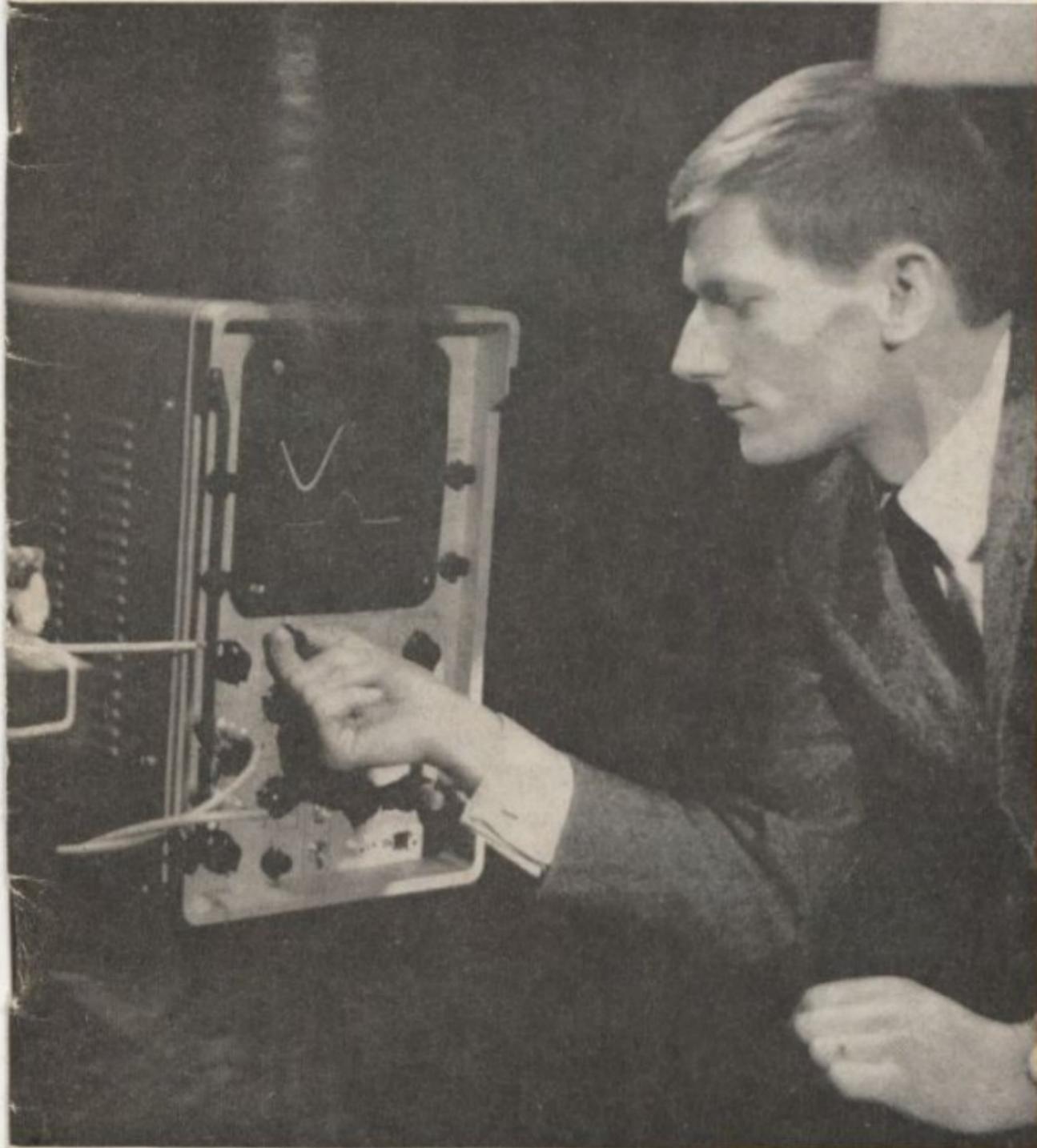




TÉLÉVISION SCOLAIRE  
ÉMISSIONS DESTINÉES AUX

# ADULTES

1966/67 ?



