens.

C'est pourquoi on a été amené à penser que ce courant appelé courant induit, provenait de la variation de flux dans le circuit (flux inducteur).

Pour confirmer cette idée, on fait varier le flux de différentes façons. La bobine peut être placée par exemple dans le champ magnétique créé par un solénoïde. On peut modifier aussi la position de la bobine dans ce champ : lui faire subir une translation ou une rotation.

Dans tous les cas, un courant induit prend naissance. Donc une variation du flux embrassé par un circuit fait naître une force électromotrice (dite f.e.m. induite).

Valeur de la f.e.m. induite.

Des expériences quantitatives montrent que la valeur de cette f.e.m. d'induction dépend :

- de la variation $\Delta\Phi$ du flux embrassé,
- de la durée Δt de cette variation.

Si e désigne cette f.e.m. d'induction,

$$\text{il vient : } e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

e est exprimée en volts
 $\Delta\Phi$ est exprimé en webers
 Δt est exprimé en secondes.

Sens de la f.e.m. induite.

Il est donné par la **loi de Lenz** : le sens du courant induit est tel qu'il s'oppose à la cause qui lui donne naissance. Ainsi, il crée dans le circuit de la bobine un flux de sens contraire du sens du flux inducteur.

Conséquences : en appliquant la loi de Lenz, on déduit que :

- la bobine présente un pôle Nord au pôle Nord de l'aimant lorsque celui-ci s'approche de la bobine ;
- la bobine présente un pôle Sud lorsqu'on retire le pôle Nord de l'aimant. Ceci explique les déviations de sens contraires du galvanomètre lorsqu'on approche, puis lorsqu'on retire le pôle Nord dans la première expérience ;
- de la même façon, la bobine présente un pôle Nord au pôle Sud, qui s'éloigne, et un pôle Sud au pôle Sud qui avance.

Et ceci explique que retirer un pôle Nord, ou avancer un pôle Sud, produit une déviation de même sens pour le galvanomètre.

Illustration de la loi de Lenz.

On place deux bobines sur le même noyau magnétique.

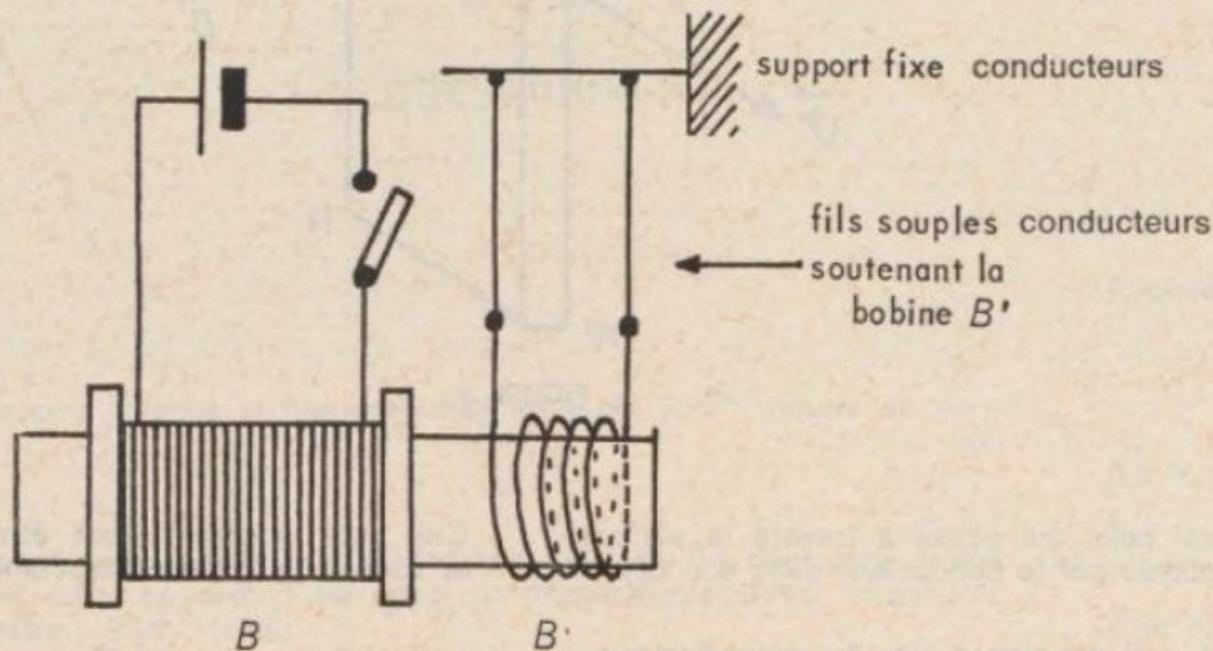


FIGURE 2

Lorsqu'on alimente la bobine B, elle crée un flux dans la bobine B'. Cette variation de flux inducteur fait naître un courant induit dans B'. Le sens de ce courant est tel que flux inducteur et flux dû au courant induit sont de sens

contraires. Les faces des bobines en présence sont l'une Nord, et l'autre Sud. Autrement dit, les bobines se repoussent.

II. — APPLICATIONS DE LA F.E.M. INDUITE

2.1 - Transformateur : il permet le transport de l'énergie électrique en haute tension. Le flux inducteur est alternatif. Il en est de même de la f.e.m. induite.

2.2 - Alternateur : c'est un générateur de courant alternatif. Si on inverse le flux dans une bobine périodiquement, elle est le siège d'une f.e.m. d'induction alternative.

III. — F.E.M. INDUITE DANS UN CONDUCTEUR COUPANT UN FLUX

Si un conducteur coupe un flux $\Delta\Phi$ pendant un temps Δt ,

il est le siège d'une f.e.m.

$$e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Dans le cas particulier où le conducteur se déplace dans un champ d'induction uniforme, d'une position MN jusqu'en M'N', perpendiculairement aux lignes d'induction et en coupant le flux $\Delta\Phi$, cette loi s'écrit :

$$e = B.l.v$$

B représente l'induction du champ magnétique, l la longueur du conducteur et v est sa vitesse.

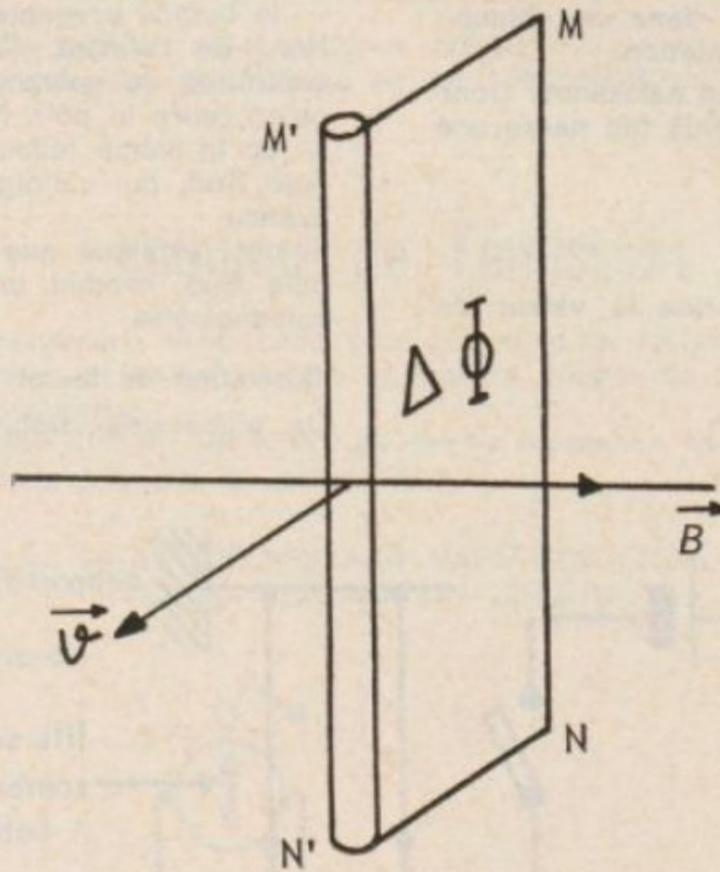


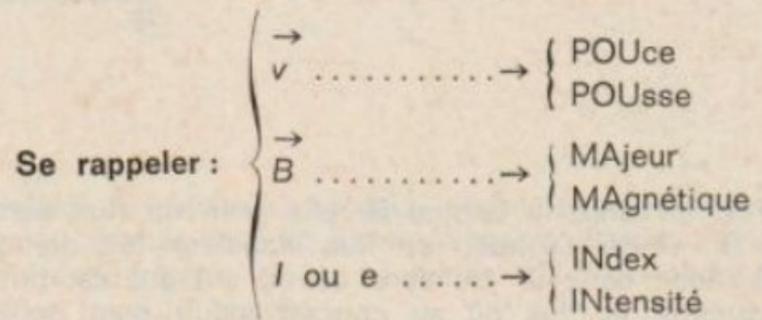
FIGURE 3

Le flux $\Delta\Phi$ est aussi celui qui passe à travers la surface MM'N'N', surface balayée par le conducteur dans son déplacement.

Sens de cette f.e.m. : il est donné par la règle des trois doigts de la main gauche (gauche commence comme générateur). Il faut placer :

- le pouce dans le sens de la vitesse (le sens où l'on pousse),
- l'index dans le sens de l'intensité (ou de la f.e.m.), c'est ce que l'on veut connaître,
- le majeur dans le sens de l'induction magnétique.

Ces trois doigts doivent être perpendiculaires entre eux et former un trièdre trirectangle.



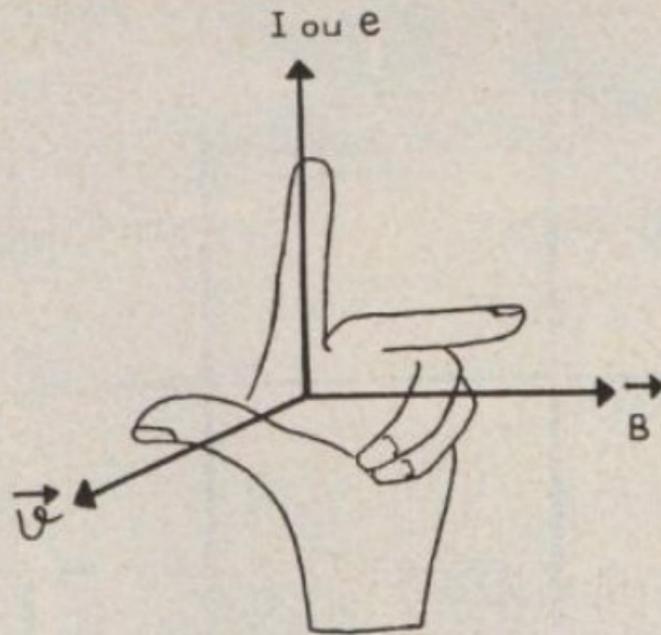


FIGURE 4

4.1 - Générateurs à courant continu et alternateurs.

Des conducteurs sont placés à la périphérie d'un rotor. Ils se déplacent car le conducteur est entraîné par un moteur ou une turbine (hydraulique ou à vapeur). Ils coupent dans ce déplacement les lignes d'induction d'un champ magnétique créé par l'enroulement inducteur porté par le stator. Les deux conditions pour obtenir une f.e.m. induite sont bien satisfaites ainsi.

4.2 - Frein de Foucault.

Un disque entraîné par le dispositif à freiner, passe devant les pôles d'un électro-aimant. Lorsque celui-ci est alimenté, dans le disque, naissent des courants induits. Ils s'opposent à la cause qui leur donne naissance ; c'est le mouvement ici. Donc, le dispositif est freiné. Le freinage augmente d'efficacité lorsqu'on augmente le flux inducteur.

questionnaire

Questions

1 - F.e.m. induite dans une bobine lorsque le flux embrassé varie de $5 \cdot 10^{-3}$ webers en $\frac{1}{60}$ de seconde.

2 - F.e.m. induite dans un conducteur rectiligne de longueur de 1 m, se déplaçant à une vitesse de 120 km à l'heure, dans un champ terrestre, et perpendiculairement à celui-ci. Intensité de l'induction terrestre : $2 \cdot 10^{-4}$ tesla.

3 - Le flux dans une bobine s'élève à 10^{-4} weber. On retourne l'aimant qui le crée. Le flux après cette opération, a la même valeur absolue qu'au départ. Valeur de la f.e.m. induite, si le retournement s'opère en 10^{-2} seconde.

4 - Dans l'exercice précédent, si la bobine est fermée, sur un circuit de résistance 1 ohm, quelle est l'intensité du courant induit.

Réponses

0,3 V.

0,66 mV.

$2 \cdot 10^{-2}$ V = 0,02 V.

0,02 A = 20 mA.

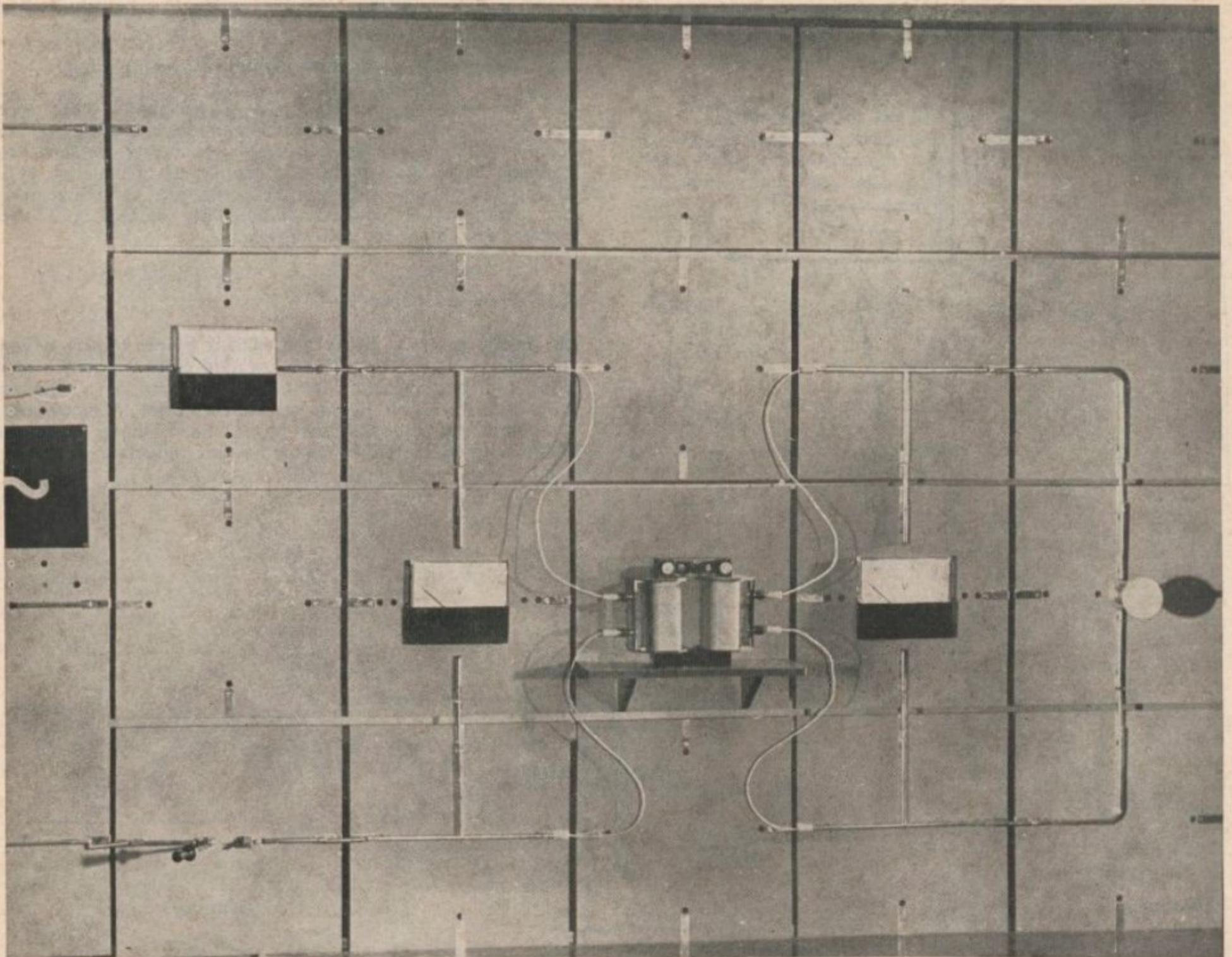


Photo I. P. N./Lichy

Ce tableau, réalisé par le Centre d'Etudes et d'Applications Pédagogiques de l'E. D. F. à Gurcy-le-Châtel, permet une grande variété d'expériences d'électricité. Il sera utilisé dans les émissions n° 13-14-15 dont les fiches sont contenues dans le présent livret.

auto-induction

intentions pédagogiques

- Mettre en évidence un aspect de l'auto-induction.
- Expliquer les phénomènes observés.
- En déduire un autre aspect des conséquences de l'auto-induction.
- Etudier quelques applications pratiques simples.

contenu de l'émission

I. — INFLUENCE D'UNE BOBINE SUR L'ETABLISSEMENT DU COURANT DANS UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE

Dans un circuit électrique comprenant une source, un rhéostat, un interrupteur, une lampe, le courant s'établit instantanément.

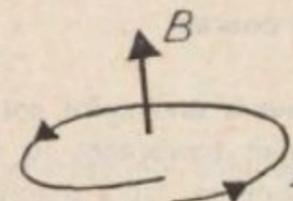
Remplaçons le rhéostat par une bobine à noyau de fer ayant même résistance. Nous constatons que la lampe s'allume beaucoup plus lentement, avec un certain retard après la fermeture de l'interrupteur.

Le phénomène est particulièrement visible lorsqu'on place côte à côte la lampe alimentée à travers le rhéostat et celle alimentée par la bobine. Lorsqu'on ferme l'interrupteur commun aux deux circuits le retard de la lampe numéro 2 est très net.

Une bobine ne se comporte donc pas comme une simple résistance.

II. — L'AUTO-INDUCTION

Considérons une spire de la bobine utilisée. Imaginons qu'un courant I traverse cette spire. Le courant I crée une induction B à l'intérieur de la spire. Nous avons appris



dans la leçon précédente que toute variation de l'induction B à l'intérieur d'une bobine crée dans celle-ci une force électromotrice d'induction.

Lorsque nous fermons le circuit de la lampe le courant I commence à augmenter dans la bobine. Il y a donc variation de l'induction B , donc apparition de la force électromotrice induite. Le circuit étant fermé, cette force électromotrice crée un courant induit. Le sens de ce courant induit est donné par la loi de Lenz. Cette loi indique que le sens du courant induit est tel qu'il s'oppose à la cause qui lui a donné naissance. Cette cause est l'augmentation de I . Le courant induit est donc opposé à I et ralentit très fortement sa croissance. C'est ce que nous avons observé. Ce phénomène s'appelle l'auto-induction, car c'est le courant I lui-même qui est la cause du courant induit. La force électromotrice induite s'appelle force électromotrice d'auto-induction.

III. — COEFFICIENT D'AUTO-INDUCTION FORCE ÉLECTROMOTRICE D'AUTO-INDUCTION

a) Coefficient d'auto-induction :

La leçon précédente nous a appris que la force électromotrice induite peut être calculée par la formule :

$$e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Considérons une bobine sans noyau de fer. Nous savons que :

1° La forme des lignes d'induction ne dépend pas de l'intensité du courant ;

2° L'intensité de l'induction est proportionnelle en chaque point à l'intensité du courant.

— Le flux total à travers une spire est donc proportionnel à l'intensité du courant traversant la spire. Il en est de même pour toute la bobine. Ceci s'écrit

$$\frac{\Phi}{i} = \text{constante}$$

$$\rightarrow \text{Appelons } L \text{ cette constante : } \Phi = L \times I$$

L est le coefficient d'auto-induction de la bobine encore appelé **INDUCTANCE PROPRE** de la bobine.

b) Unité d'inductance propre.

Nous savons que le flux se mesure en webers
que l'intensité se mesure en ampères.

Lorsque $\Phi = 1$ weber

$$L = 1 \text{ henry}$$

$$I = 1 \text{ ampère}$$

L'unité d'inductance propre est donc le henry.

c) Force électromotrice d'auto-induction.

Puisque nous savons maintenant que $\Phi = L \times I$, nous savons qu'à une variation ΔI de l'intensité correspond une variation $\Delta\Phi$ du flux telle que $\Delta\Phi = L \times \Delta I$.

$$\text{Or } e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\rightarrow \text{donc } e = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

e = force électromotrice d'induction mesurée en volts.

L = coefficient d'auto-induction mesuré en henrys.

ΔI = variation d'intensité mesurée en ampères.

Δt = variation de temps correspondante mesurée en secondes.

La force électromotrice d'auto-induction est donc d'autant plus grande que la variation d'intensité s'effectue en un temps plus court.

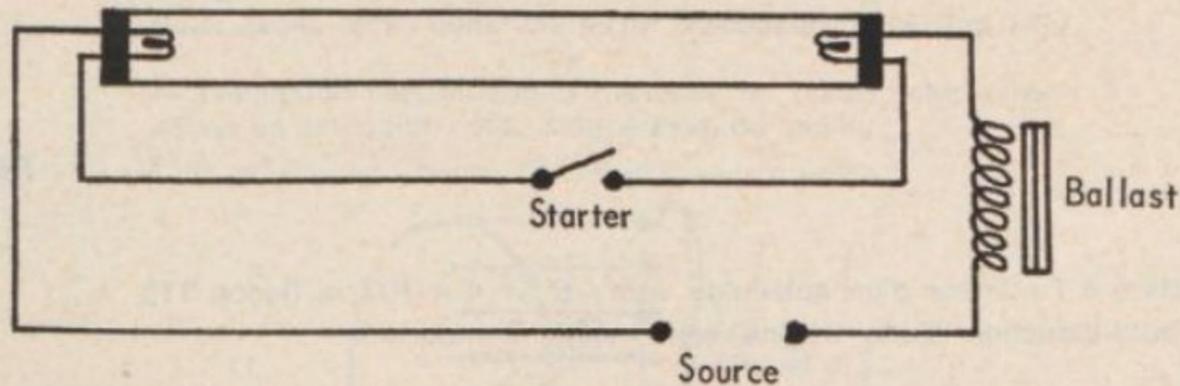
IV. — EFFETS DE L'AUTO-INDUCTION A L'OUVERTURE D'UN CIRCUIT

Lorsqu'on ouvre un circuit il ne peut exister de courant induit puisque le circuit est justement ouvert. La variation du courant est alors très brutale. La force électromotrice d'induction est donc très grande. Nous pouvons mettre en évidence cette force électromotrice à l'aide d'une lampe au néon.

Une telle lampe est constituée de deux électrodes placées dans une ampoule remplie de néon. Ce gaz devient lumineux lorsqu'une tension suffisante (de l'ordre de 65 V) est appliquée entre les électrodes. Il se produit alors une décharge électrique à travers le gaz.

Le générateur alimentant le circuit ci-contre a une force électromotrice de 24 volts. Lorsqu'on ferme l'interrupteur la lampe au néon ne peut donc pas s'allumer. Par contre, lorsqu'on ouvre l'interrupteur elle émet une brève lueur.

A l'instant où l'on a ouvert l'interrupteur est donc apparue aux bornes de la bobine une force électromotrice supérieure à 65 V. Cette force électromotrice était due à l'auto-induction.

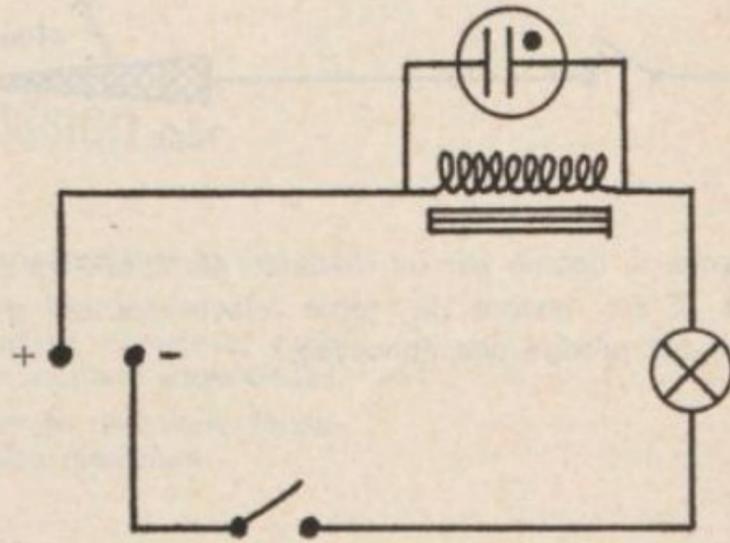


Lorsque l'on branche le circuit ci-dessus à une source de tension convenable, l'interrupteur figurant le « starter » est fermé. Un courant s'établit dans les filaments à travers le ballast. Lorsqu'on ouvre le « starter » le courant est brusquement coupé dans le ballast, la surtension due à l'auto-induction qui apparaît permet l'allumage du tube. La

V. — APPLICATIONS DE L'AUTO-INDUCTION

1° Allumage des tubes fluorescents.

Le fonctionnement des tubes fluorescents est très semblable à celui de la lampe au néon. Cependant ces tubes ne peuvent pas s'allumer avec la tension fournie par l'E.D.F., cette tension est trop faible.



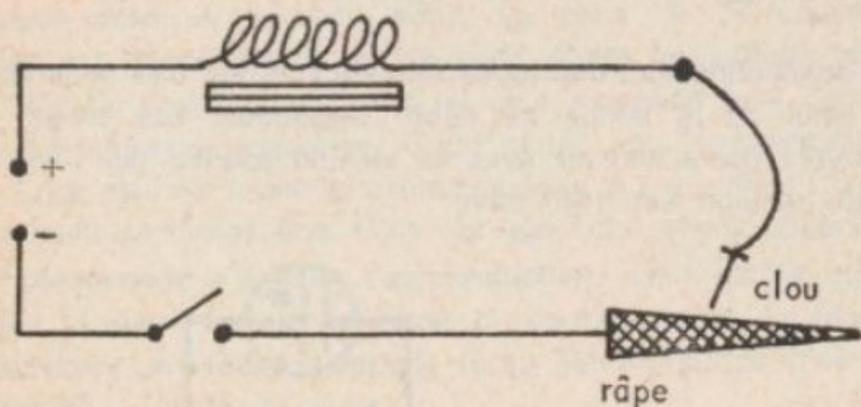
Un dispositif automatique permet l'allumage en faisant appel à la force électromotrice d'auto-induction d'une bobine placée en série avec le tube et appelée « ballast ».

décharge lumineuse se maintient ensuite bien que la tension soit alors plus faible.

2° Étincelles de rupture des circuits contenant des bobines.

La surtension à la rupture d'un tel circuit peut être mise en évidence à l'aide de l'expérience suivante.

Fermons l'interrupteur. Déplaçons le clou sur la râpe. Nous observons de très fortes étincelles.



Remplaçons la bobine par un rhéostat, les étincelles disparaissent. C'est encore la force électromotrice d'auto-induction qui produit ces étincelles.

Ce phénomène est très gênant :

- a) Lorsqu'on coupe le courant d'un moteur à courant continu (métro, trains de banlieue), car il se comporte alors comme une bobine possédant de nombreuses spires.
- b) Lorsqu'on coupe des tensions élevées dans les réseaux E.D.F., par exemple où les puissances mises en jeu sont très grandes.

En effet, les étincelles qui se produisent détériorent les contacts qui deviennent résistants provoquant ainsi des pertes de puissances et des échauffements dangereux.

Divers artifices sont utilisables pour pallier ces inconvénients. Parmi ceux-ci citons les interrupteurs à cornes, les coupures dans l'huile, les étincelles soufflées. Notons enfin que l'auto-induction prend comme nous le verrons dans les prochaines leçons, une importance capitale en courant alternatif.

questionnaire

Questions

1° On rappelle que l'induction à l'intérieur d'un solénoïde vaut : $B = 4 \pi 10^{-7} nI$ (leçon 11).
Calculer le coefficient d'auto-induction d'une bobine sans noyau comportant :

$n = 10\,000$ spires/mètre
de section $S = 30\text{ cm}^2$.

2° Une bobine sans noyau de fer a un coefficient d'auto-induction $L = 0,5\text{ H}$. Quelle doit être le rayon de la bobine supposée cylindrique, de section circulaire, si l'on veut qu'elle comprenne 1 000 spires/mètre ?

3° On coupe un circuit contenant une inductance de 1 henry. Ce circuit était parcouru par un courant de 1 ampère. On suppose que la coupure dure $1/1\,000^{\circ}$ de seconde. Calculer la force électromotrice d'auto-induction apparaissant à la coupure.

Réponses

$$L = 0,377\text{ H.}$$

$$S = 4\,000\text{ cm}^2.$$

$$r = 35,6\text{ cm.}$$

$$e = 1\,000\text{ V.}$$

circuit magnétique

plan de l'émission

Toutes les machines électriques comportent des circuits électriques et un circuit magnétique.

— L'étude du ferromagnétisme est assez complexe, nous nous limiterons dans cette leçon aux notions essentielles.

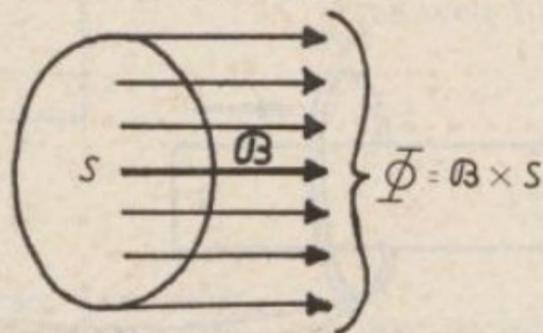
— Ces notions permettront de justifier la technique fondamentale appliquée à la construction des machines.

intentions pédagogiques

I. — RAPPELS

Nous avons défini dans une leçon précédente (émission 11) :

— l'induction magnétique \vec{B} mesurée en teslas, elle caractérise en un point l'état magnétique du milieu ;

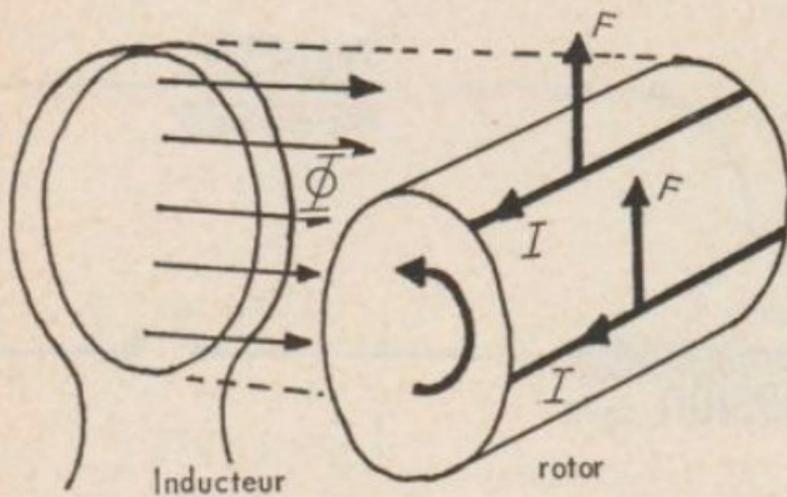


— le flux d'induction magnétique Φ qui traverse une surface

S . Dans le cas où \vec{B} est perpendiculaire à S , l'expression du flux est $\Phi = B \times S$.

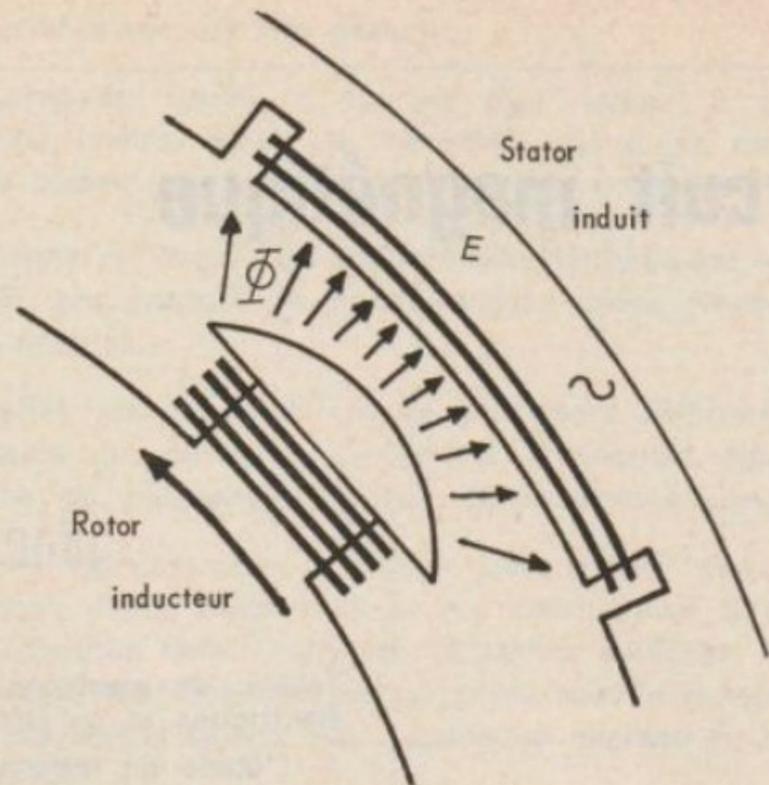
(Φ en webers, B en teslas, S en mètres carrés).

Dans l'étude des machines électriques le flux d'induction magnétique est considéré comme une grandeur essentielle, en effet :



— dans les moteurs c'est l'action du flux émis par les inducteurs qui crée des forces sur les conducteurs du rotor, parcourus par un courant (émission 12) ;

— dans les générateurs tournants, ce sont les variations du flux (émis par les inducteurs, dans les enroulements de



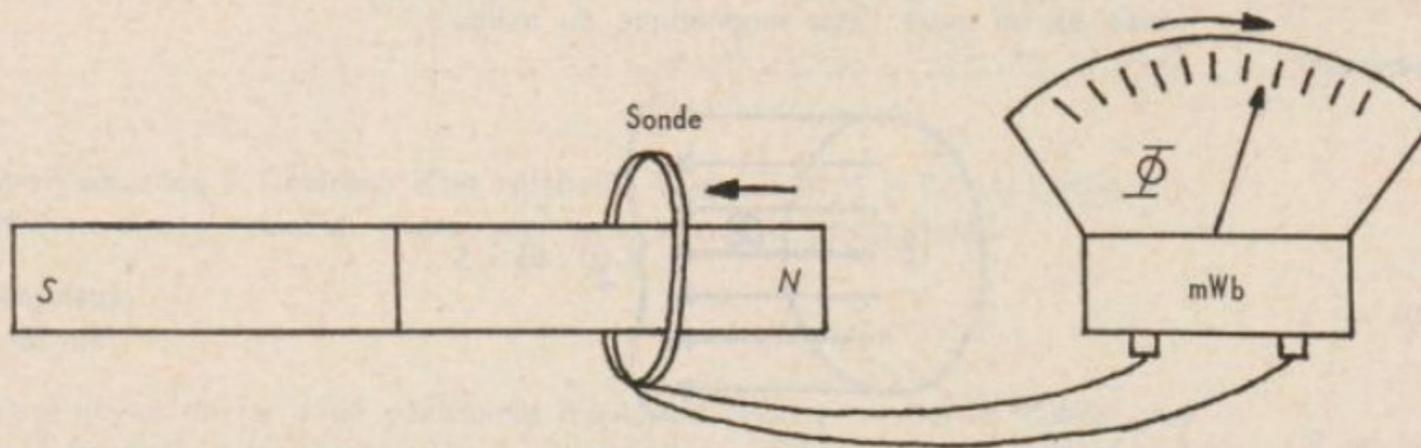
l'induit), qui créent la force électromotrice E de ces générateurs (émission 13).

Emploi du fluxmètre, ou milliwebermètre.

La déviation de l'aiguille du fluxmètre mesure la variation $\Delta\Phi$ du flux d'induction magnétique à travers l'ensemble des spires de sa bobine sonde.

Si cette variation est totale, de zéro à Φ , nous pourrions mesurer le flux lui-même.

Exemple : la sensibilité du fluxmètre est 0,2 milliweber par division.



Nous utilisons une sonde, bobine plate de 400 spires présentant chacune une section s de 10 cm^2 . En approchant cette sonde d'un pôle d'aimant jusqu'à

l'entourer, nous notons une déviation de 60 divisions au fluxmètre.

La mesure du flux total à travers la sonde est $0,2 \times 60 = 12$ mWb. L'aimant émet à travers chaque spire de la sonde

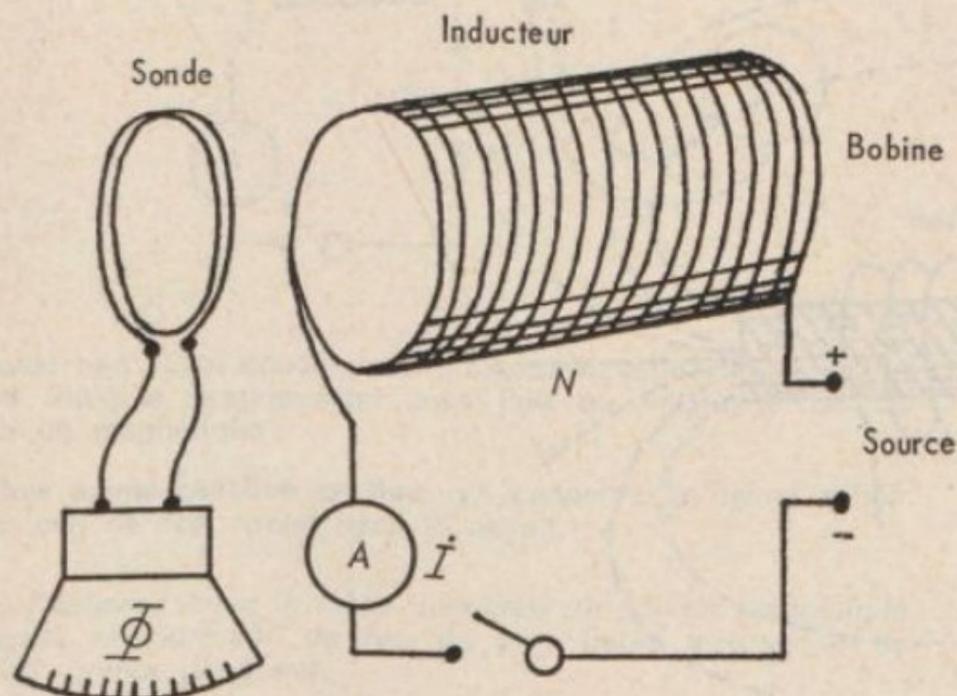
$$\text{le flux } \Phi_1 = \frac{12}{400} = 0,03 \text{ mWb.}$$

Nota : Dans les expériences suivantes, pour comparer les flux, il suffira de comparer les déviations du fluxmètre obtenues avec une bobine sonde de référence.

II. — AMPÈRES-TOURS D'UN INDUCTEUR

1° Utilisons un inducteur bobine de 600 spires.

Nous réglons le courant (appelé courant d'excitation), à 2 A. Plaçons la bobine sonde du fluxmètre en face de cet inducteur.



A l'établissement et à la coupure du courant d'excitation, nous notons des déviations du fluxmètre d'environ 8 divisions.

Pour un courant d'excitation de 4 A, nous obtenons au fluxmètre des déviations d'environ 16 divisions.

1^{re} conclusion : le flux émis par l'inducteur est proportionnel au courant d'excitation I .

2° Utilisons un inducteur de mêmes dimensions, mais présentant 1 200 spires.

Reprenons les expériences précédentes :

— pour un courant d'excitation de 2 A, les déviations du fluxmètre sont d'environ 16 divisions ;

— pour un courant d'excitation de 4 A, les déviations du fluxmètre sont d'environ 32 divisions.

2^e conclusion : le flux émis par un inducteur est proportionnel au nombre N de ses spires.

3° En comparant les résultats précédents :

1^{er} inducteur : $600 \text{ spires} \times 2 \text{ A} = 1\,200 \text{ ampères-tours (At)}$, déviation du fluxmètre : 8 divisions.

$600 \text{ spires} \times 4 \text{ A} = 2\,400 \text{ At}$, déviation du fluxmètre : 16 divisions.

2^e inducteur : $1\,200 \text{ spires} \times 2 \text{ A} = 2\,400 \text{ At}$, au fluxmètre : 16 divisions.

$1\,200 \text{ spires} \times 4 \text{ A} = 4\,800 \text{ At}$, au fluxmètre : 32 divisions. Le produit $N \times I$ exprimé en ampères-tours caractérise l'inducteur.

Le nombre NI exprime la **force magnétomotrice** F d'un inducteur, **cause électrique** du flux magnétique qu'il émet.

Nous pouvons comparer la force magnétomotrice d'un inducteur qui émet un flux Φ dans l'espace, à la force électromotrice d'une source électrique qui crée un courant I dans un circuit électrique.

Cette comparaison n'est qu'une image car le flux Φ n'est pas mobile, il traverse l'espace et divers matériaux comme une route traverse une ville (sans déplacement).

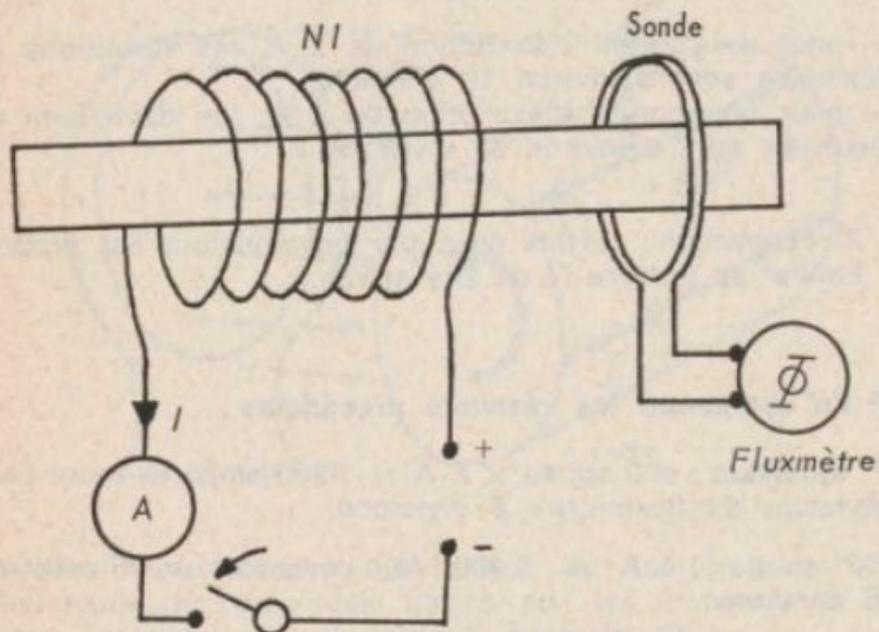
III. — CORPS FERROMAGNETIQUES

Pour un faible courant d'excitation mesurons :

a) le flux Φ_1 émis à travers la sonde du fluxmètre par un inducteur ; nous constatons une faible déviation de l'appareil (quelques divisions) ;

b) le flux Φ_2 émis dans un barreau de fer doux placé dans l'inducteur, nous notons une grande déviation au fluxmètre (environ 40 divisions).

Le flux mesuré dépend donc non seulement de l'inducteur mais aussi du **matériau** qu'il traverse : nous dirons que le fer doux est plus **perméable** que l'air au passage du flux magnétique.



IV. — CIRCUIT MAGNÉTIQUE

a) Les expériences de spectres magnétiques avec de la limaille de fer montrent que le flux traverse divers matériaux et l'espace.

— Emis par l'inducteur, le flux referme son trajet sur l'inducteur.

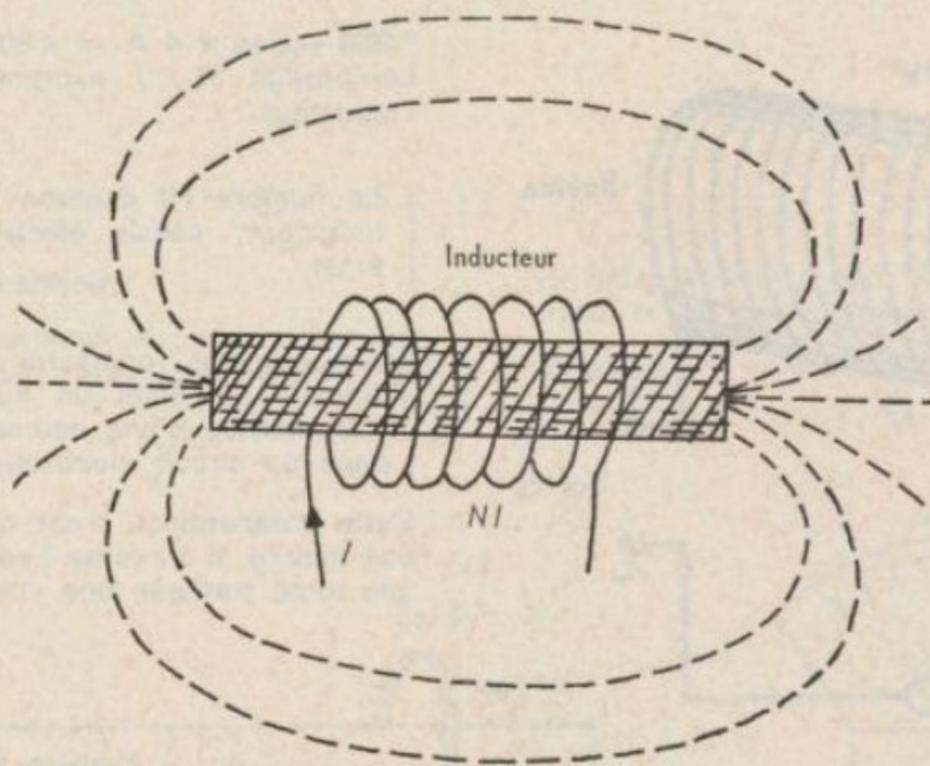
Dans l'espace le flux s'élargit, son trajet est mal défini.

b) Pour un courant d'excitation constant, mesurons le flux émis par un inducteur, dans un barreau de fer, nous trouvons au fluxmètre une déviation de 40 divisions.