## cours pratique d'électricité

### 20 à 26

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE - INSTITUT PÉDAGOGIQUE NATIONAL

# cours pratique d'électricité

## SOMMAIRE

Emission 20	— Courants polyphasés I - Nature et production .....	1
Emission 21	— Courants polyphasés II - Utilisation .....	6
Emission 22	— Transformateurs I .....	9
Emission 23	— Transformateurs II .....	10
Emission 24	— Redresseurs .....	13
Emission 25	— Générateurs et moteurs à courant continu .....	19
Emission 26	— Moteurs à courants alternatifs .....	26

Notre photo de couverture :

M. BEAUVILLAIN, producteur des émissions n<sup>os</sup> 22-23-24  
expérimente devant les caméras

*Les émissions d'ELECTRICITE de la Télévision Scolaire et le présent livret ont été élaborés par l'INSTITUT PEDAGOGIQUE NATIONAL, qui tient à remercier de leur concours M. GASNE, ainsi que MM. AUCLERC, BEAUVILLAIN, JOUBERT et MERAT.*

Brochure éditée par l'INSTITUT PÉDAGOGIQUE NATIONAL  
avec le concours de la Délégation Générale de la Promotion Sociale  
Rédaction : 29, rue d'Ulm — PARIS (V<sup>e</sup>)

# courants polyphasés

## intentions pédagogiques

Ce chapitre termine l'étude générale des tensions et courants alternatifs.

Nous avons essayé de montrer, à partir de la distribution triphasée, qui se généralise de plus en plus, les propriétés des montages qui utilisent plusieurs tensions déphasées.

Cette étude se rattache directement aux chapitres précédents :

— dans chaque élément du montage considéré séparément, nous pouvons appliquer les relations du courant alternatif monophasé aux grandeurs, tension, courant, impédance, déphasage et puissance.

## contenu de l'émission

### I. — RÉSEAU TRIPHASE

— Le transport d'énergie électrique à très haute tension (jusqu'à 300 kilovolts) utilise des lignes à trois câbles supportés par des pylônes.

— La distribution en moyenne tension (5 ou 10 kV par exemple) comporte aussi trois conducteurs.

— La distribution en basse tension (220 V ou 380 V), qui alimente les utilisateurs, comporte en général quatre conducteurs aériens ou placés en canalisation souterraine.

Cet ensemble constitue un réseau triphasé.

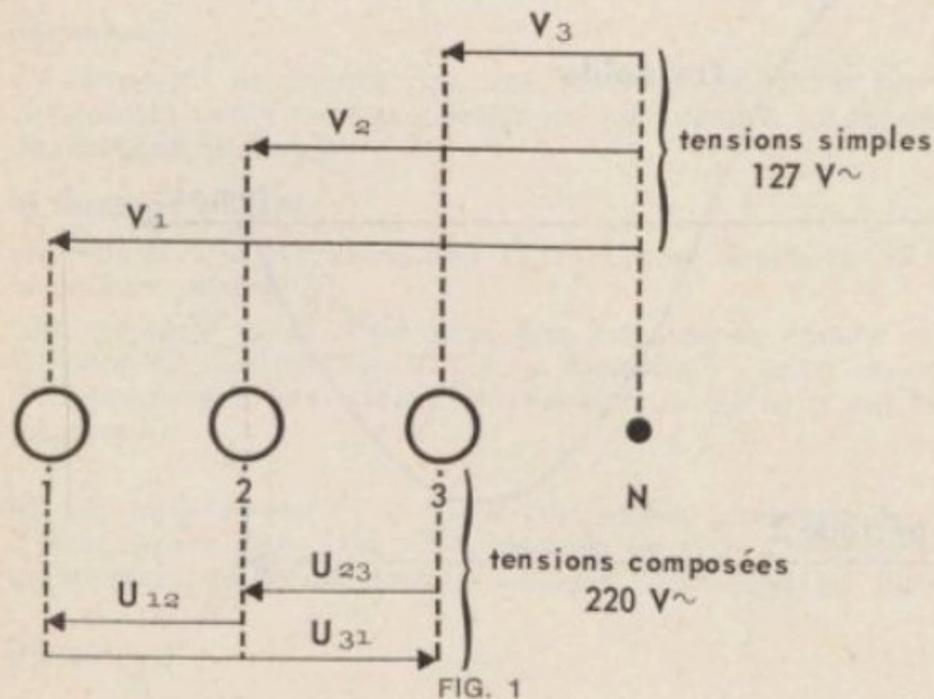
Au tableau d'arrivée d'une distribution triphasée (127-220 V), nous avons quatre bornes.