Augmentons la section du trajet du flux dans le fer en ajoutant un second barreau, nous mesurons une déviation de 70 divisions.

— Pour obtenir un flux important, il y a donc intérêt à augmenter la section du noyau ferromagnétique.

c) Un noyau de fer doux, de section maximale est placé



Nous pouvons aussi constater que le noyau de fer doux s'aimante au passage du courant dans l'inducteur.

Les matériaux qui présentent, à divers degrés, ces propriétés du fer, sont appelés corps **ferromagnétiques**, par exemple les fosites et les aciers.

L'air, le cuivre, l'aluminium, le bois ne sont pas ferromagnétiques.

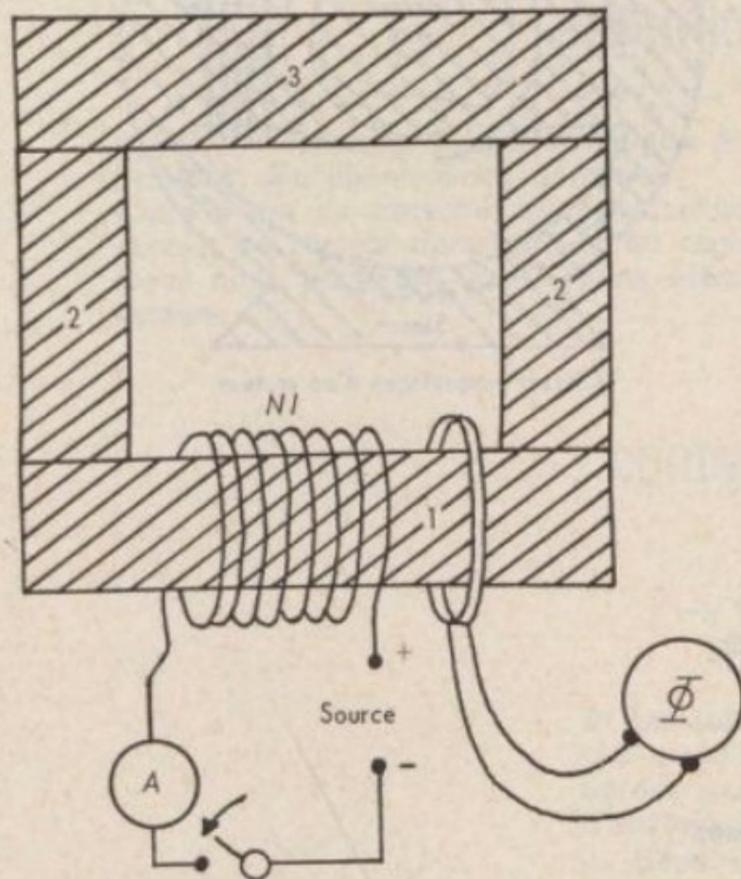
dans l'inducteur qui est alimenté par un courant d'excitation constant.

Une sonde de fluxmètre est placée sur le noyau ; nous effectuons une mesure du flux Φ correspondant à environ 20 divisions du fluxmètre.

En réalisant progressivement avec des pièces de fer doux un « **circuit magnétique** » fermé, nous constatons que le

flux augmente dans le noyau, sa mesure passe de 40 à 70 divisions.

A chaque opération nous avons réduit le trajet dans l'air du flux magnétique, nous lui avons fourni un chemin plus perméable que l'air.



Avec une autre sonde nous pouvons constater que le flux ne traverse pratiquement plus l'air au voisinage de ce circuit magnétique :

nous avons canalisé ce flux, qui conserve la même valeur le long de son circuit dans le noyau.

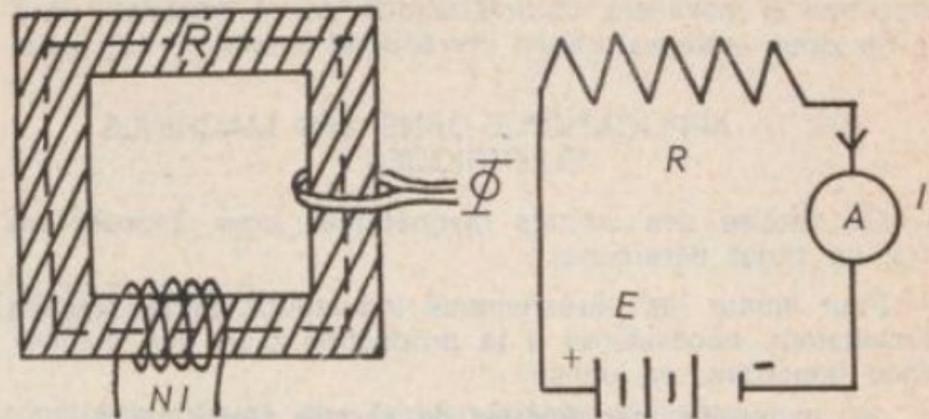
d) Réalisons avec le même inducteur un circuit magnétique fermé en barreaux de fer, de plus faible section et de plus grande longueur.

Pour un même courant d'excitation nous trouvons un flux moins grand que dans le cas précédent (environ 25 divisions au lieu de 70).

Les conditions géométriques du circuit magnétique interviennent donc dans la valeur du flux émis par l'inducteur.

Conséquence : la comparaison d'un circuit magnétique à un circuit électrique permet d'établir une loi du flux magnétique analogue à la loi d'Ohm ($I = \frac{E}{R}$).

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



Nous écrirons dans ce cas $\Phi = \frac{F}{R}$ expression dans laquelle Φ représente la mesure du flux, $F = NI$ la force magnétomotrice de l'inducteur, R la réluctance du circuit magnétique (caractérisé par sa nature et ses conditions géométriques).

Remarques : La notion de perméabilité en magnétisme correspond à celle de conductibilité en électricité.

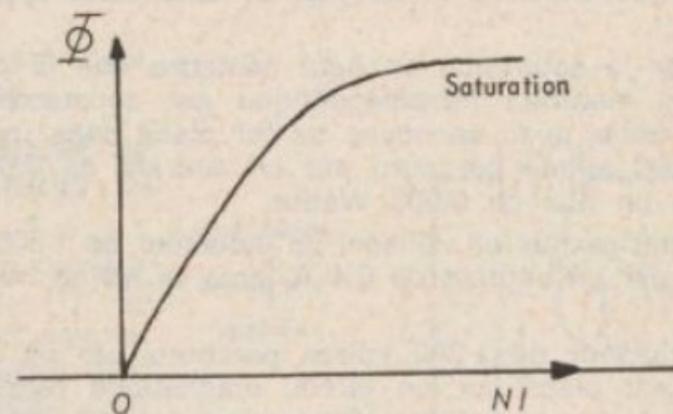
La réluctance d'un circuit magnétique correspond à la résistance d'un circuit électrique.

e) Avec un circuit magnétique de faible section et de grande longueur, nous pouvons déceler avec une sonde des fuites de flux au voisinage du noyau, surtout dans les angles.

V. — REMANENCE - SATURATION

1° Rémanence. En remplaçant le barreau de fer doux par un barreau d'acier placé dans l'inducteur, l'aimantation persiste après disparition du courant d'excitation.

Cette propriété est utilisée pour la réalisation des aimants permanents en acier ou en alliages spéciaux.



2° Saturation. Pour tout noyau ferromagnétique, à partir d'un certain nombre d'ampères-tours de l'inducteur le flux n'augmente pratiquement plus dans le noyau avec l'accroissement de ces ampères-tours.

On dit que le métal est saturé, ce qui correspond à une induction B maximale, caractéristique de ce matériau, pour le fer doux cette saturation correspond à environ 1,5 tesla.

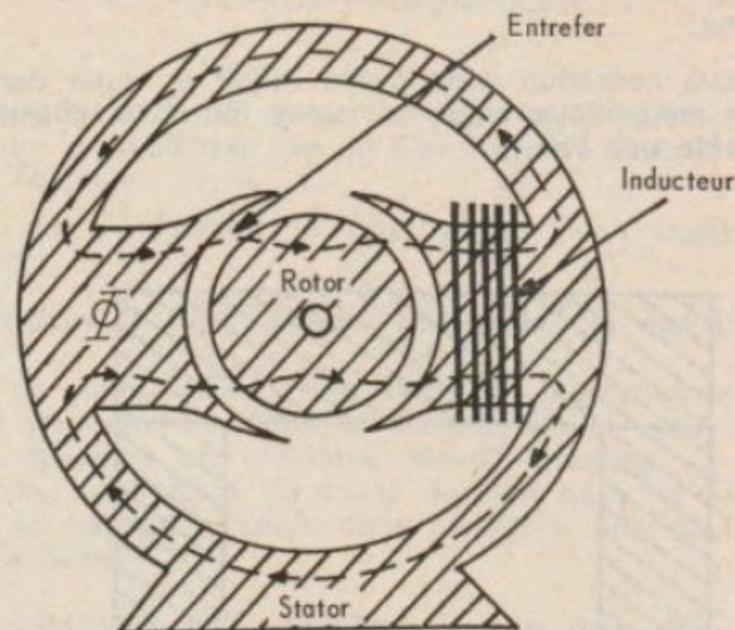
VI. — APPLICATIONS DANS LES MACHINES ELECTRIQUES

— On réalise des circuits magnétiques pour imposer au flux un trajet déterminé.

— Pour limiter les enroulements inducteurs, et le courant d'excitation, nécessaires à la production d'un flux magnétique important, on utilise :

- des matériaux magnétiques de grande perméabilité,
- et un circuit magnétique de faible longueur et de grande section.

Pour permettre la mobilité des pièces, telles que le rotor, le circuit magnétique en acier doux présente des coupures appelées **entrefers**, où le flux traverse l'air. Ces entrefers, moins perméables que le matériau ferromagnétique, sont en général restreints, pour limiter le nombre d'ampères-tours de l'inducteur.



Circuit magnétique d'un moteur

questionnaire

Questions

1° En face d'un inducteur, perpendiculairement à la direction de l'induction magnétique B , on approche une bobine sonde de 100 spires, chacune a une surface de 10 cm^2 . Cette sonde est reliée au fluxmètre qui dévie alors de 50 divisions (valeur d'une division 0,2 milliweber).

Calculer le flux qui traverse chaque spire de la sonde et la valeur moyenne de l'induction B dans cette région.

2° Loin de la saturation on peut admettre que la perméabilité d'un matériau ferromagnétique est constante. Dans ces conditions, avec un noyau de fer placé dans un inducteur de 600 spires parcouru par un courant de 0,5 A, on a mesuré un flux de 0,005 Weber.

Que devient ce flux en utilisant un inducteur de 1 500 spires parcouru par un courant de 0,4 A, pour le même noyau ?

3° Un inducteur de 1 200 spires parcouru par un courant de 1 A, est placé sur un circuit magnétique fermé dans lequel on a mesuré un flux d'induction de 0,01 Wb. Déterminer la réluctance de ce circuit magnétique.

Réponses

Flux total à travers la sonde : $50 \times 0,2 = 10 \text{ mWb}$.

Flux à travers une spire : $\frac{10}{100} = 0,1 \text{ mWb}$.

Induction $B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,1 \text{ mWb}}{0,001 \text{ m}^2} = 100 \text{ mWb/m}^2 = 0,1 \text{ Wb/m}^2$ ou 0,1 tesla.

Pour le 1^{er} inducteur : $N_1 I_1 = 600 \times 0,5 = 300 \text{ At}$

Pour le 2^e inducteur : $N_2 I_2 = 1 500 \times 0,4 = 600 \text{ At}$

$\Phi_1 = 0,005 \text{ Wb}$

$\Phi_2 = 0,005 \times \frac{N_2 I_2}{N_1 I_1} = 0,01 \text{ Wb}$.

$$\Phi = \frac{NI}{R} \text{ soit } R = \frac{NI}{\Phi}$$

ici

$$R = \frac{1 200 \times 1}{0,01} = 120 000$$

unités du système international.

condensateurs

intentions pédagogiques

Après les éléments d'électrocinétique et d'électromagnétisme, l'étude des condensateurs complète l'exposé des phénomènes généraux.

Cette étude se rattache plus particulièrement à l'électrostatique et les applications interviennent surtout en régime transitoire et en régime alternatif.

Nous nous limiterons aux notions élémentaires justifiant les applications courantes des condensateurs.

contenu de l'émission

I. — CHARGE ET DECHARGE D'UN CONDENSATEUR

1° Un condensateur industriel est branché pendant un temps très court aux bornes d'une source de tension continue d'environ 200 volts.

— Séparé de la source, en réunissant les bornes du condensateur par un conducteur, nous obtenons une vive étincelle accompagnée d'un bref claquement.

Dans un premier temps nous avons chargé le condensateur qui a emmagasiné une quantité d'électricité, dans le second nous l'avons déchargé et il a restitué cette charge.

Il faut recharger le condensateur pour obtenir une nouvelle décharge.

2° Etudions à l'aide d'un appareil de mesure la charge et la décharge du condensateur.

Avec le montage ci-contre, le commutateur (K) étant en position (1), le condensateur se charge sur la source, nous obtenons une brève déviation dont l'amplitude mesure Q coulombs. Le commutateur en fonction (2), le condensateur se décharge sur une résistance R il restitue la charge Q ; la déviation de l'appareil s'effectue en sens inverse, et présente même amplitude.

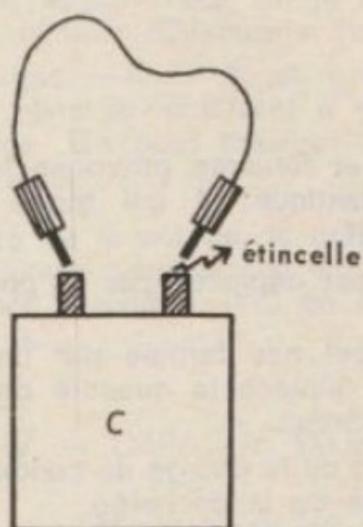


FIG. 1

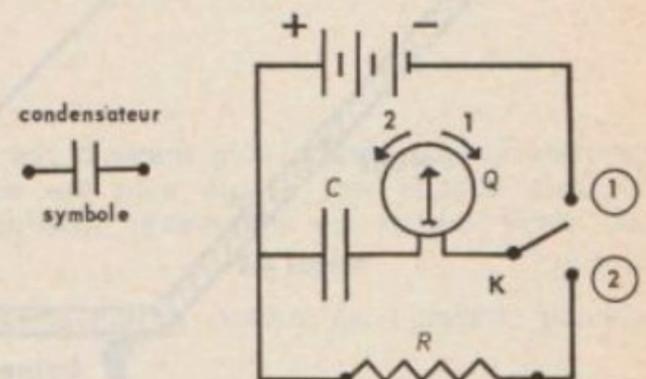


FIG. 2

II. — CONSTITUTION D'UN CONDENSATEUR

1° Ouvrons un condensateur, nous y trouvons deux armatures métalliques séparées par un isolant.

Dans celui-ci nous trouvons deux feuilles très minces d'aluminium isolées par du papier paraffiné.

Ces feuilles sont enroulées très serrées et souvent noyées dans un isolant, bitume, paraffine ou huile.

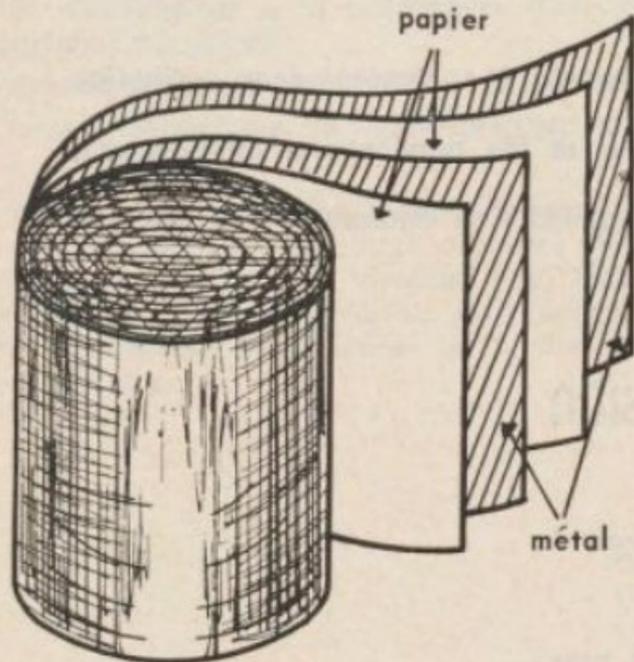
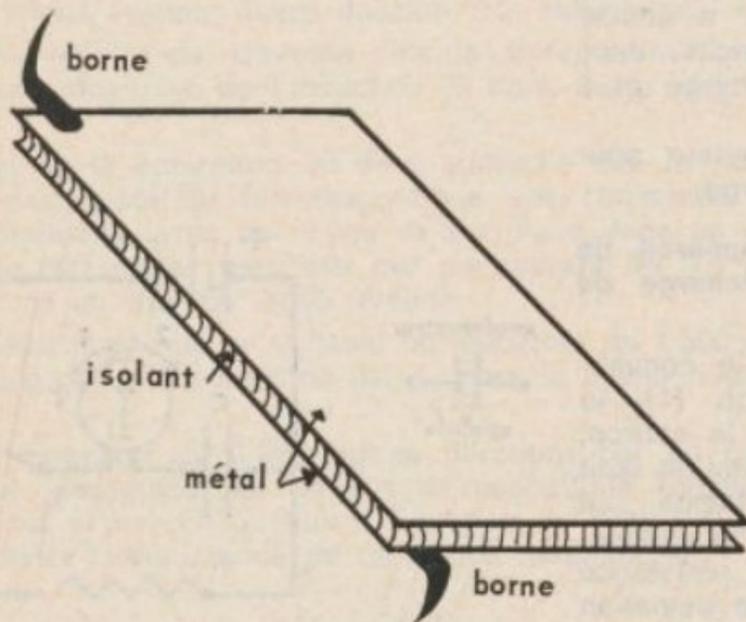


FIG. 3

2° S'il en est ainsi, nous pouvons réaliser un condensateur à l'aide de deux plaques de laiton séparées par une feuille d'isolant plastique.



Avec un appareil de mesure très sensible nous pouvons déceler la charge et la décharge de ce condensateur, (nous utilisons une source de tension élevée, environ 400 V).

III. — INTERPRETATION

1° Nous pouvons imaginer un dispositif hydraulique qui présente une grande analogie de fonctionnement avec un condensateur.

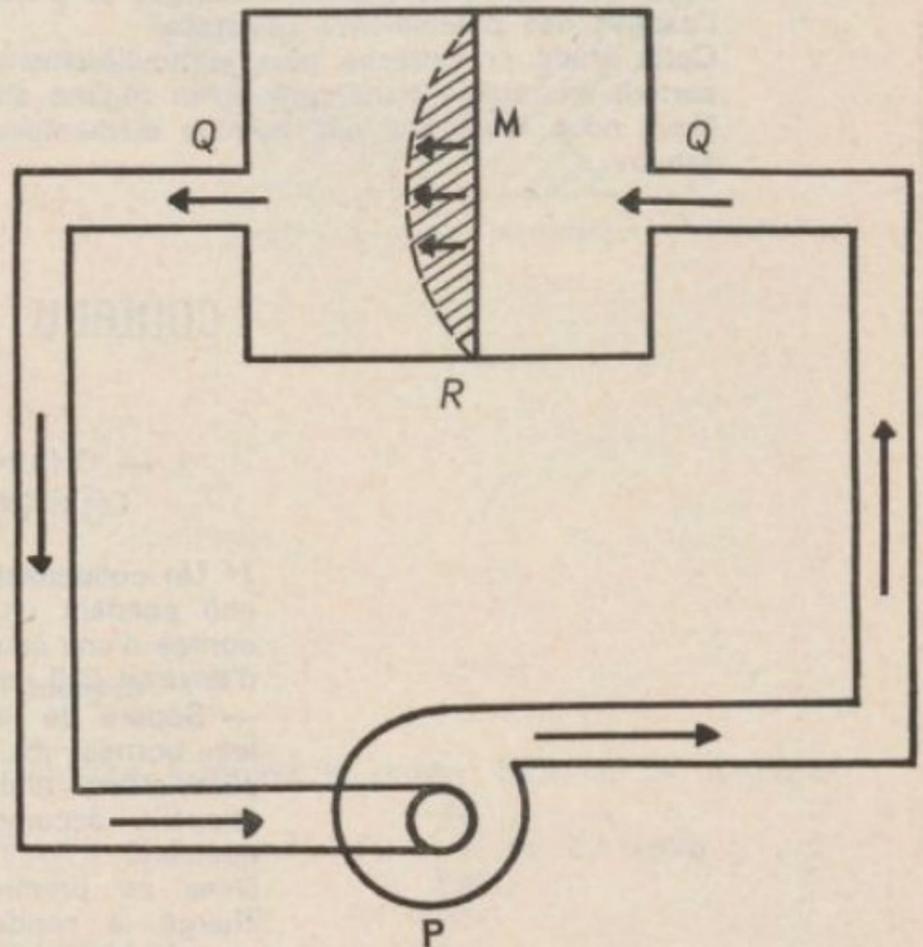


FIG. 4

a) Une pompe P aspirante et foulante provoque la déformation d'une membrane élastique M qui forme cloison étanche dans un récipient R .

Une quantité Q de liquide est déplacée par la pompe.

b) La pompe s'arrête et n'est pas fermée par un clapet, l'élasticité de la membrane déplace la quantité de liquide Q en sens inverse dans le circuit.

Le phénomène (a) est l'image de la charge du condensateur, le phénomène (b) est l'image de la décharge.

En aucun cas le liquide n'a traversé la membrane étanche qui joue le rôle d'isolant.

2° Interprétation électronique.

Avant la charge, les deux armatures A et B sont électriquement neutres ainsi que l'isolant.

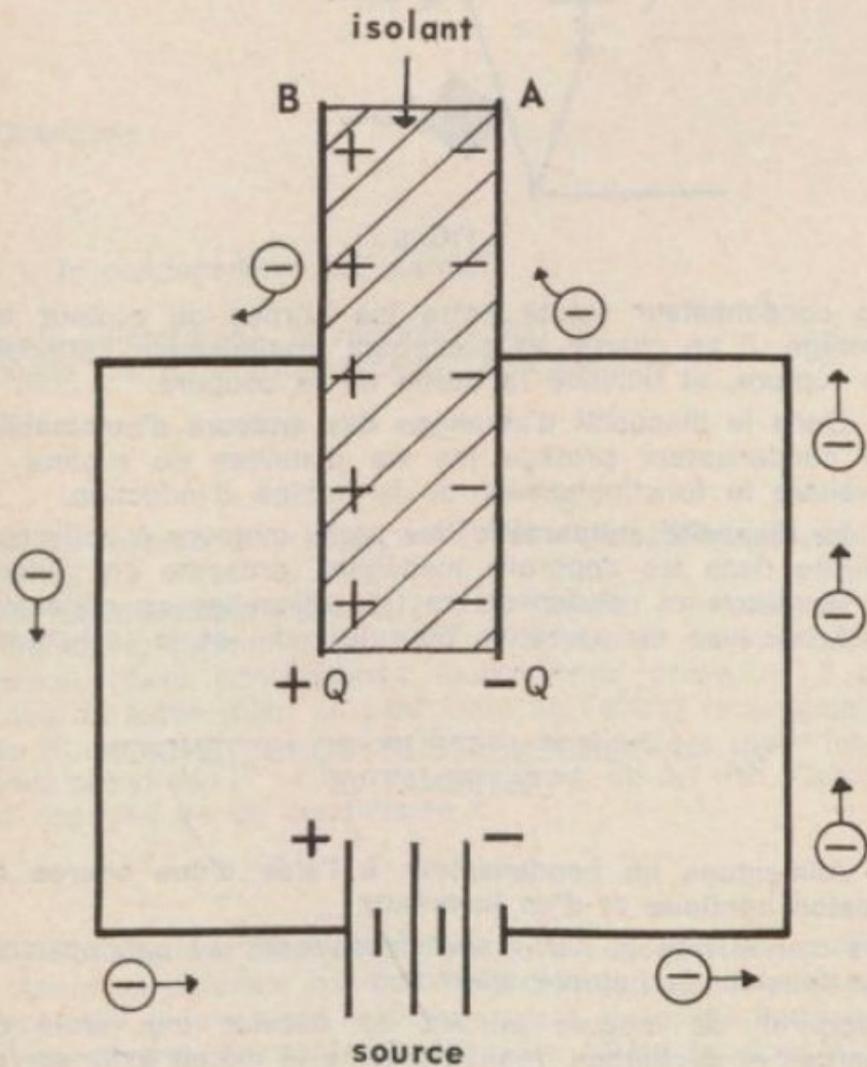


FIG. 5

a) La source refoule des électrons par sa borne négative vers l'armature A, et attire des électrons de B par la borne positive.

A devient négative par excès d'électrons, B devient positive par manque d'électrons.

Ces charges $-Q$ en A, et $+Q$ en B, s'attirent à travers l'isolant, elles se localisent à sa surface; le condensateur est chargé. On peut mesurer une différence de potentiel entre A et B.

b) Séparé de la source, le condensateur est déchargé par un conducteur réunissant les armatures A et B: les électrons constituant la charge $-Q$ en A vont neutraliser la charge $+Q$ en B.

IV. — CAPACITÉ D'UN CONDENSATEUR

1° Reprenons l'expérience du début (schéma 2) dans laquelle nous avons mesuré la charge Q d'un condensateur, en utilisant une source de tension réglable.

Pour une tension double ou triple, nous obtenons respectivement une charge double ou triple.

La charge d'un condensateur est proportionnelle à la tension U utilisée.

2° Utilisons maintenant divers condensateurs chargés avec la même tension, nous mesurons des charges Q différentes. La charge d'un condensateur, pour une tension donnée, dépend du condensateur employé.

Conclusion: nous écrivons: $Q = C \times U$.

Le terme C caractérise le condensateur, on l'appelle **capacité du condensateur**.

Dans cette relation la charge Q est mesurée en coulombs, la capacité C en farads, la tension U en volts.

Le farad est une unité trop grande pour les condensateurs usuels, on utilise des sous-multiples.

Le microfarad μF (millionième de farad): 10^{-6} F,

le nanofarad nF (millième de μF) = 10^{-9} F,

le picofarad pF (millième de nF) = 10^{-12} F.

Exemple: condensateur de $10 \mu F$, chargé sous la tension 200 volts, prend une charge $Q = 2000 \mu C$ (microcoulombs).

3° Reprenons le condensateur réalisé avec des plaques métalliques.

Avec une source de tension constante U , la charge mesurée par la déviation de l'appareil est proportionnelle à la capacité du condensateur.

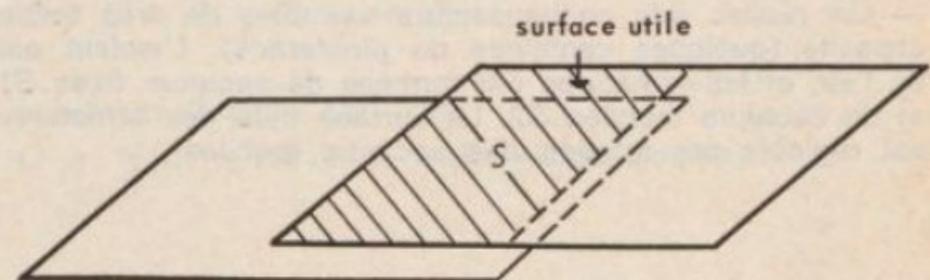


FIG. 6

Nous montrons:

a) que la capacité est d'autant plus grande que la surface utile des armatures est plus élevée (on appelle surface utile la section qu'elles présentent en regard l'une de l'autre).

b) la capacité dépend de la nature de l'isolant, papier, matière plastique...

c) la capacité est d'autant plus grande que l'isolant est plus mince.

V. — TECHNOLOGIE

Ces propriétés sont mises en application dans la construction des condensateurs.

— On réalise de grandes surfaces sous un faible volume, par enroulement serré d'armatures et d'isolants en feuilles.

— L'isolant est en général très mince, ce qui limite la **tension de service**, à cause du risque de claquage de cet isolant.

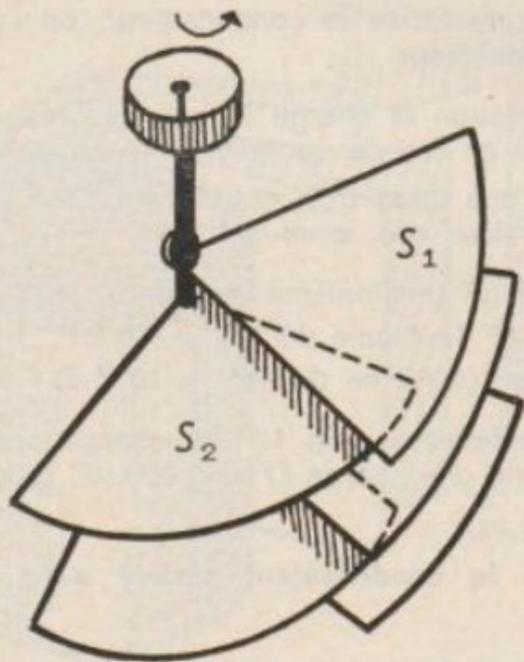


FIG. 7

— On réalise des condensateurs variables de très faible capacité (quelques centaines de picofarads). L'isolant est de l'air, et les armatures ont formées de secteurs fixes S_1 et de secteurs mobiles S_2 . La surface utile des armatures est réglable par rotation des secteurs mobiles.

VI. — EMPLOI DES CONDENSATEURS SOUS TENSION CONTINUE

— Les « flash » employés en photographie réalisent des éclairs très lumineux et très brefs.

Ils utilisent la brusque décharge d'un condensateur :

- soit dans une lampe qui est détruite par cette décharge,
- soit dans un tube à gaz à usage permanent.

Nous avons signalé (leçon 14) les effets nocifs de l'auto-induction sur les pièces de rupteur au moment de la coupure du courant dans un circuit inductif.

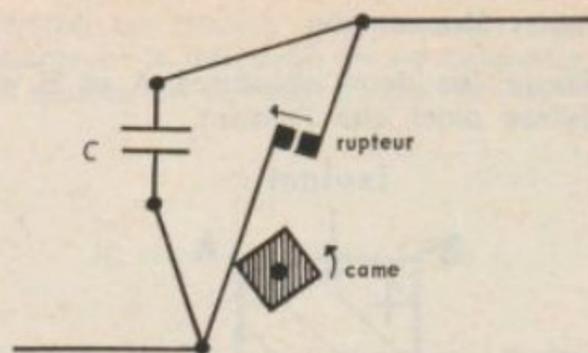


FIG. 8

Un condensateur monté entre les bornes du rupteur les protège. Il se charge en absorbant pratiquement l'étincelle de rupture, et diminue la durée de la coupure.

— Dans le dispositif d'allumage des moteurs d'automobile, un condensateur protège les vis platinées du rupteur et améliore le fonctionnement de la bobine d'induction.

— Le dispositif antiparasite des petits moteurs à collecteur utilisés dans les appareils ménagers, présente en général un ou plusieurs condensateurs (les étincelles au collecteur sont la cause de parasites pour la radio et la télévision).

VII. — CONDENSATEUR SOUS TENSION ALTERNATIVE

— Alimentons un condensateur à l'aide d'une source de tension continue et d'un inverseur.

Les manœuvres de l'inverseur fournissent au condensateur une tension de polarité alternative.

L'appareil de mesure permet de déceler une série de charges et décharges, réalisant, dans le circuit extérieur au condensateur, un courant alternatif.

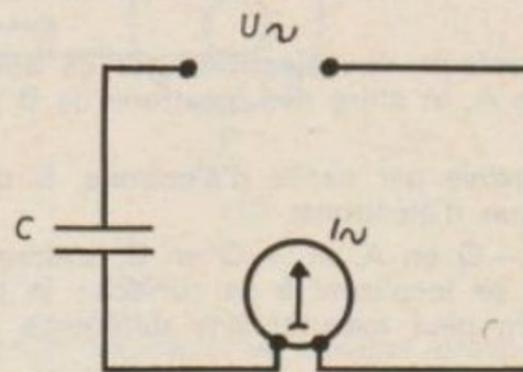


FIG. 9

— Si nous alimentons un condensateur à l'aide d'un réseau alternatif, un ampèremètre indique sur le circuit un courant alternatif permanent.

Tout se passe pour le circuit extérieur comme si le condensateur « laissait passer » le courant alternatif, alors qu'il bloquait le courant continu (sauf pendant les périodes transitoires de charge ou de décharge).

— L'étude du condensateur sous tension alternative sera développée dans une leçon ultérieure.

questionnaire

Questions

1 - Un condensateur est marqué :

$4 \mu\text{F}$ (microfarad), U maximale 250 V.
Quelle charge maximale peut-il emmagasiner ?

2 - La relation $C = 8,85 \times 10^{-12} K \frac{S}{e}$ s'applique au calcul des condensateurs plans. (C en farads, K constante de l'isolant, S surface utile en m^2 , e épaisseur de l'isolant en mètre). Notre condensateur expérimental présentait 2 plaques de laiton (bien en face l'une de l'autre) rectangulaires de $20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$. L'isolant feuille de plastique, pour lequel nous prendrons $K = 4$, a une épaisseur de $0,3 \text{ mm}$. Calculer la capacité de ce condensateur.

3 - Pour ajouter des capacités, il faut monter les condensateurs en parallèle (ce qui reviendrait à augmenter la surface utile, s'ils avaient le même isolant, de même épaisseur). Dans ce cas, ils sont chargés à la même tension U . On dispose des condensateurs marqués : $2 \mu\text{F}$, 200 V - $5 \mu\text{F}$, 250 V - $3 \mu\text{F}$, 400 V. On les monte en parallèle, quelle tension maximale pourra-t-on appliquer à l'ensemble ? Quelle sera la capacité du groupe et la charge qu'il prendra sous cette tension ?

Réponses :

$$Q = C \times U.$$

$$Q = 4 \times 10^{-6} \times 250 = 0,001 \text{ coulomb ou } 1 \text{ millicoulomb.}$$

$$C = 8,85 \times 10^{-12} \times 4 \times \frac{0,2 \times 0,15}{0,0003} = 3,5 \times 10^{-9} \text{ F}$$

soit 3,5 nanofarads environ
(soit une capacité environ 3 000 fois plus faible que le condensateur de $10 \mu\text{F}$).

Pour éviter le claquage du premier on ne peut dépasser $U = 200$ volts (ils disposent tous de la même tension).

La capacité du groupe est :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 10 \mu\text{F}.$$

La charge Q sous 200 V est

$$Q = 10 \mu\text{F} \times 200 \text{ V} = 2\,000 \text{ microcoulombs.}$$

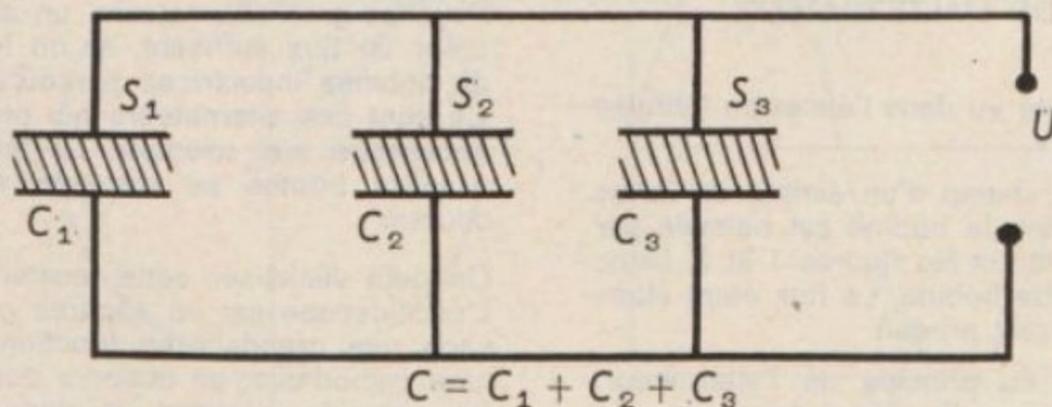


FIG. 10

le courant alternatif

intentions pédagogiques

Après avoir rappelé comment on peut produire le courant alternatif, on étudie le courant fourni par l'E.D.F.

Le but de cette leçon est de dégager les caractéristiques d'un courant alternatif sinusoïdal en partant de cet exemple. En premier lieu on est amené à expliquer pourquoi on l'a appelé courant alternatif sinusoïdal. Ceci implique un retour sur l'étude d'une grandeur sinusoïdale.

En second lieu on tire les conséquences de ce que l'on vient de voir. On déduit la période du phénomène.

Il a paru nécessaire ensuite de préciser les propriétés du courant alternatif, en partant constamment de celles du courant continu.

Cette étude nous amène à étudier successivement :

— l'effet thermique,

— l'effet chimique,
— l'effet électromagnétique.

Et pour que cette étude soit complète, il faut définir les caractéristiques d'un courant alternatif. D'où la notion d'intensité efficace qui se déduit d'une comparaison de l'effet thermique produit par un courant alternatif inconnu et de celui produit par un courant continu, connu, dans la même résistance et pendant le même temps.

Cette notion implique l'idée de tension efficace et on la précise aussitôt.

Le rapport de la valeur efficace et de la valeur maximale d'une grandeur sinusoïdale est donné à ce moment-là. Et pour éviter des erreurs on termine par une mise en garde. Il ne faut jamais appliquer les lois du courant continu aux valeurs efficaces définies en courant alternatif.

Deux exemples simples en apporteront la preuve.

contenu de l'émission

I. — LE PRINCIPE DE L'ALTERNATEUR

Le principe de l'alternateur a été vu dans l'émission intitulée « induction électromagnétique ».

On place une bobine dans le champ d'un aimant en forme de U. Si on fait tourner l'aimant, la bobine est balayée par un flux alternatif comme le montrent les figures 1 et 2. Donc un courant sera induit dans cette bobine. Le flux étant alternatif, il en est de même du courant produit.

Ce dispositif, qui correspond au principe de l'alternateur, se retrouve dans ce que l'on appelle des « dynamos » de bicyclettes. Pour des commodités de réalisation, la bobine est divisée en 2 parties. L'aimant, placé entre ces 2 bobines, tourne lorsque la roue de la bicyclette l'entraîne. Ainsi le cycliste peut s'éclairer la nuit (fig. 2 bis).

Pour les gros alternateurs, un aimant permanent ne pourrait créer un flux suffisant, et on le remplace par un système de bobines inductrices parcourues par un courant continu. Ce sont ces alternateurs qui produisent l'énergie électrique nécessaire aux usagers. La tension alternative qui existe à leurs bornes se retrouve aux bornes des prises de courant.

On peut visualiser cette tension à l'aide d'un oscilloscope. L'oscilloscope est un appareil qui permet de voir comment varie une grandeur en fonction du temps : sur l'écran du tube cathodique, on observe donc la courbe de la figure 3. Pour plus de précision, on place sur cette courbe le système d'axes rectangulaires habituels, et le résultat est représenté sur la figure 4.

Cette courbe s'appelle une sinusoïde.

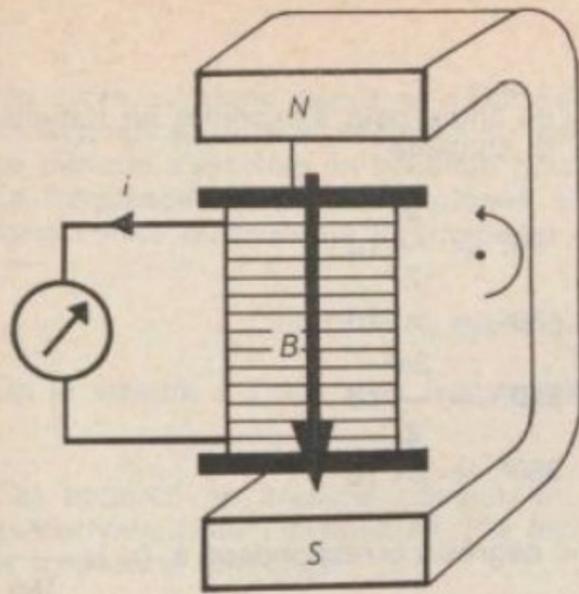


FIG. 1

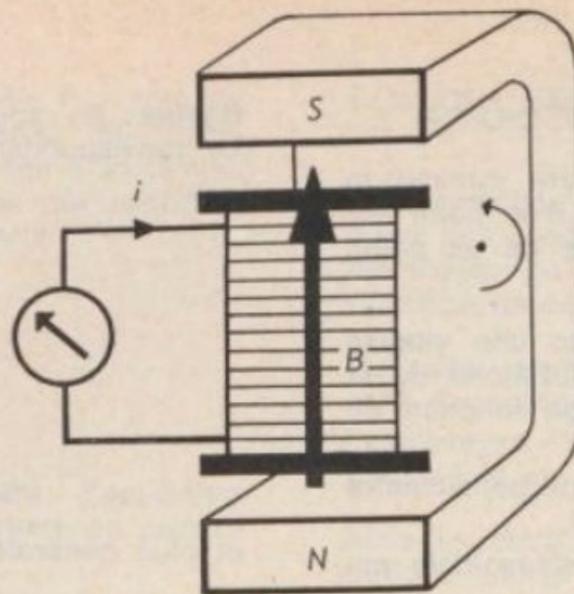
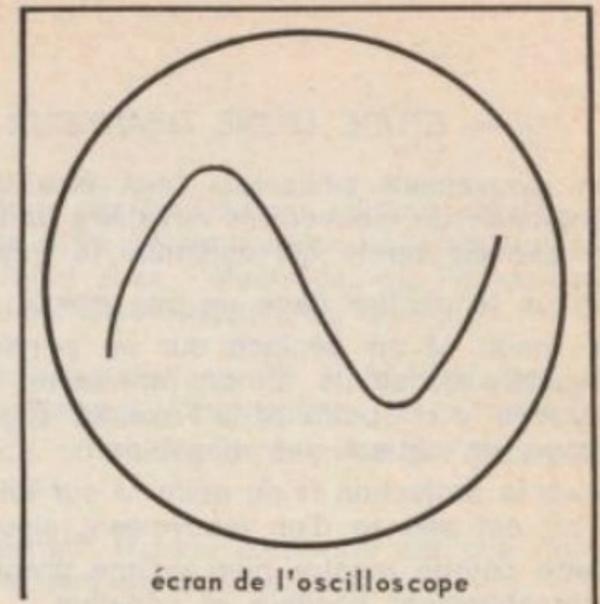