— Entre l'une quelconque des trois premières, appelées bornes des **phases**, et la quatrième appelée borne du **neutre** nous relevons des tensions alternatives  $V_1, V_2, V_3$  de même valeur efficace 220 V ; ces tensions sont appelées **tensions simples**.

— Entre deux quelconques des bornes de phases nous relevons des tensions alternatives  $U_{12}, U_{23}, U_{31}$ , de même valeur efficace 220 V ; ces tensions sont appelées **tensions composées**.

Observées à l'oscilloscope cathodique toutes ces tensions sont sinusoïdales, ont même fréquence, 50 hertz, deux tensions simples  $V$  d'une part, et deux tensions composées

$U$  d'autre part, présentent un déphasage  $\vartheta = 120^\circ$  ou  $\frac{2\pi}{3}$  radians (c'est-à-dire un décalage dans le temps de  $\frac{1}{3}$  de période, ou  $\frac{T}{3}$ ).



### II. — PRODUCTION DE TENSIONS TRIPHASÉES

Les centrales E.D.F. disposent d'alternateurs triphasés. Nous pouvons reproduire le principe de ces générateurs. Un aimant tourne entre trois bobines dont les axes sont

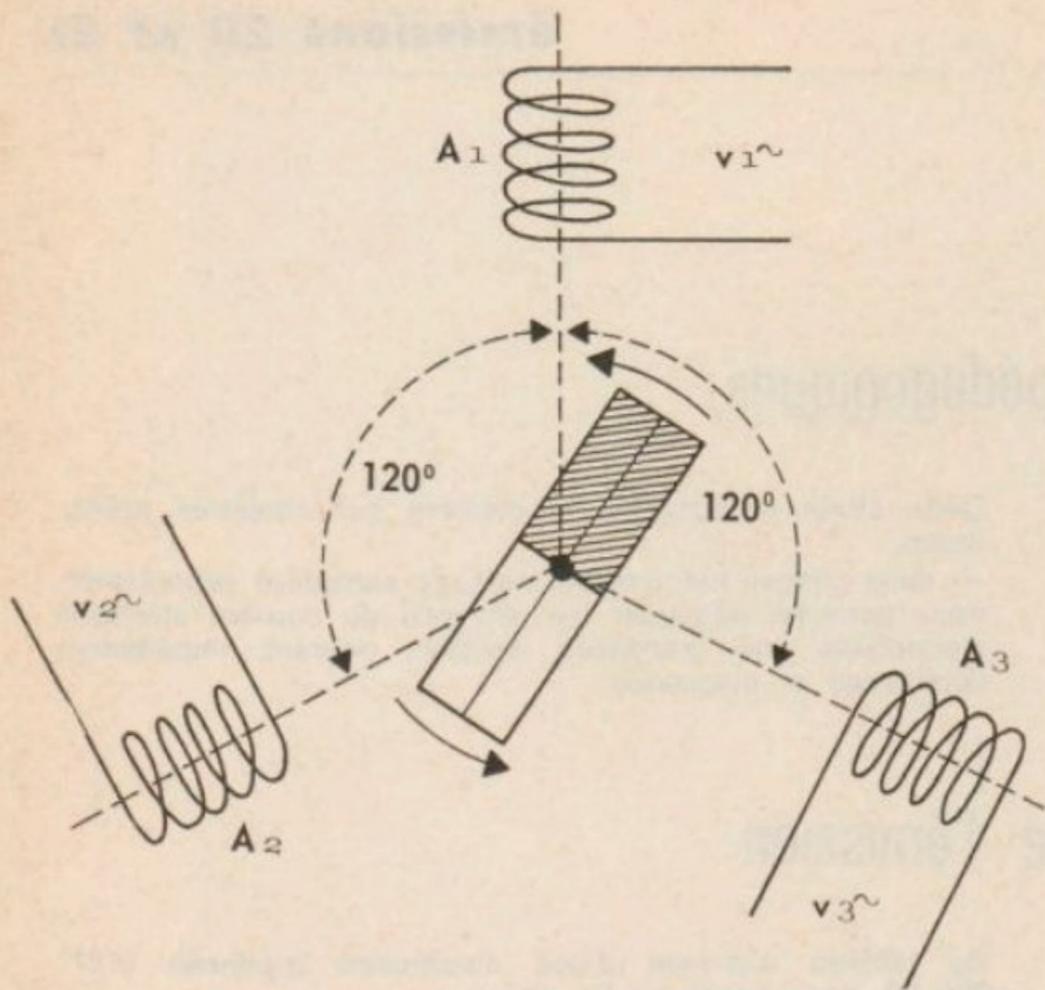


FIG. 2

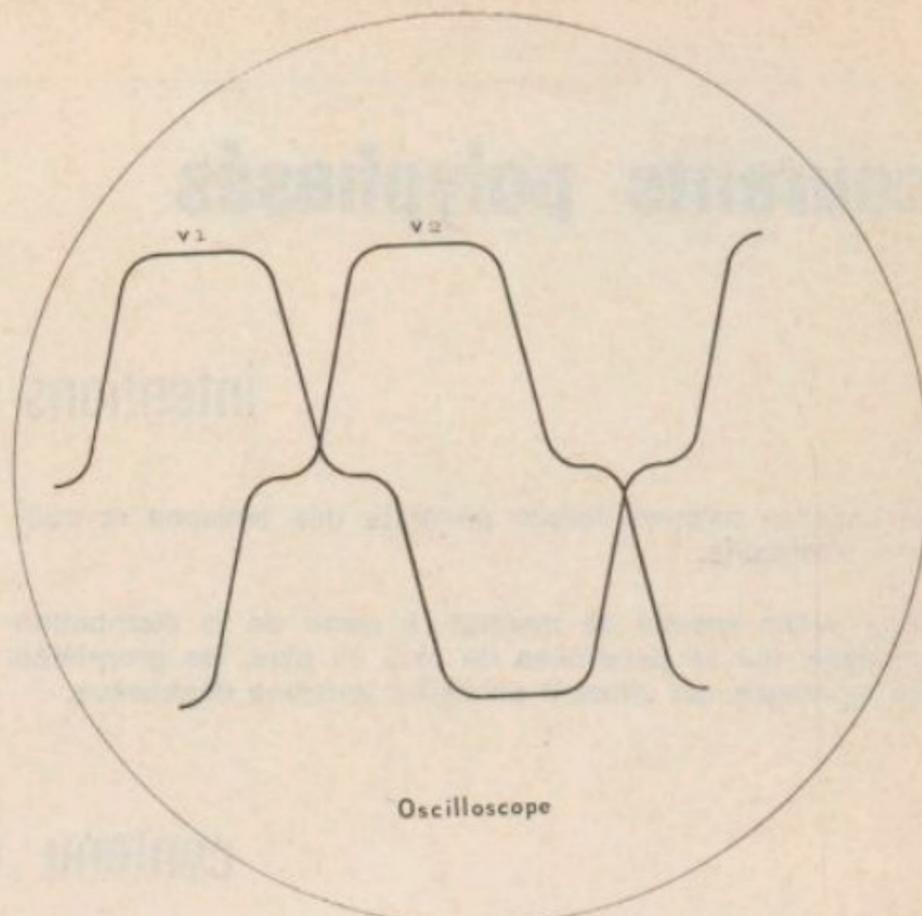


FIG. 2 bis

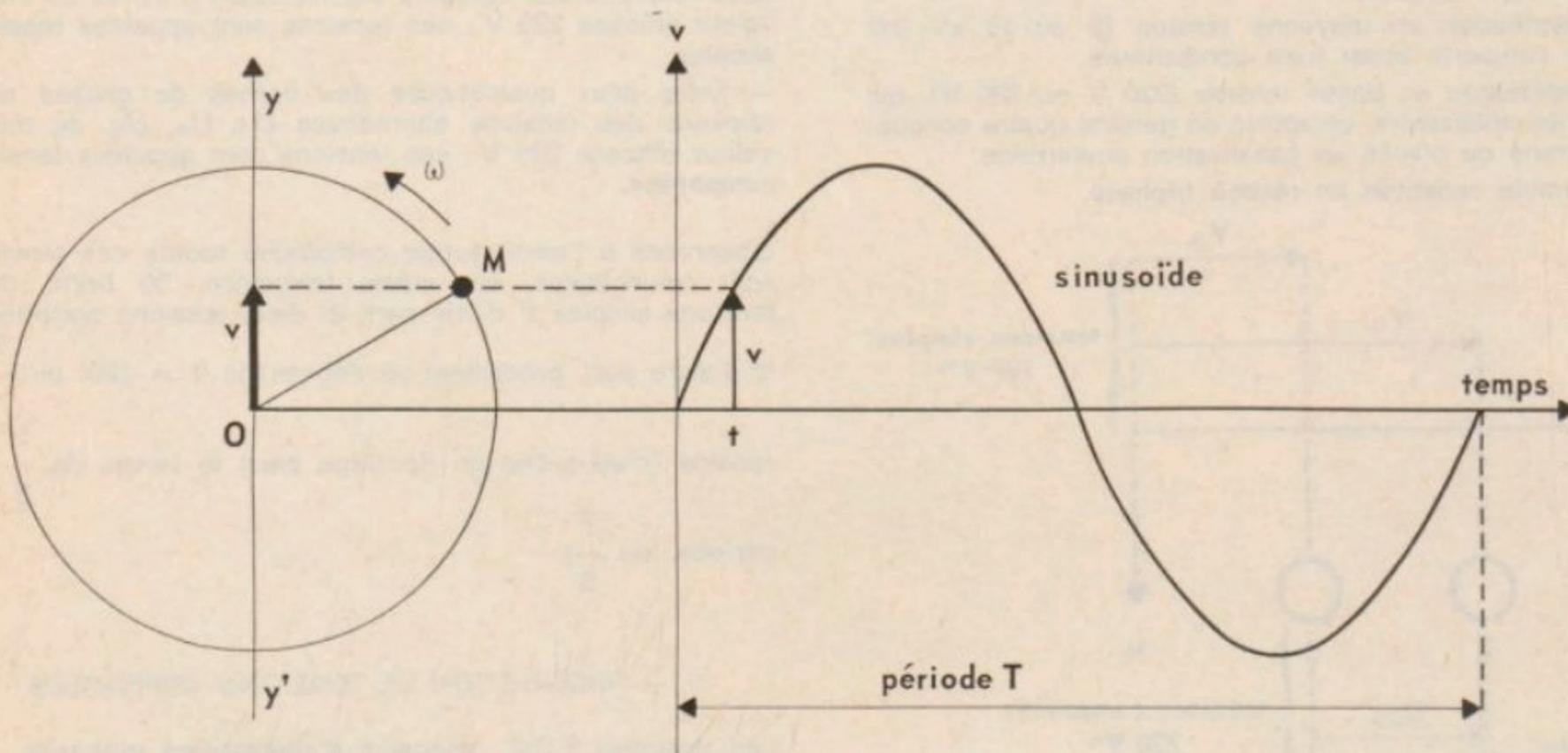