FIG. 2



écran de l'oscilloscope

FIG. 3

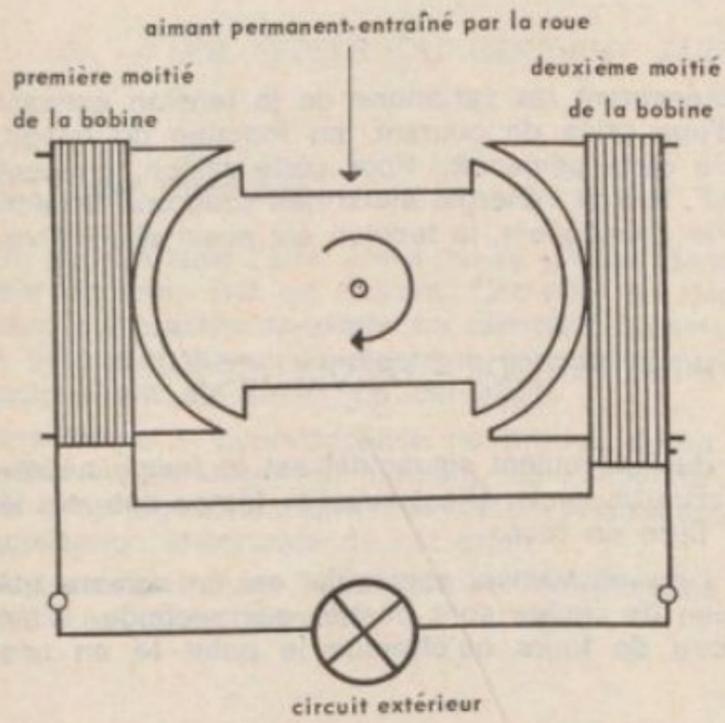


FIG. 2 bis

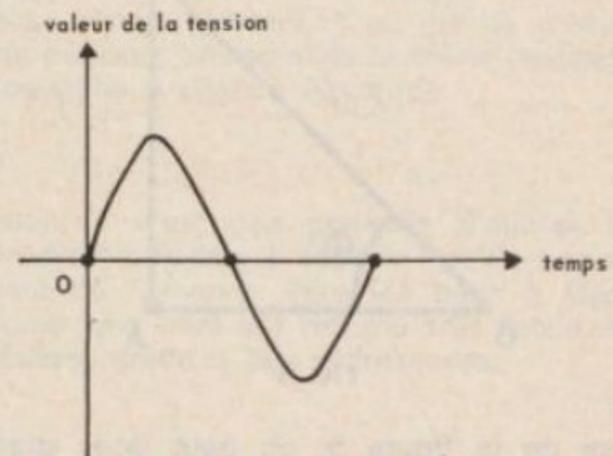
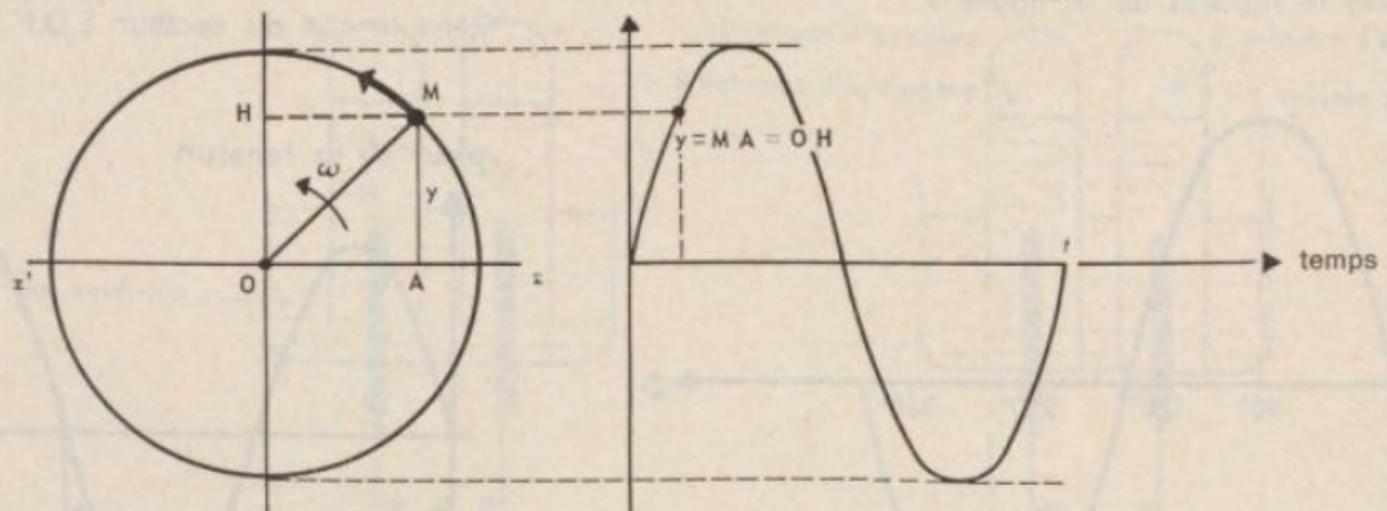


FIG. 4



Le point M est animé d'un mouvement circulaire uniforme

Le point H est animé d'un mouvement sinusoïdal

courbe représentant les variations de y en fonction du temps

FIG. 5

II. — ETUDE D'UNE GRANDEUR SINUSOÏDALE

Un mouvement sinusoïdal peut être considéré comme la projection du mouvement circulaire uniforme d'un point sur un axe du cercle qui constitue la trajectoire de ce point.

On va le vérifier dans un cas simple.

Un point M se déplace sur un cercle avec une vitesse angulaire constante. Si on représente les variations de la distance y du point M à l'axe zz' (fig. 5) en fonction du temps, on obtient une sinusoïde.

Donc la projection H du point M sur un axe perpendiculaire à zz' est animée d'un mouvement sinusoïdal.

Cette courbe montre bien qu'une grandeur sinusoïdale est alternativement positive et négative.

Pour le courant, cela se traduit par un changement du sens du courant.

Remarque : une sinusoïde représente les variations du sinus d'un angle.

Le sinus de l'angle Φ est le rapport $\frac{AM}{OM}$ (fig. 6).

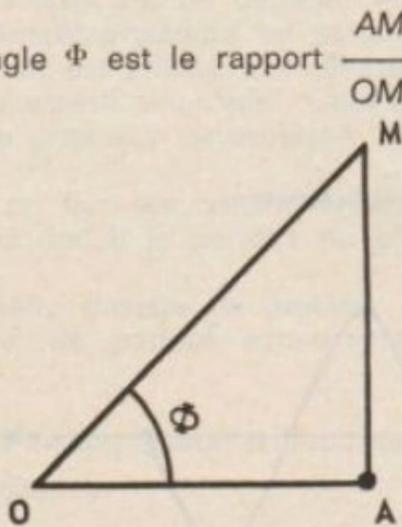


FIG. 6

Dans le cas de la figure 5, on peut donc graduer l'axe des abscisses en angle, au lieu de le graduer en temps. Cela nous donne le résultat de la figure 7.

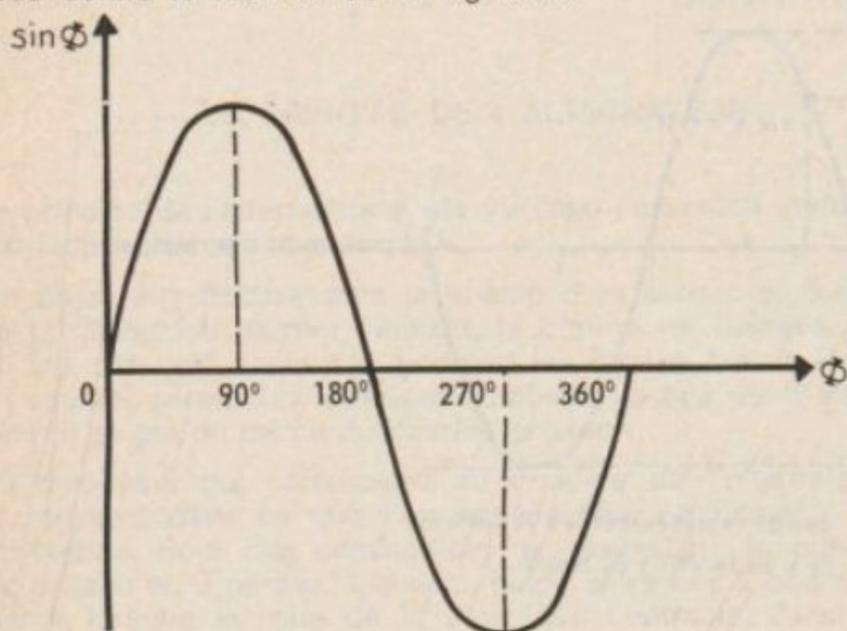


FIG. 7

Rappel : on rappelle qu'un angle peut s'exprimer en radians. La correspondance est la suivante :

$$\begin{aligned} 90^\circ &= \frac{\pi}{2} \text{ rd} \\ 180^\circ &= \pi \text{ rd} \\ 270^\circ &= \frac{3\pi}{2} \text{ rd} \\ 360^\circ &= 2\pi \text{ rd} \end{aligned}$$

et plus généralement x degrés correspondent à $(\pi \times \frac{x}{180})$ radians.

Conclusion :

la courbe représentant les variations de la tension existant aux bornes d'une prise de courant, en fonction du temps, est analogue à cette sinusoïde. Pour cette raison, on peut dire que l'E.D.F. fournit l'énergie électrique sous une tension sinusoïdale. Par conséquent, la tension est aussi alternative.

III. — PERIODE - FREQUENCE

La période T du mouvement sinusoïdal est le temps nécessaire pour décrire un cycle. C'est aussi le temps que met le point M pour faire un tour.

La fréquence f du mouvement sinusoïdal est un nombre qui indique combien de cycles sont décrits par seconde. C'est aussi le nombre de tours qu'effectue le point M en une seconde.

$$\text{Dans le cas du secteur E.D.F. : } \left\{ \begin{aligned} T &= \frac{1}{50} \text{ s} \\ f &= 50 \text{ hertz} \end{aligned} \right.$$

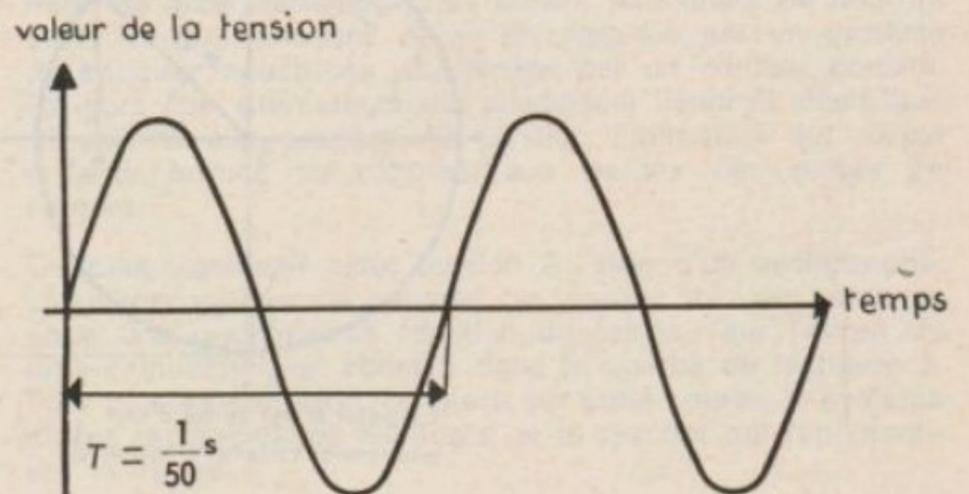


FIG. 7 bis

Un cycle est donc décrit en $1/50^e$ de seconde. Par voie de conséquence, en une seconde on peut observer 50 cycles. La période s'exprime en seconde puisqu'il s'agit d'un temps. La fréquence est parfois exprimée en cycles par seconde, mais l'unité du système international est l'hertz.

$$1 \text{ hertz} = 1 \text{ cycle/seconde}$$

On la mesure à l'aide d'un fréquencesmètre.

Cet appareil se branche comme un voltmètre, c'est-à-dire en dérivation sur l'installation. Par lecture directe on obtient la fréquence cherchée.

IV. — LES EFFETS DU COURANT ALTERNATIF

IV.1. Effet thermique.

On appelle ainsi l'effet Joule qui se produit dans un conducteur parcouru par un courant. Cet effet ne dépend pas du sens du courant et existe en alternatif comme en continu. Il peut s'observer couramment car de nombreuses applications ont été tirées de cet effet.

Une lampe à incandescence ne produit de la lumière que grâce au passage du courant qui chauffe le filament. Le chauffage électrique des locaux représente une autre application importante de cet effet.

La protection d'une installation par des fusibles est possible grâce à l'effet thermique.

IV.2. Effet chimique.

Un électrolyte parcouru par un courant continu se décompose. Les produits de cette décomposition apparaissent aux électrodes ou réagissent avec l'électrode, ou l'électrolyte. C'est ce qu'on appelle l'effet chimique du courant.

Cet effet dépend du sens du courant. Il faut se rappeler qu'à la cathode se dégage l'hydrogène, si on effectue l'électrolyse d'un acide, où se dépose le métal si l'électrolyte est un sel ou une base.

Mais en courant alternatif chaque électrode est une demi-période anode et une demi-période cathode.

Examinons le résultat de l'électrolyse de l'eau par exemple (fig. 8).

Pendant une demi-période on recueille un volume d'oxygène à l'anode et deux volumes d'hydrogène à la cathode.

Pendant la demi-période suivante le rôle des électrodes s'inverse. Aussi au volume d'oxygène précédent, viennent s'ajouter deux volumes d'hydrogène. Par contre aux deux volumes d'hydrogène vient se mélanger un volume d'oxygène. Et pour chaque période il en est de même. Au total pendant une période, on recueille le même mélange d'hydrogène et d'oxygène à chaque électrode.

En conclusion, il n'est pas possible d'utiliser le courant alternatif en électrochimie. Il faut le transformer en courant continu avant de l'envoyer vers les bacs à électrolyse. Il faut remarquer que ceci est devenu très facile et est couramment réalisé, grâce à des redresseurs.

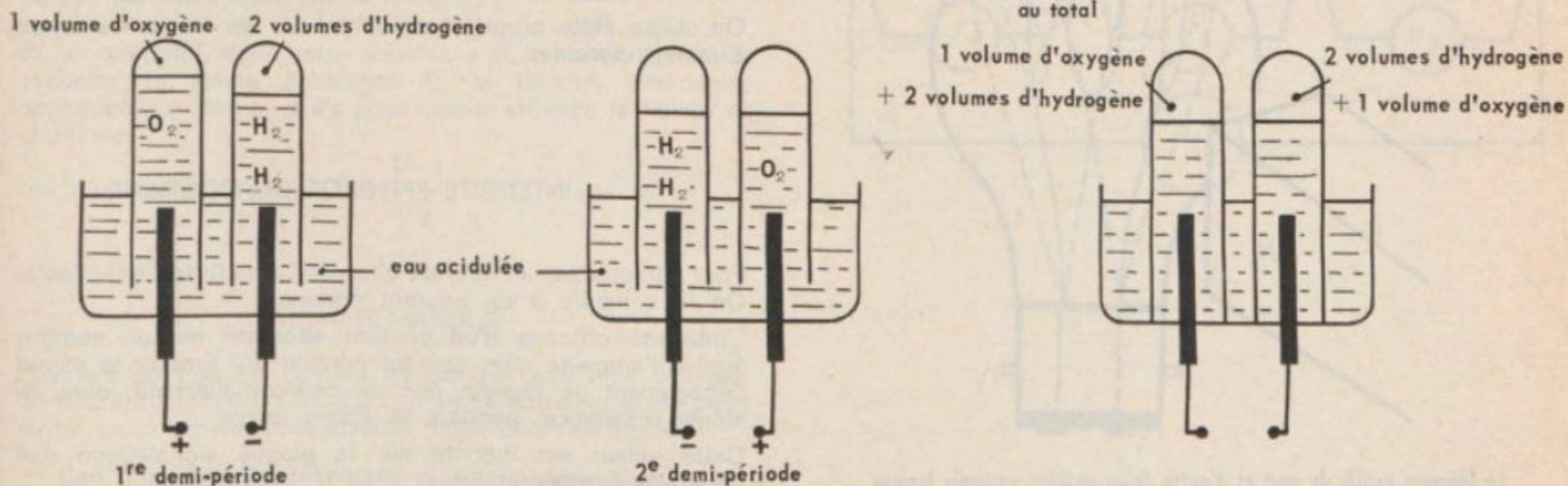


FIG. 8

IV.3. Effet électromagnétique.

— Action d'un champ magnétique permanent sur un conducteur parcouru par un courant alternatif.

Le conducteur que l'on considère est le filament de carbone d'une lampe. On le place dans le champ magnétique créé par un aimant permanent.

D'après la loi de Laplace, une force électromagnétique prend naissance et déforme le filament.

Le sens de cette force dépend du sens du courant comme le montrent les fig. 9a et 9b.

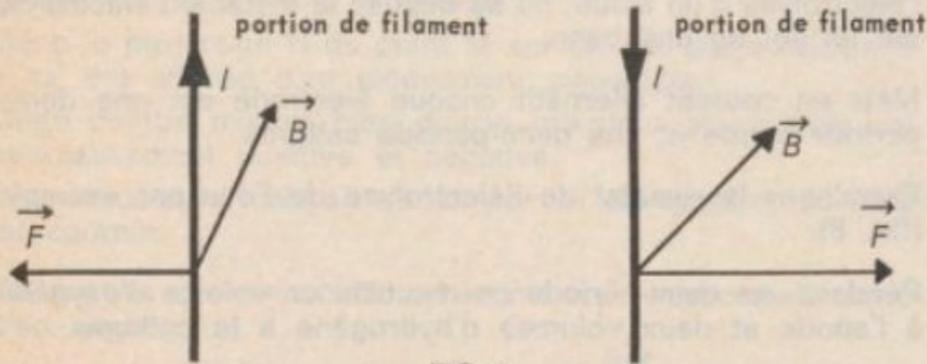


FIG. 9

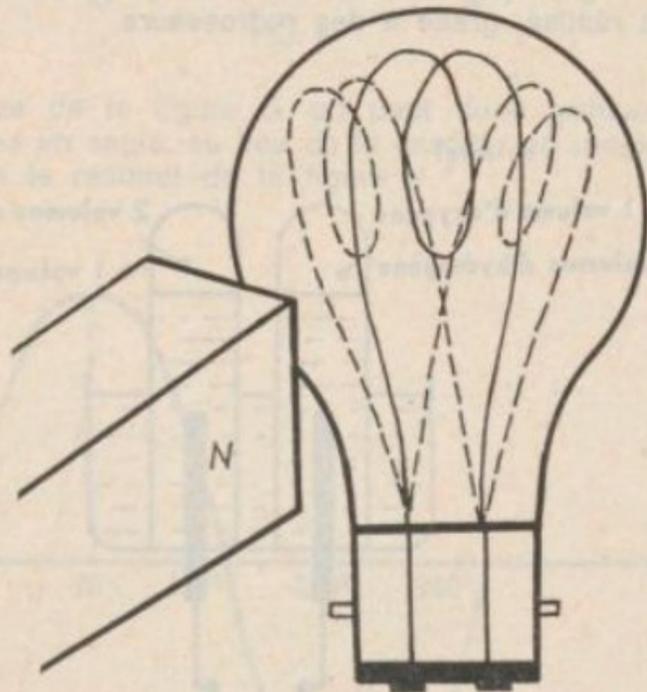
→ B est l'induction créée par l'aimant. Ce vecteur est perpendiculaire à la portion du conducteur.

→ F est la force électromagnétique dont le sens dépend de celui du courant.

On déduit immédiatement que, lorsque le filament est traversé par un courant alternatif, une force électromagnétique alternative s'exerce. Chaque demi-période, le sens de cette force s'inverse.

L'inertie du filament étant faible, il vibre.

La fréquence des oscillations effectuées est évidemment égale à celle du courant, soit 50 hertz (fig. 10).



Le filament oscille de part et d'autre de la position verticale lorsque la lampe est parcourue par un courant alternatif

FIG. 10

— Création d'un champ magnétique alternatif.

Un solénoïde parcouru par un courant alternatif crée un champ magnétique alternatif de même fréquence que le courant. Une aiguille aimantée placée dans ce champ ne dévie pas car son inertie trop grande ne lui permet pas d'osciller à cette fréquence.

Une lame de fer doux, de très faible inertie peut, par contre, osciller (fig. 11).

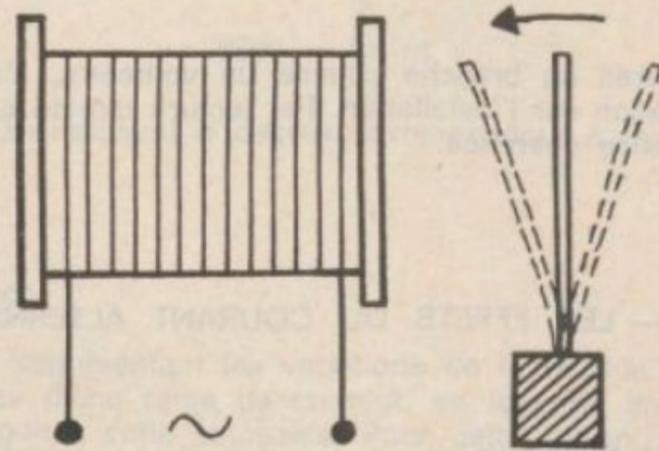


FIG. 11

Dans ce cas, il faut déterminer la fréquence des oscillations de la lame.

Pendant une demi-période la bobine présente, par exemple, un pôle Nord à la lame. Celle-ci s'aimante et est attirée. La force d'attraction augmente avec le courant et diminue avec lui. Elle est nulle en même temps que le courant.

Mais durant la demi-période suivante le pôle présenté par la bobine change, tandis que la force ne change pas de sens. Il y a encore attraction. Il n'en serait pas ainsi si la lame n'était pas en fer doux et restait aimantée. Donc la lame est attirée 100 fois par seconde. Elle oscille à une fréquence de 100 hertz.

On utilise cette propriété pour réaliser les fréquencemètres à lames vibrantes.

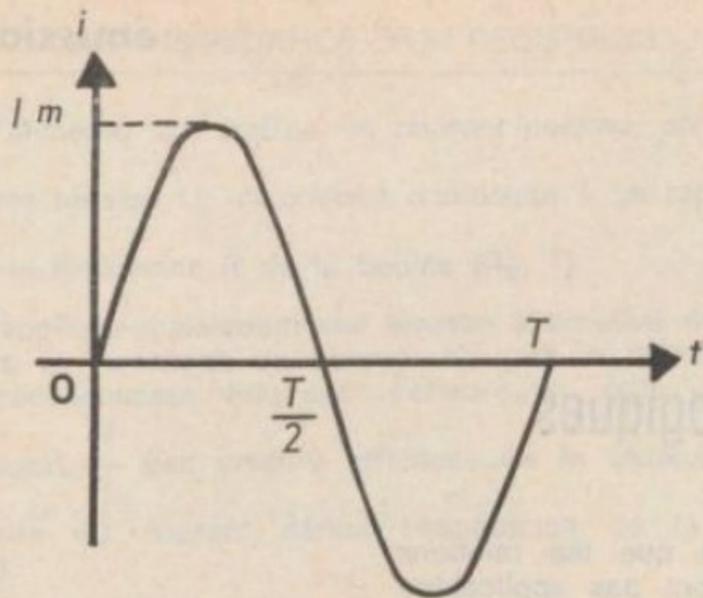
V. — INTENSITE EFFICACE DU COURANT

Pour caractériser un courant alternatif, on utilise l'effet Joule. On le compare à un courant continu.

L'intensité efficace d'un courant alternatif est un nombre égal à l'intensité d'un courant continu qui produit le même dégagement de chaleur que ce courant alternatif, dans la même résistance, pendant le même temps.

Cette valeur est inscrite sur la plaque signalétique des appareils en général.

Relation entre l'intensité maximale du courant et l'intensité efficace :



$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I = 0,707 I_m$$

Mesure de l'intensité efficace.

Les ampèremètres donnent par lecture directe l'intensité efficace du courant.

Il est indiqué sur le cadran de l'appareil si on peut l'utiliser en courant alternatif. Le symbole l'indiquant est le signe : \sim

VI. — TENSION EFFICACE

La tension U existant aux bornes d'une résistance R , parcourue par un courant continu, est liée à la puissance P perdue par effet Joule par la relation : $P = \frac{U^2}{R}$.

Si, en alternatif, dans cette résistance R , on obtient chaque seconde, la même puissance P , la tension alternative appliquée aux bornes aura pour valeur efficace la valeur U ci-dessus.

On a encore la relation $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

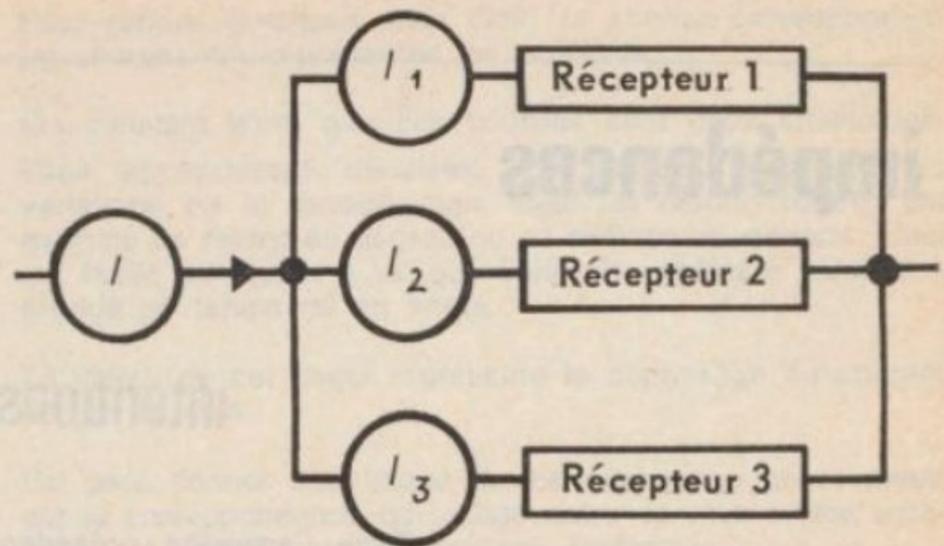
VII. — REMARQUE

Les lois du courant continu ne doivent pas être utilisées en courant alternatif. Afin d'attirer votre attention et de vous éviter de commettre des erreurs, voici deux exemples :

— Cas d'un circuit présentant plusieurs dérivations.

En courant continu on écrit :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



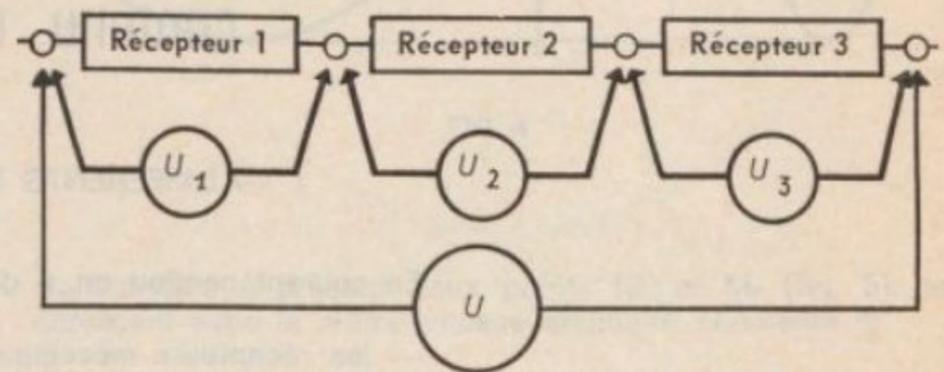
En alternatif ceci est faux : l'intensité efficace du courant dans le circuit principal n'est pas égale à la somme des intensités efficaces des courants dans les circuits dérivés. On peut très bien avoir $I_1 = 1$ A, $I_2 = 10$ A, $I_3 = 9$ A et $I = 2$ A. L'intensité I peut être inférieure numériquement aux intensités : I_1 , I_2 ou I_3 .

— Cas d'un circuit comportant plusieurs récepteurs en série.

En courant continu on écrit : $U = U_1 + U_2 + U_3$.

En courant alternatif ceci est faux en général.

Il faut retenir, en règle générale, qu'on ne doit pas additionner des valeurs efficaces.



impédances

intentions pédagogiques

Dans l'émission précédente, on a vu que les relations établies pour le courant continu ne sont pas applicables aux grandeurs efficaces en courant alternatif.

Il s'agit donc à présent de déterminer les lois à utiliser dans ce cas.

Cela nous conduit à définir 2 grandeurs nouvelles :

- l'impédance d'un récepteur,
- le déphasage du courant sur la tension.

Il est possible de déterminer ensuite les lois applicables à chaque type de récepteurs passifs. On examine donc :

- le circuit résistant,
- le circuit inductif,
- le circuit capacitif.

contenu de l'émission

I. — DIFFERENTS TYPES DE RECEPTEURS

En courant continu on a distingué :

- les récepteurs mécaniques (exemple : un moteur),
- les récepteurs chimiques (exemple : un voltamètre),
- les résistances.

Les deux premiers types présentent une force contre électromotrice quand ils fonctionnent. On les appelle récepteurs actifs.

Par opposition, les résistances sont appelées des récepteurs passifs. En courant alternatif, cette classification est valable, mais dans les récepteurs passifs on place à côté des résistances, les inductances et les condensateurs.

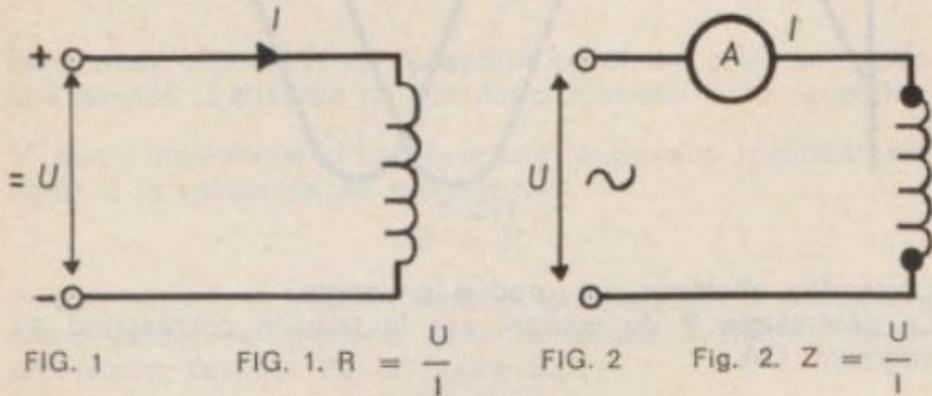
Les récepteurs passifs seulement constituent l'objet de cette émission.

II. — IMPEDANCE D'UN RECEPTEUR

Si on alimente une bobine en courant continu, on mesure pour une tension U , un courant d'intensité I . Le rapport $\frac{U}{I}$ définit la résistance R de la bobine (fig. 1).

Si on applique maintenant une tension alternative de valeur efficace U , l'intensité du courant n'a pas la même valeur que précédemment. Elle est inférieure en règle générale.

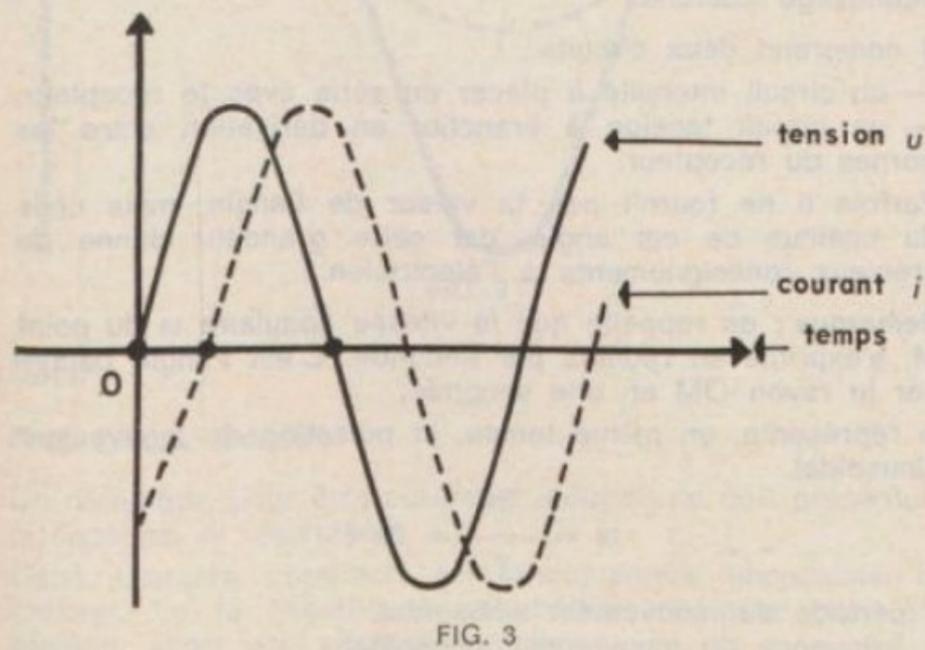
Le rapport $\frac{U}{I}$ des valeurs efficaces de la tension et de l'intensité du courant définit l'impédance de la bobine (fig. 2).



Ce nombre est constant pour un récepteur donné et une fréquence donnée. Il s'exprime en ohms, comme une résistance puisqu'il s'agit d'un rapport volt sur ampère.

III. — DEPHASAGE DU COURANT SUR LA TENSION

En utilisant un oscilloscope, on peut visualiser en même temps la tension U et l'intensité i du courant. Sur l'écran apparaissent les 2 courbes suivantes (fig. 3) :



Pour rendre le dessin plus clair, la courbe correspondant au courant est représentée en pointillés.

On constate alors que ces courbes sont deux sinusoïdes. Elles apparaissent décalées. Le courant reproduit les variations de la tension mais avec un certain retard. On exprime ce retard en degrés ou en radians en général. Ceci est facile puisqu'on a vu que l'axe des abscisses peut être gradué en temps ou en angle.

La valeur de cet angle représente le déphasage du courant sur la tension.

On peut donner une image de ce déphasage en revenant sur la correspondance qui existe entre un mouvement sinusoïdal et un mouvement circulaire, uniforme.

On sait que lorsqu'un point M décrit un cercle, d'un mouvement uniforme, la distance MH de ce point à un axe quelconque varie sinusoïdalement (fig. 4) dans le temps.

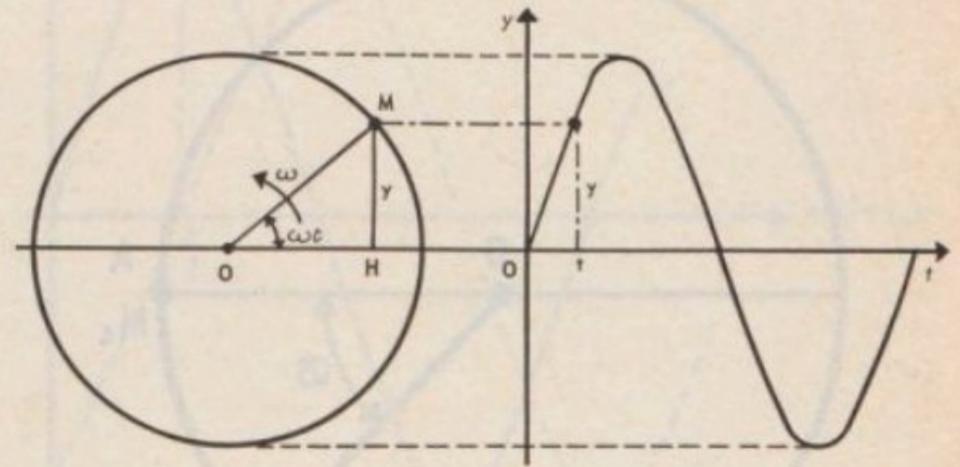


FIG. 4

Considérons à présent deux points M_1 et M_2 (fig. 5), se déplaçant avec la même vitesse angulaire constante ω .

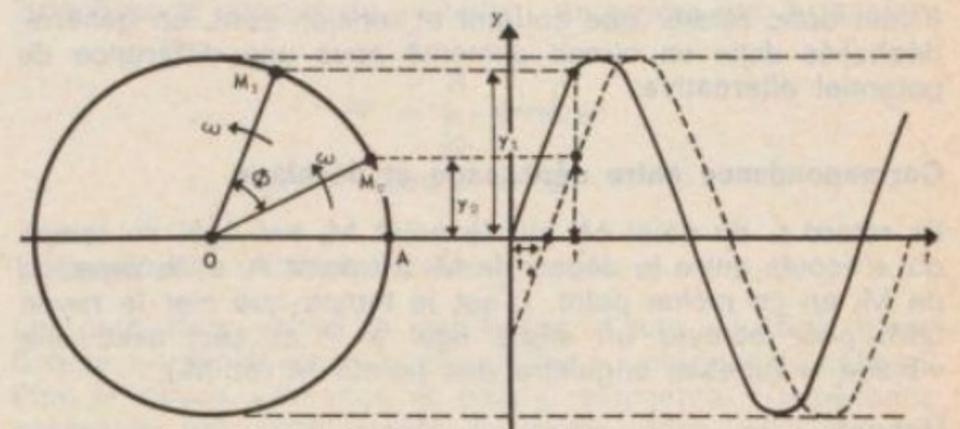


FIG. 5

Les deux rayons OM_1 et OM_2 font entre eux un angle Φ . Les variations de la distance y_1 sont représentées par la sinusoïde tracée en traits pleins.

Celles de la distance y_2 sont représentées par la sinusoïde en pointillés.

Le point M_2 reproduit le mouvement du point M_1 mais avec un certain retard. Il passe, par exemple, au point A, t_0 secondes après lui. t_0 représente le retard du mouvement de M_2 sur celui de M_1 . On dit aussi que le décalage arrière s'élève à t_0 secondes.

Mais ce retard peut être évalué d'une autre façon.

L'angle des rayons OM_1 et OM_2 est constant. Il peut servir à repérer le retard de M_2 sur M_1 . On l'appelle le déphasage du 2^e mouvement sur le premier.

En particulier, examinons l'aspect de la figure à l'instant pris pour origine (fig. 6). Les rayons OM_1 et OM_2 déterminent l'angle Φ .

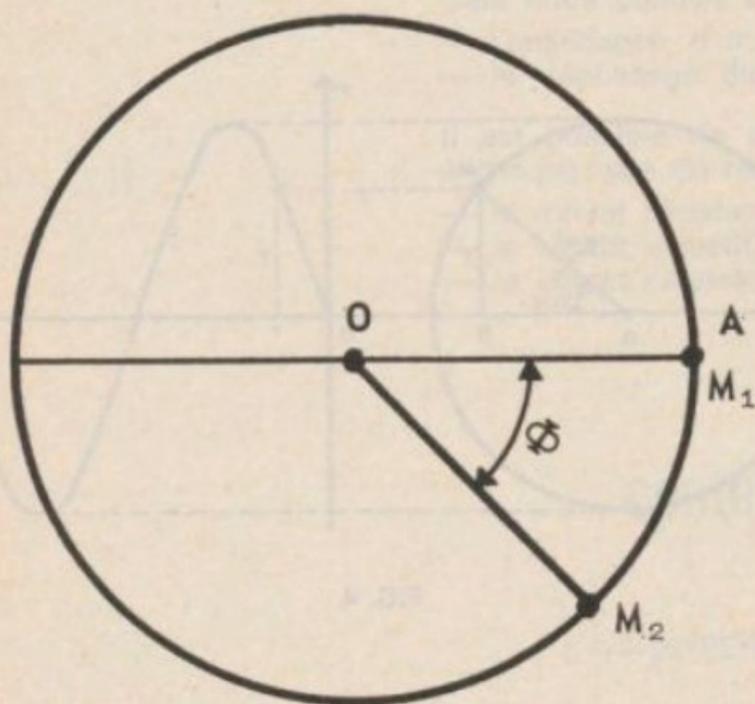


FIG. 6

Il faut donc retenir que courant et tension sont, en général, déphasés dans un circuit alimenté sous une différence de potentiel alternative.

Correspondance entre déphasage et décalage.

Le retard t_0 du point M_2 sur le point M_1 est égal au temps qui s'écoule entre le départ de M_1 du point A, et le passage de M_2 en ce même point. C'est le temps que met le rayon OM_2 pour balayer un angle égal à Φ et ceci avec une vitesse ω (vitesse angulaire des points M_1 et M_2).

Donc :

$$\Phi = \omega t_0$$

Mesure du déphasage.

— Le déphasage du courant sur la tension peut s'évaluer à l'aide de l'oscilloscope (fig. 7).

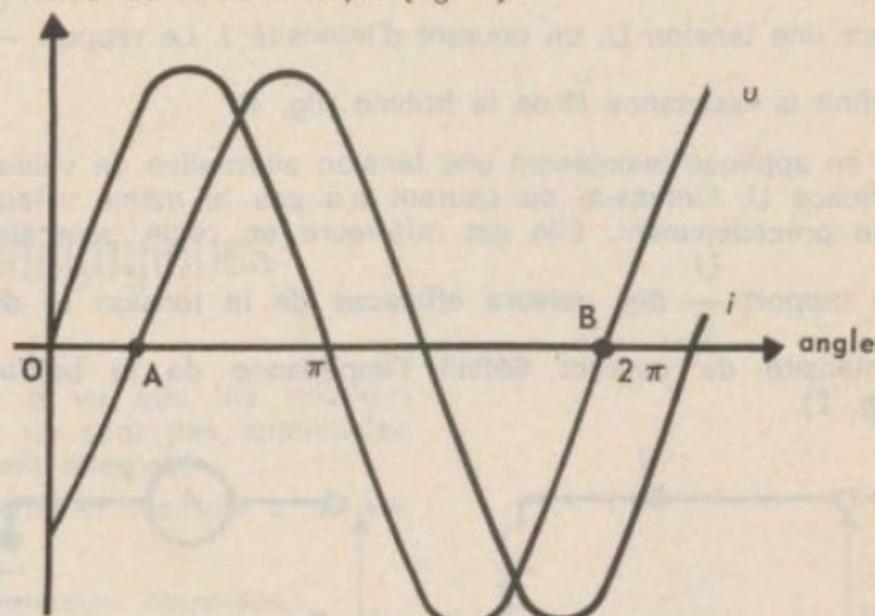


FIG. 7

L'axe des abscisses est gradué en angle.

Le déphasage Φ du courant sur la tension correspond au segment OA.

Comme à un segment OB correspond un angle de 2π

radians, nous pouvons écrire : $\frac{OA}{OB} = \frac{\Phi}{2\pi}$

ou

$$\Phi = 2\pi \cdot \frac{OA}{OB}$$

On mesure alors les segments OA et OB, et on les exprime avec la même unité (en centimètres par exemple).

— Le phasemètre est l'appareil qui donne directement le déphasage cherché.

Il comprend deux circuits :

- un circuit intensité à placer en série avec le récepteur,
- un circuit tension à brancher en dérivation entre les bornes du récepteur.

Parfois il ne fournit pas la valeur de l'angle, mais celle du cosinus de cet angle, car cette grandeur donne de précieux renseignements à l'électricien.

Remarque : on rappelle que la vitesse angulaire ω du point M, s'exprime en radians par seconde. C'est l'angle balayé par le rayon OM en une seconde.

ω représente, en même temps, la pulsation du mouvement sinusoïdal.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

T période du mouvement sinusoïdal.

f fréquence du mouvement sinusoïdal.

IV. — ETUDE DE QUELQUES CIRCUITS

IV.1. Circuit résistant.

Un récepteur est dit purement résistif si son coefficient d'auto-induction est négligeable, ou mieux, nul, et s'il ne présente aucune capacité.

On le représente schématiquement de la façon suivante (fig. 8).

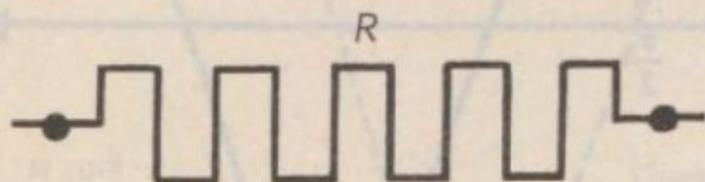


FIG. 8

En courant alternatif, un récepteur purement résistif, sous une tension U absorbe un courant d'intensité I . On constate :

1° que l'impédance d'un récepteur purement résistif est égale à la valeur de sa résistance

$$Z = R$$

2° que tension et courant sont en phases. Les 2 sinusoïdes correspondantes, placées dans le même système d'axes, présentent l'aspect de la figure 9.

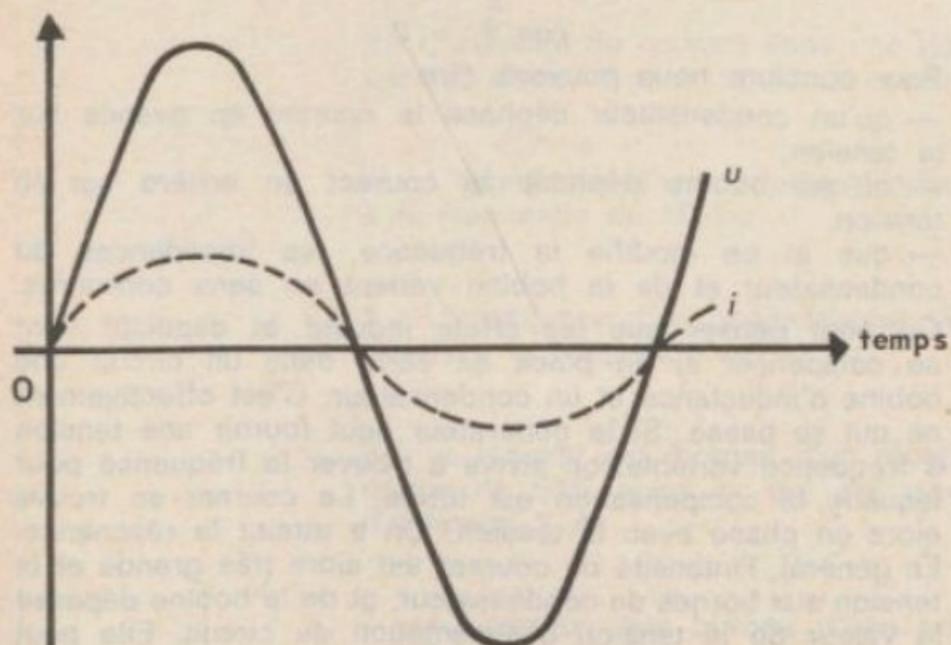


FIG. 9

Donc

$$\Phi = 0$$

IV.2. Circuit inductif.

Un récepteur, pour être purement inductif, ne doit présenter ni capacité, ni résistance.

Cette dernière condition est pratiquement impossible à réaliser. Le fil constituant une bobine ne peut pas, en général, avoir une résistance nulle.

On admet donc qu'il suffit que la résistance soit négligeable pour considérer un circuit inductif comme purement inductif.

Représentations schématiques (fig. 10).

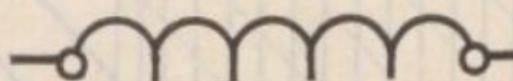
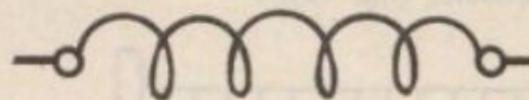


FIG. 10

En courant alternatif, un circuit purement inductif d'inductance L (fig. 11)

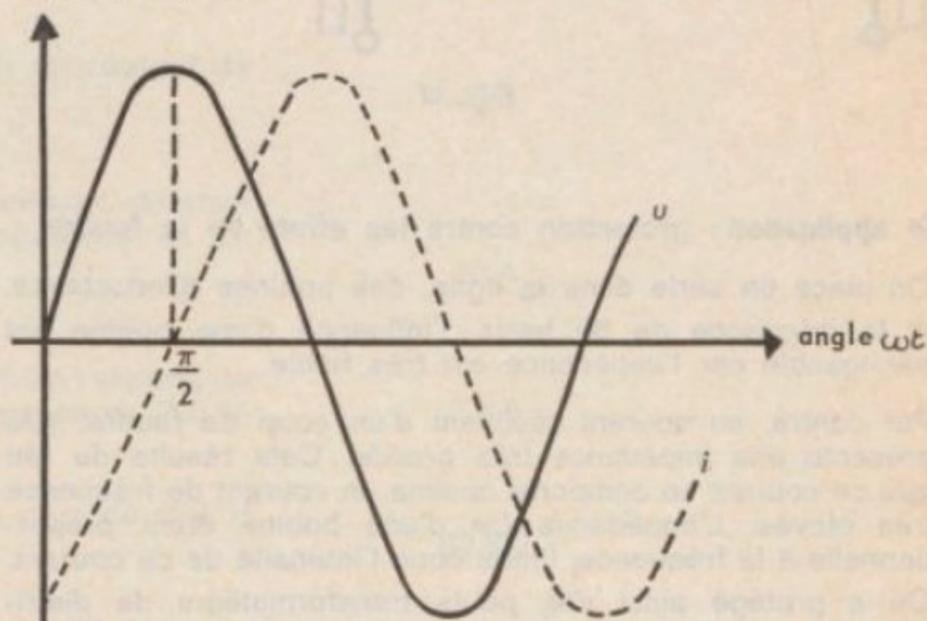


FIG. 11

1) présente une impédance Z telle que

$$Z = L\omega, \omega \text{ pulsation du courant.}$$

$\omega = 2\pi f = 314 \text{ rd/s}$ pour le secteur E.D.F.

2) déphase le courant de $\frac{\pi}{2}$ radian, en arrière sur la tension.

$$\Phi = \frac{\pi}{2} \text{ arrière}$$

$$\cos \Phi = 0$$

1^{re} application : rhéostat inductif.

On peut faire varier le coefficient d'auto-induction d'une bobine, en déplaçant un noyau de fer à l'intérieur de celle-ci. Plus le noyau s'enfonce et plus L augmente. L'impédance présentée par cette bobine augmente donc, et l'intensité du courant diminue.

Ce réglage de l'intensité du courant est commode et économique. L'énergie perdue par effet Joule reste bien inférieure dans ce cas, à la valeur qu'elle atteint le plus souvent lorsqu'on utilise une résistance variable, pour une même variation d'intensité (fig. 12).

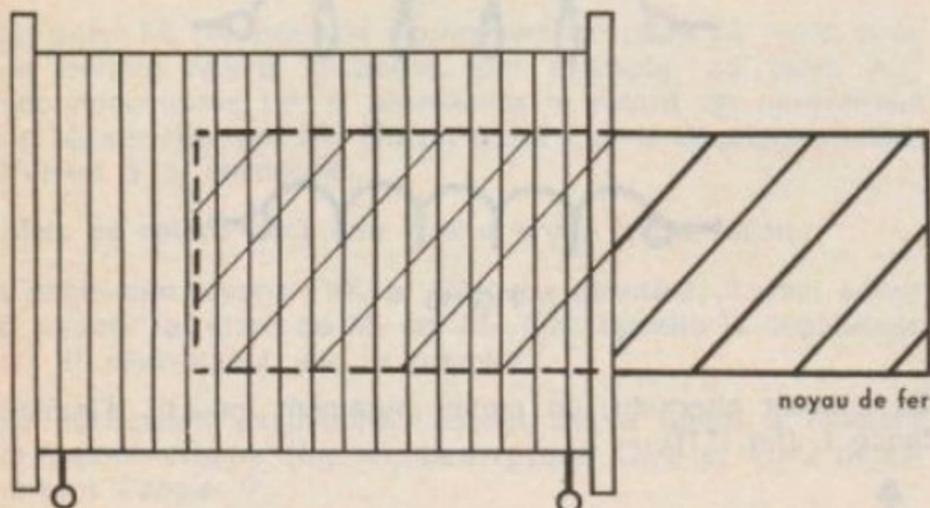


FIG. 12

2^e application : protection contre les effets de la foudre.

On place en série dans la ligne, des bobines d'inductance. A la fréquence de 50 hertz, l'influence d'une bobine est négligeable car l'impédance est très faible.

Par contre, au courant résultant d'un coup de foudre, elle présente une impédance très grande. Cela résulte du fait que ce courant se comporte comme un courant de fréquence très élevée. L'impédance $L\omega$ d'une bobine étant proportionnelle à la fréquence, limite donc l'intensité de ce courant. On a protégé ainsi des petits transformateurs de distribution, comme ceux que l'on peut voir, en campagne, placés au sommet d'un poteau.

IV.3. Circuit capacitif.

Un condensateur se comporte, en général, comme un circuit purement capacitif.

Représentation schématique (fig. 13).

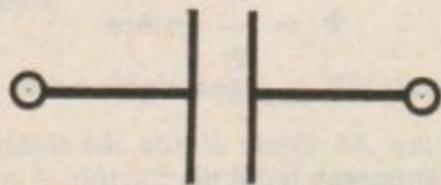


FIG. 13

En courant alternatif, un condensateur de capacité C est traversé par un courant et cet appareil (fig. 14)

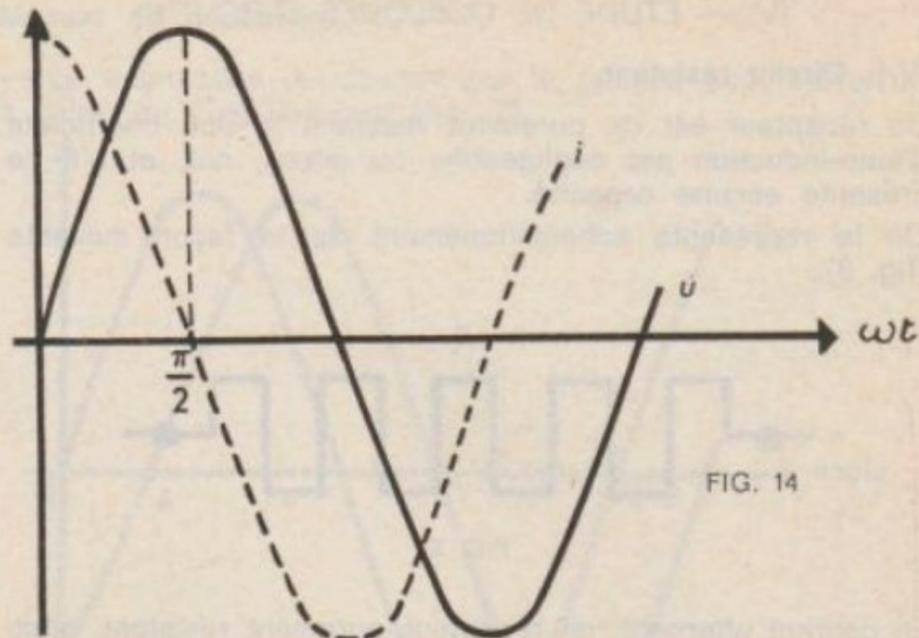


FIG. 14

1) présente une impédance Z telle que

$$Z = \frac{1}{C\omega}, \quad \omega \text{ pulsation du courant,}$$

2) déphase le courant de $\frac{\pi}{2}$ radian en avance sur la tension

$$\Phi = \frac{\pi}{2} \text{ avance}$$

$$\cos \Phi = 0$$

Pour conclure nous pouvons dire :

- qu'un condensateur déphase le courant en avance sur la tension,
- qu'une bobine déphase le courant en arrière sur la tension,

— que si on modifie la fréquence, les impédances du condensateur et de la bobine varient en sens contraires. On peut penser que les effets inductif et capacitif vont se compenser si on place en série dans un circuit une bobine d'inductance et un condensateur. C'est effectivement ce qui se passe. Si le générateur peut fournir une tension à fréquence variable, on arrive à trouver la fréquence pour laquelle la compensation est totale. Le courant se trouve alors en phase avec la tension. On a atteint la résonance. En général, l'intensité du courant est alors très grande et la tension aux bornes du condensateur, et de la bobine dépasse la valeur de la tension d'alimentation du circuit. Elle peut être 10 à 20 fois plus grande, voire même davantage. La résonance peut donc être très dangereuse.

La résonance électrique présente beaucoup d'analogie avec la résonance mécanique. Pour obtenir des oscillations de grande amplitude sur une balançoire, il faut donner des impulsions avec une fréquence convenable. Comme pour le circuit électrique, c'est la fréquence du dispositif produisant l'excitation qu'il faut régler. Et dans les deux cas, on peut limiter l'amplitude des oscillations. Il suffit, pour la balançoire, d'opposer une résistance mécanique en freinant par exemple celle-ci. Pour le circuit électrique, ce rôle sera joué par une résistance.

questionnaire

Questions

Réponses

Calculer :

1 - L'impédance d'un récepteur parcouru par un courant de 3 A sous 120 V.

40 Ω

2 - L'intensité du courant dans un circuit purement résistif placé sous une tension de 220 V. La résistance de ce circuit est de 22 ohms.

10 A

3 - L'intensité du courant dans une bobine dont l'impédance est 100 ohms, et que l'on place sous une tension de 220 V.

2,2 A

4 - L'impédance d'une bobine d'inductance pure de 0.2 H à la fréquence de 50 Hz.

62,8 Ω

5 - L'impédance d'un condensateur de capacité 200 microfarads à la fréquence de 50 Hz.

15,9 Ω

6 - La tension aux bornes d'un récepteur ayant une impédance de 63,5 ohms et qui est traversé par un courant d'intensité 2 A.

127 V

7 - La tension aux bornes d'une bobine d'inductance de 0,006 henry, dont la résistance peut être négligée, si elle est parcourue par un courant de 3 A (fréquence du courant : 500 Hz).

90 V

8 - La tension aux bornes d'un condensateur ayant une capacité de 100 microfarads, si l'intensité du courant est 3 A (fréquence du courant : 500 Hz).

60 V

puissance en courant alternatif

intentions pédagogiques

- Il s'agit de préciser la notion de puissance en mettant en évidence les différences qui existent entre les notions valables en courant continu, et celles nécessaires en courant alternatif.
- On définira ensuite le facteur de puissance d'un récepteur ou d'une installation.
- Les inconvénients d'un faible facteur de puissance seront alors mis en évidence.
- Comme on peut remédier à cet état, on décrira un procédé de compensation du facteur de puissance.

contenu de l'émission

I. — PUISSANCE CONSOMMÉE PAR UN RECEPTEUR

En courant continu, si un récepteur placé sous une tension U , est traversé par un courant d'intensité I (fig. 1) il absorbe une puissance P donnée par la relation :

$$P = UI$$

Ceci est vrai quel que soit le récepteur considéré (résistance ou moteur). C'est pourquoi nous avons représenté (fig. 1) le récepteur sous une forme très générale. On mesure cette puissance à l'aide d'un wattmètre. Cet appareil doit effectuer le produit UI à partir des informations qu'on lui fournit.

Pour cela, un wattmètre se compose de 2 circuits. Le premier circuit, très résistant, est placé sous la tension U comme s'il s'agissait d'un voltmètre. On l'appelle circuit

tension. Le deuxième circuit, contrairement au précédent présente une résistance très faible, et est traversé par le courant I . On l'insère en série avec le récepteur comme on le fait pour un ampèremètre. On le nomme circuit intensité (fig. 2).

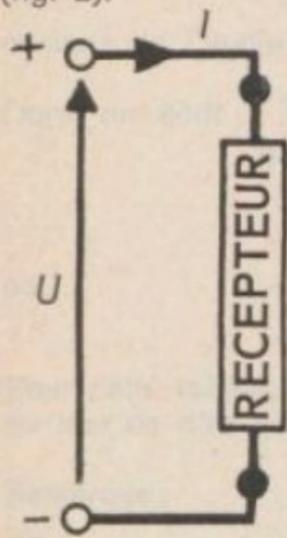


Fig. 1

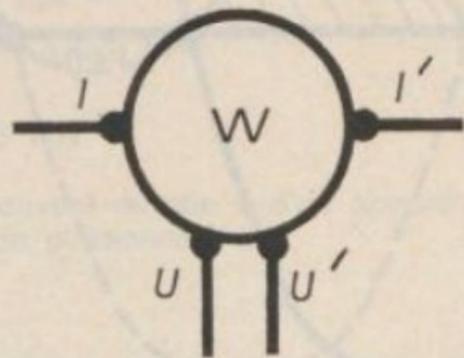


Fig. 2

Pour mesurer la puissance absorbée par un récepteur, on effectue le branchement représenté figure 3. Le circuit $I I'$ se trouve bien en série avec le récepteur, et le circuit $U U'$ est bien placé en dérivation sur celui-ci.

En alternatif, le wattmètre indique aussi la puissance consommée par le récepteur. Il fonctionne de la même façon, en courant continu et en courant alternatif. On réalise le même montage dans les deux cas, et c'est celui représenté figure 3.

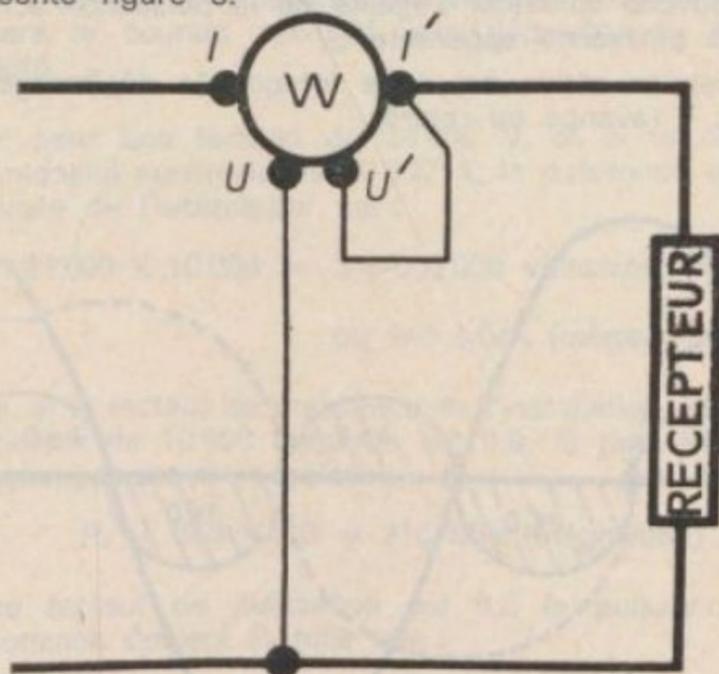


FIG. 3

Cependant, pour notre étude, nous allons considérer le montage de la figure 4. Ainsi, on peut relever la tension aux bornes du récepteur, l'intensité du courant dans celui-ci et la puissance qu'il absorbe. Les mesures montrent que le produit UI est supérieur à l'indication donnée par le wattmètre en général.

Ce montage permet donc de mettre en évidence que la puissance apparemment consommée, donnée par le produit

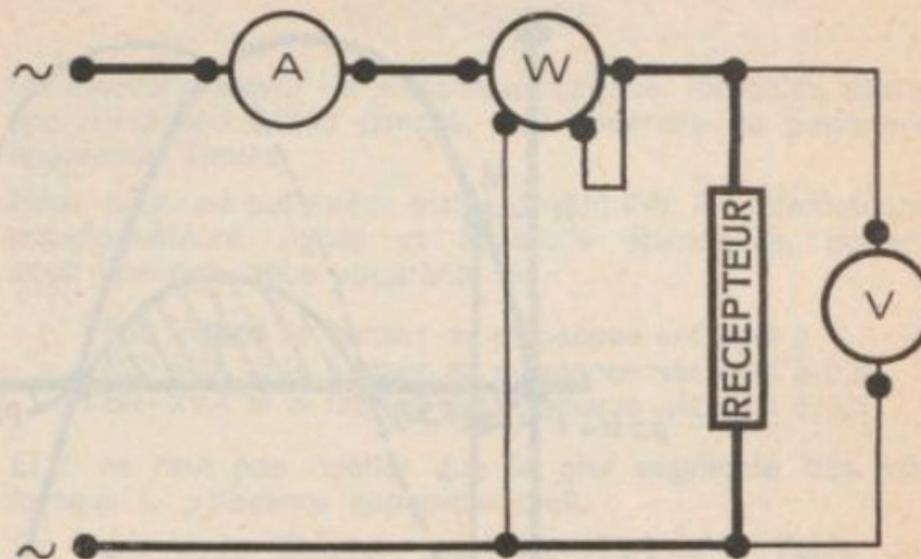


FIG. 4

UI , est très différente de la puissance P effectivement absorbée par le récepteur.

On distingue ces deux grandeurs en appelant : **puissance apparente** le produit UI , et **puissance active** la puissance effectivement consommée par le récepteur.

On représente souvent la puissance apparente par la lettre S . Donc, on peut écrire $S = UI$.

L'unité de puissance apparente s'appelle le **volt-ampère** parce que la puissance apparente résulte du produit d'une tension par une intensité.

Evidemment, la puissance active étant une puissance électrique, analogue à celles rencontrées en courant continu, s'évalue en watts. On la représente le plus souvent par la lettre P .

II. — ETUDE DU RAPPORT $\frac{P}{S}$.

Si à l'aide du montage de la figure 4 on étudie différents récepteurs, on constate que le rapport $\frac{P}{S}$ est en général inférieur à 1.

Il prend la valeur 1 si le récepteur est constitué par un circuit purement résistif.

Par exemple si le récepteur est un moteur ou une bobine d'inductance, le rapport $\frac{P}{S}$ est toujours inférieur à 1.

Par contre, s'il s'agit d'une cuisinière électrique, d'un radiateur, d'un fer à repasser, ce rapport est égal à 1. Parce que ce rapport $\frac{P}{S}$ caractérise un récepteur, ou certaines

conditions de fonctionnement d'une installation, on cherche constamment à connaître sa valeur et on l'appelle le **facteur de puissance** du récepteur ou de l'installation.

Dans le cas où tension et courant sont des grandeurs sinusoïdales, on comprend facilement pourquoi le facteur de puissance n'atteint l'unité qu'avec un récepteur purement résistif.

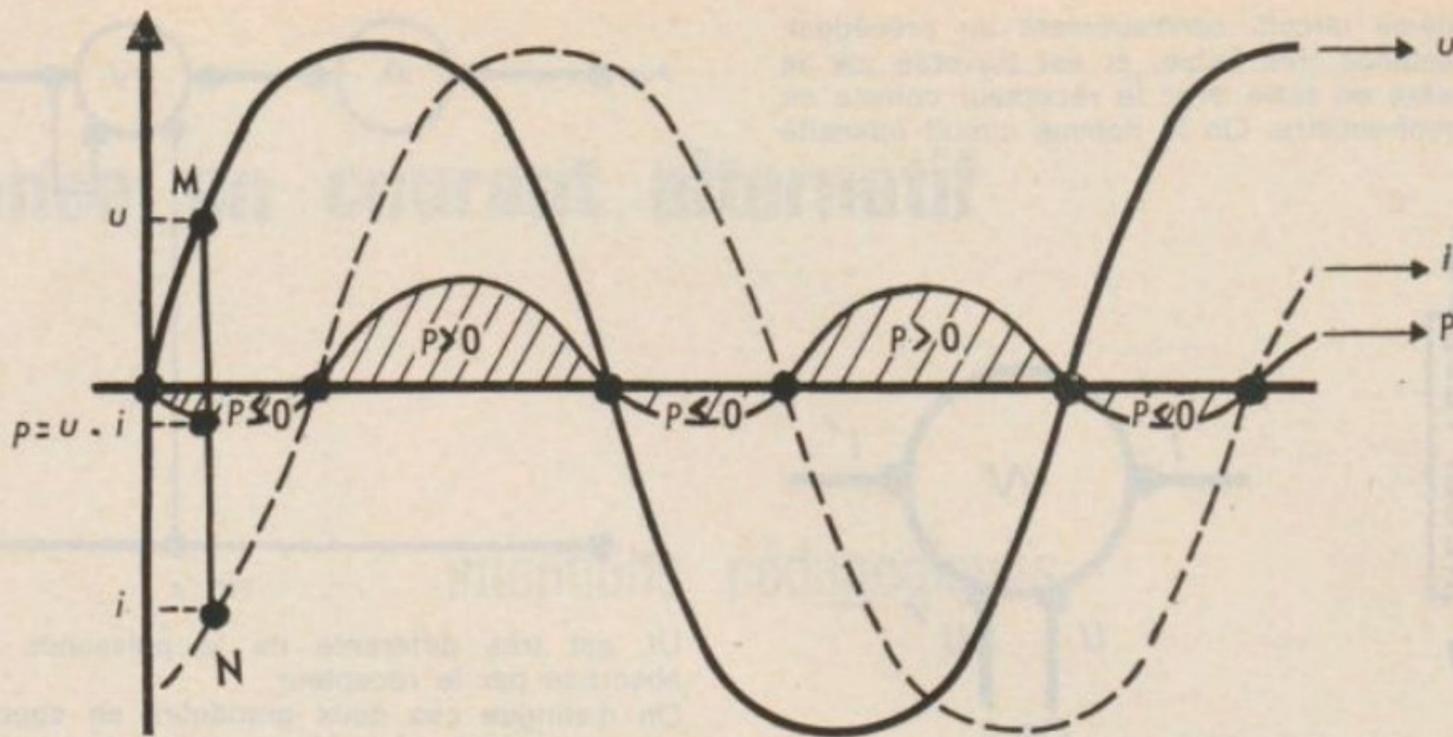


FIG. 5

Traçons les courbes de la tension et du courant, déphasées d'un angle Φ . Ensuite, plaçons graphiquement la courbe représentant la valeur de la puissance mise en jeu à chaque instant $p = ui$ (fig. 5). Il faut pour cela prendre les valeurs u et i correspondant à des points M et N sur une même verticale. Nous constatons que grâce à cette courbe, la puissance p est tantôt positive, tantôt négative. Le récepteur absorbe donc de la puissance ($p > 0$) par moments, et en fournit ($p < 0$) à d'autres.

Au total, selon la valeur du déphasage, la puissance moyenne absorbée, ou puissance active, est plus ou moins importante.

Elle atteint sa valeur maximale lorsque la puissance instantanée p reste constamment positive. Ce cas se présente lorsque le déphasage Φ est nul (fig. 6).

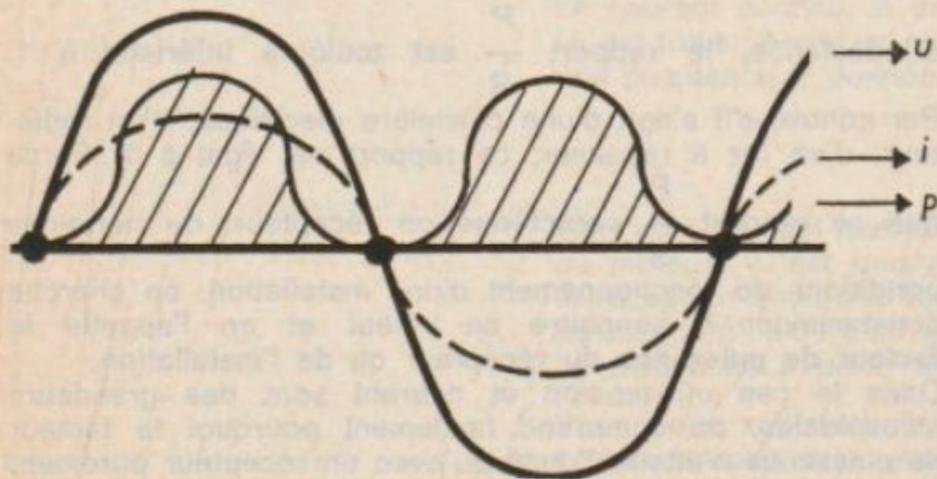


FIG. 6

En effet, dans ce cas u et i sont à chaque instant de même signe. Donc, leur produit est positif.

Pour cette raison, dans le cas d'une cuisinière électrique, nous pouvons constater l'égalité de la puissance active P , et de la puissance apparente S .

La puissance active est nulle lorsque le déphasage vaut 90° (fig. 7 (avance ou retard)).

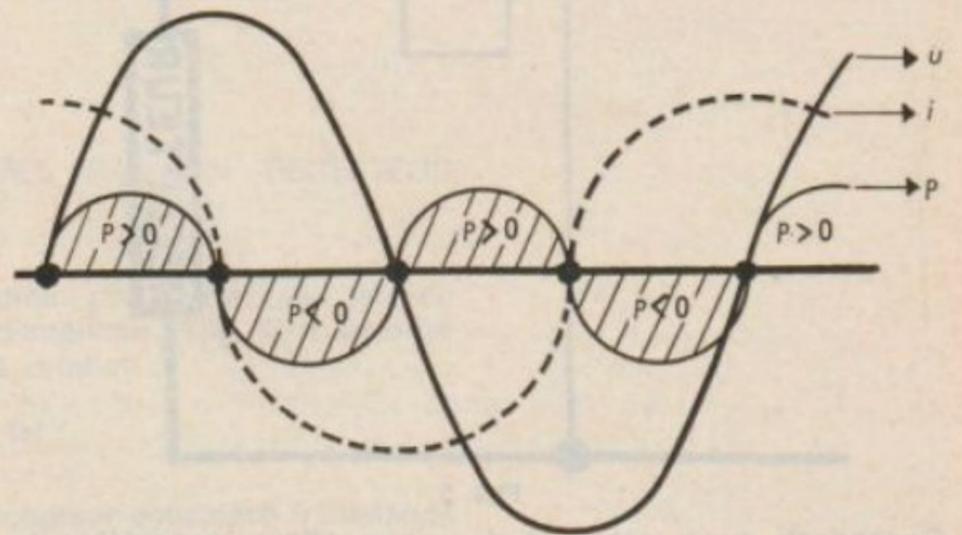


FIG. 7

Dans ce cas, le récepteur absorbe autant de puissance qu'il en fournit. Ce fonctionnement se rencontre lorsque le récepteur n'est constitué que par des condensateurs, car le courant se trouve déphasé en avance sur la tension de 90° pratiquement.

— Lorsque le déphasage du courant sur la tension prend une valeur comprise entre 0 et 90°, alors la puissance active est inférieure à la puissance apparente.

On peut démontrer que le rapport $\frac{P}{S}$ est alors égal au cosinus de l'angle de déphasage.

Donc on écrit :

$$\frac{P}{S} = \cos \phi$$

ou

$$P = S \cos \phi$$

Pour cette raison, on parle souvent du $\cos \phi$ d'un appareil, au lieu de dire son facteur de puissance.

Remarque :

On caractérise souvent un récepteur par la valeur maximale de la puissance active qu'il peut absorber. Par contre, pour un alternateur, pour un transformateur, on donne la valeur maximale de la puissance apparente. Cette façon d'opérer, très différente, s'explique facilement. Lorsqu'on prévoit un alternateur (ou un transformateur) on se fixe la tension sous laquelle il fournira l'énergie électrique, et l'intensité maximale du courant qu'il débitera. Autrement dit, on s'impose la tension, et l'intensité du courant maximal, c'est-à-dire la puissance apparente maximale. Quant à la puissance active qu'il fournira, lorsqu'il débitera le courant maximal, elle dépendra du récepteur alimenté.

Ainsi, pour une tension de 24 000 V, et si le courant a une intensité maximale de 10 000 A, la puissance apparente maximale de l'alternateur est :

$$S = 24\,000 \times 10\,000 = 240\,000\,000 \text{ volts-ampères}$$

$$\text{ou } 240 \text{ MVA (mégavoltampères).}$$

Alors, si le facteur de puissance de l'installation qui absorbe le courant de 10 000 ampères est 0,9, la puissance active consommée atteint la valeur :

$$P_1 = 240 \times 0,9 = 216 \text{ MW (mégawatts)}$$

Si ce facteur de puissance est 0,8 la puissance active consommée devient P_2 telle que :

$$P_2 = 240 \times 0,8 = 192 \text{ MW (mégawatts)}$$

Vous constatez bien que la puissance active dépend essentiellement des récepteurs et ne peut pas servir à caractériser l'alternateur. La puissance apparente, par contre, fixe l'intensité maximale du courant, si on connaît la tension de fonctionnement. C'est donc bien cette donnée qui permet de choisir les lignes et les appareils de protection nécessaires.

III. — INCONVENIENTS D'UN FAIBLE FACTEUR DE PUISSANCE

Un mauvais facteur de puissance implique, lorsqu'on désire une puissance active donnée, des appareils de puissance apparente élevée.

Ainsi, pour une puissance active de 800 kW, les alternateurs, transformateurs, lignes et appareils électriques, doivent avoir une puissance apparente de :

$$\begin{aligned} & 800 \text{ kVA si le facteur de puissance est égal à } 1 \\ & 1\,000 \text{ kVA si le facteur de puissance est égal à } 0,8 \\ & 1\,600 \text{ kVA si le facteur de puissance est égal à } 0,5 \end{aligned}$$

Et il ne faut pas oublier que le prix augmente très vite lorsque la puissance apparente croît.

On peut aussi illustrer ces inconvénients à l'aide des résultats suivants : ils concernent une installation prévue pour une puissance apparente de 1 000 kVA. Supposons que la tension d'alimentation soit 1 000 volts. Avec le courant maximal de 1 000 A, si le facteur de puissance est égal à 1, la puissance active dont on peut disposer s'élève à 1 000 kW.

S'il est égal à 0,8, la puissance active s'élève à 800 kW. S'il est égal à 0,5, la puissance active s'élève à 500 kW. S'il est égal à 0,2, la puissance active s'élève à 200 kW.

Les diminutions de la puissance active absorbée et du facteur de puissance sont proportionnelles dans cet exemple. Malgré cela, les pertes par effet Joule restent les mêmes puisque **l'intensité n'a pas changé dans ces différents cas**. Le prix du kilowattheure utile se trouve donc majoré si le facteur de puissance est faible puisque les pertes ne varient pas alors que la puissance utilisable reste très inférieure au maximum possible.

En règle générale, un mauvais facteur de puissance correspond à un rendement insuffisant pour les appareils, et à une capacité diminuée pour l'installation.

Utilisateur et fournisseur d'énergie se trouvent devant un système coûteux, et non rentable sur le plan économique. Pour cette raison, l'E.D.F. exige un facteur de puissance de 0,86 au moins, afin de pouvoir fournir l'énergie dans des conditions acceptables. Si le facteur de puissance d'une installation industrielle est inférieure à 0,86, des pénalisations frappent l'utilisateur. Ces pénalisations augmenteront donc encore le prix de revient du kilowattheure utile. Si le facteur de puissance dépasse la valeur 0,86, des bonifications sont accordées au contraire.

Ce système encourage les utilisateurs à améliorer leurs installations, si celles-ci présentent un facteur de puissance inférieur à 0,86.

IV. — COMPENSATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

Pour comprendre qu'une compensation est possible, plaçons, en dérivation sur le récepteur utilisé figure 4, un condensateur de capacité C (fig. 8).

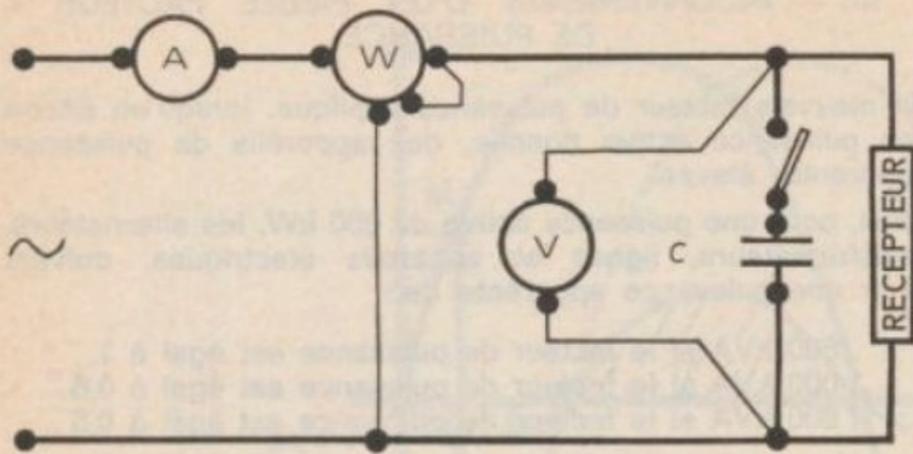


FIG. 8

Lorsque l'interrupteur K est ouvert, nous relevons les valeurs suivantes :

- sur l'ampèremètre : $I = 10 \text{ A}$
- sur le voltmètre : $U = 125 \text{ V}$
- sur le wattmètre : $P = 1\,000 \text{ W}$.

Nous constatons que la puissance apparente, dans ce cas, a pour valeur :

$$S = UI = 125 \times 10 = 1\,250 \text{ VA}$$

Le facteur de puissance du récepteur est donc égal à 0,8. En effet, le calcul donne :

$$\cos \Phi = \frac{P}{S} = \frac{1\,000}{1\,250} = 0,8$$

Fermons l'interrupteur K, les nouvelles valeurs relevées sont :

- sur l'ampèremètre : $I = 8 \text{ A}$
- sur le voltmètre : $U = 125 \text{ V}$
- sur le wattmètre : $P = 1\,000 \text{ W}$.

L'intensité du courant a diminué, et aussi la puissance apparente, puisqu'elle devient S' .

$$S' = UI' = 125 \times 8 = 1\,000 \text{ VA}$$

Il en résulte une augmentation du facteur de puissance qui passe de 0,8 à 1. En effet :

$$\frac{P}{S'} = \frac{1\,000}{1\,000} = 1$$

Donc en plaçant des condensateurs en parallèle sur une installation, on peut améliorer le facteur de puissance de celle-ci.

C'est la méthode employée par la plupart des utilisateurs. Les condensateurs se placent soit à l'entrée de l'installation pour une compensation globale, soit en dérivation sur chaque machine pour compenser chacune d'entre elles.

Il faut remarquer, dans le cas de la figure 8, que le fait de compenser le circuit, modifie la valeur de l'intensité du courant dans les fils situés en amont du condensateur. Pour le récepteur, il n'y a rien de changé. Et cette constatation est générale. En définitive on a amélioré les conditions de transport de l'énergie. Mais les conditions de fonctionnement du récepteur sont restées les mêmes.

Pour cette raison, sans négliger de compenser son installation, l'utilisateur doit rechercher aussi parmi ses machines, celles qui fonctionnent avec un mauvais facteur de puissance. Il peut ensuite les éliminer ou veiller à les faire fonctionner, dans la mesure du possible, avec le meilleur facteur de puissance réalisable. Ainsi il faut éviter de laisser sous tension un transformateur ou un moteur asynchrone à vide, ou à faible charge.

Voici un exemple illustrant bien cette idée. Pour un moteur asynchrone pouvant fournir au maximum 16 kilowatts, le facteur de puissance prend les valeurs indiquées dans le tableau suivant :

| Puissance fournie par le moteur | 0 kW (moteur à vide) | 4 kW (1/4 de la charge normale) | 8 kW (moitié de la charge normale) | 12 kW (3/4 de la charge normale) | 16 kW (charge normale) |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Facteur de puissance | 0,15 | 0,55 | 0,73 | 0,8 | 0,84 |

En conclusion, il ne faut pas choisir un moteur d'une puissance trop supérieure à celle dont on a besoin. Il ne faut pas non plus le laisser tourner à vide inutilement.

questionnaire

Questions

Réponses

Calculer :

1) La puissance dissipée dans une résistance de 25Ω parcourue par un courant de 2 A.

100 W

2) La puissance apparente d'un moteur asynchrone qui absorbe un courant de 10 A sous 127 V.

1 270 VA

3) Le facteur de puissance de ce moteur si, dans ces conditions, sa puissance active s'élève à 127 W.

0,1

4) La puissance apparente d'un récepteur absorbant une puissance de 1 600 W avec un facteur de puissance égal à 0,8.

2 000 VA

5) La puissance active absorbée par un moteur de facteur de puissance égale à 0,8 et dont la puissance apparente s'élève à 2 500 VA.

2 000 W

6) L'intensité du courant dans une ligne transportant une puissance de 11 kW, sous une tension de 220 V, pour les différentes valeurs du facteur de puissance suivantes :

— $\cos \varphi = 0,25$

200 A

— $\cos \varphi = 0,50$

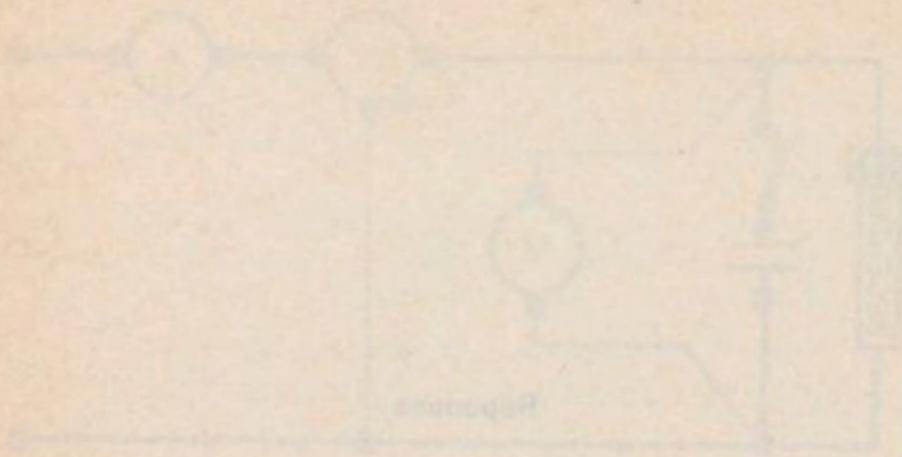
100 A

— $\cos \varphi = 0,75$

66,5 A

— $\cos \varphi = 1$

50 A



QUESTION

1. A circuit is shown in the diagram. The power source is 12V. The resistors are 4Ω, 6Ω, and 8Ω. Calculate the current through the 6Ω resistor.

2. A circuit is shown in the diagram. The power source is 12V. The resistors are 4Ω, 6Ω, and 8Ω. Calculate the power dissipated in the 6Ω resistor.

3. A circuit is shown in the diagram. The power source is 12V. The resistors are 4Ω, 6Ω, and 8Ω. Calculate the total resistance of the circuit.

4. A circuit is shown in the diagram. The power source is 12V. The resistors are 4Ω, 6Ω, and 8Ω. Calculate the voltage across the 6Ω resistor.

5. A circuit is shown in the diagram. The power source is 12V. The resistors are 4Ω, 6Ω, and 8Ω. Calculate the energy dissipated in the 6Ω resistor in 10 seconds.

6. A circuit is shown in the diagram. The power source is 12V. The resistors are 4Ω, 6Ω, and 8Ω. Calculate the current through the 4Ω resistor.

| Resistor | Current (A) | Voltage (V) | Power (W) | Energy (J) |
|----------|-------------|-------------|-----------|------------|
| 4Ω | 0.5 | 2.0 | 1.0 | 10.0 |
| 6Ω | 0.33 | 2.0 | 0.67 | 6.7 |
| 8Ω | 0.25 | 2.0 | 0.5 | 5.0 |

Handwritten signature or notes in the bottom center of the page.

EDUCATION DES ADULTES

sept séries d'émissions pour les adultes

- L'année 1965-1966 a été marquée par 2 faits essentiels :
- la conquête d'un important public d'isolés (40 000 documents « A Mots découverts » distribués, dont 30 000 répondant à des demandes individuelles) :
- une meilleure connaissance de notre public, grâce à l'important sondage dont le Bulletin de la R.T.S. N° 45 a donné un rapide compte rendu.

Nous apercevons mieux ainsi, à ce stade de notre développement — 3 ans après les premières émissions destinées aux adultes — l'étendue et les limites de notre champ d'action actuel.

Le public reçoit les émissions chez lui. Il est constitué surtout de cadres moyens, d'employés de bureau et de commerce, de femmes au foyer, de professions libérales et cadres supérieurs, de contremaîtres et ouvriers qualifiés, de retraités. Toutes les tranches d'âge sont représentées, et pour certaines séries, le public féminin est important (43,5 % du public total de « A Mots découverts »).

Par contre, les organismes d'éducation des adultes connaissent mal et utilisent peu les émissions. Même parmi le public d'isolés certaines des catégories sociales les plus importantes dans la vie de la nation (les moins de 30 ans, les ouvriers spécialisés et les agriculteurs) tiennent une place modeste. On serait tenté de dire que la télévision éducative pour adultes semble dès maintenant assurée de pouvoir jouer un grand rôle comme instrument autonome d'éducation permanente, mais qu'elle doit faire de nouveaux efforts pour soutenir plus efficacement les activités des organismes d'éducation des adultes, en proposant à leurs adhérents ou à leurs élèves des outils complémentaires de formation, en particulier dans le cadre de la Promotion Sociale.

Une telle collaboration semble dépendre de trois facteurs essentiels : une meilleure information des organismes sur les émissions et les documents, une articulation concertée entre les activités de ces organismes et celles de la R.T.S., des possibilités horaires d'écoute plus grandes.

Une enquête en cours apportera bientôt de précieux renseignements sur ces trois difficultés. Dès 1966-67, une nouvelle utilisation des bandes horaires proposera, à titre expérimental, un début de solution.

REDIFFUSIONS PRÉVUES

• du 26 octobre 1966 au 28 juin 1967 : **WALTER ET CONNIE** (Anglais : niveau moyen) - Mercredi : 17 h 55 - 18 h 25 ;

• du 22 octobre 1966 au 15 avril 1967 : « **A MOTS DECOUVERTS** » (Expression française) - Samedi : 14 heures à 14 h 30 ;

• du 22 avril au 24 juin 1967 : « **DES MOTS POUR NOUS COMPRENDRE** » (Expression française) - Samedi : 14 heures à 14 h 30 ;

• du 22 octobre au 17 décembre 1966 : « **INITIATION A LA PHYSIQUE NUCLEAIRE** » - Samedi : 14 h 30 à 15 heures ;

• du 23 octobre 1966 au 2 avril 1967 : « **COURS PRATIQUE D'ELECTRICITE** » - Dimanche : 9 heures à 9 h 30.

SÉRIES NOUVELLES

INITIATION ÉCONOMIQUE

• du 7 janvier au 24 juin 1967 - Samedi : 14 h 30 à 15 heures. La formation économique devient un des soucis majeurs de notre temps. Les organismes de culture populaire insistent depuis longtemps sur cet aspect trop négatif de l'enseignement traditionnel. Aujourd'hui, la plupart des autres tendances de l'éducation des adultes semblent aussi convaincus de l'utilité d'une telle initiation économique, quels que soient les objectifs plus précis envisagés :

- perfectionnement des délégués ouvriers, des responsables syndicaux ou des cadres d'entreprise ;
- participation plus éclairée des citoyens à la vie sociale et politique ;

- meilleure compréhension des grands faits économiques modernes et meilleure assimilation des informations économiques données par la presse ;
- éducation du consommateur, etc...

REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES

• du 9 avril au 25 juin 1967 - Dimanche : 9 heures à 9 h 30. La vie moderne oblige un nombre croissant d'adultes à utiliser pour leur information personnelle ou dans leur travail, des graphiques (abaques, diagrammes...), des plans, des dossiers techniques. Cette série d'émissions, sans permettre un véritable apprentissage de ces modes d'expression, voudrait aider à lire et à exécuter sommairement ces représentations graphiques.