FIG. 3

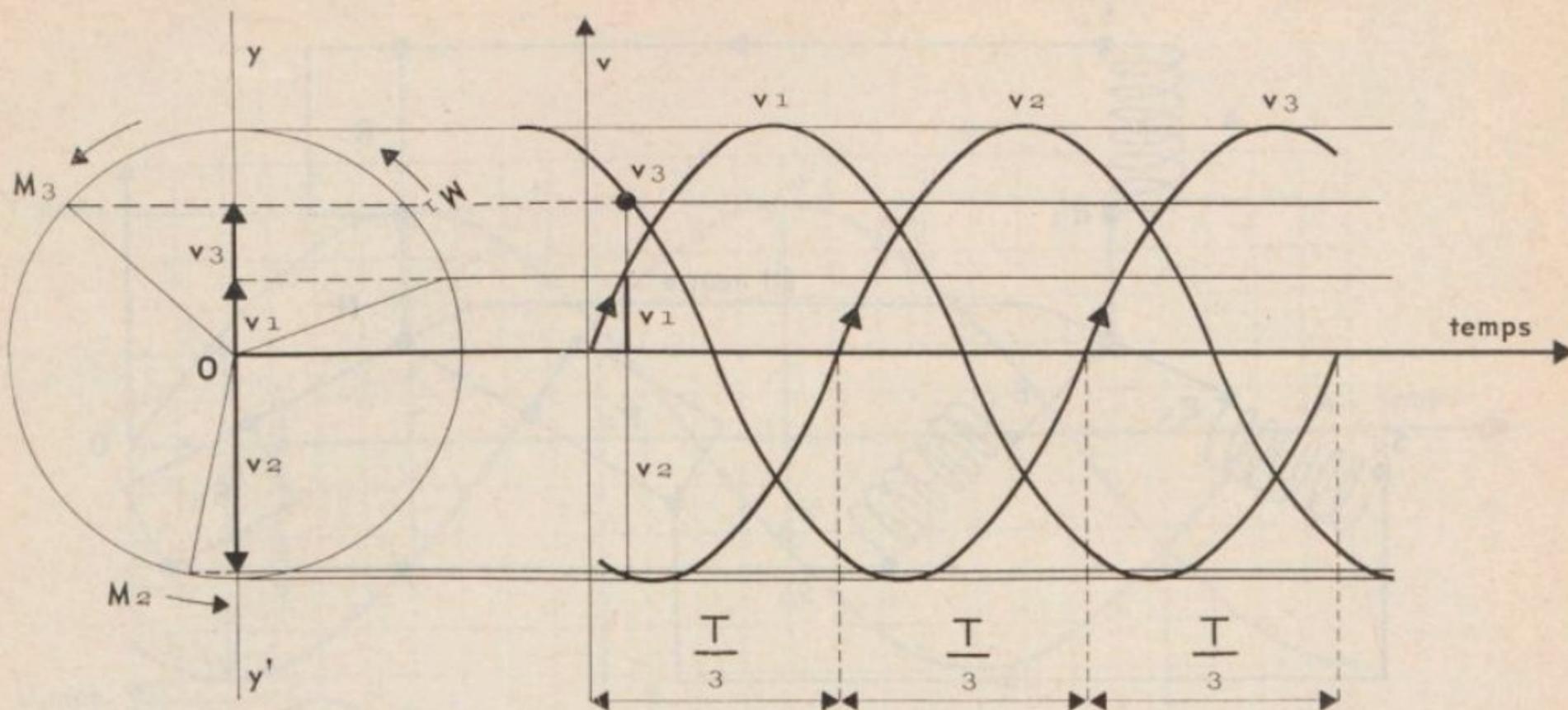


FIG. 4

dans un même plan décalés de  $120^\circ$ , ou  $\frac{2\pi}{3}$  radians.

Un pôle de l'aimant passera d'abord devant la bobine  $A_1$ , puis devant  $A_2$ , puis devant  $A_3$ , décalées de  $\frac{1}{3}$  de tour.

Ces bobines sont l'objet de forces électromotrices alternatives  $V_1, V_2, V_3$ , de même période  $T$ , égale à la durée de 1 tour de l'aimant.

Elles sont respectivement déphasées de  $120^\circ$ .

**Remarque.**

Ce dispositif ne fournit pas des tensions de forme bien sinusoïdale, mais il nous permet de comprendre la notion de tensions triphasées.

**a) tensions simples**

Reprenons une représentation déjà utilisée (émission 17: le courant alternatif).

Une grandeur sinusoïdale peut être considérée comme la variation de la projection  $V$ , sur un diamètre  $y'y$ , d'un rayon  $OM$ , tournant à une vitesse angulaire  $\omega = 2\pi f$ ; ( $f$  est la fréquence).

Ici les trois tensions  $V_1, V_2, V_3$  du réseau correspondent à trois rayons  $OM_1, OM_2, OM_3$ , décalés de  $120^\circ$ . On obtient, en fonction du temps, trois sinusoïdes déphasées de  $120^\circ$

(ou de  $\frac{T}{3}$ ).

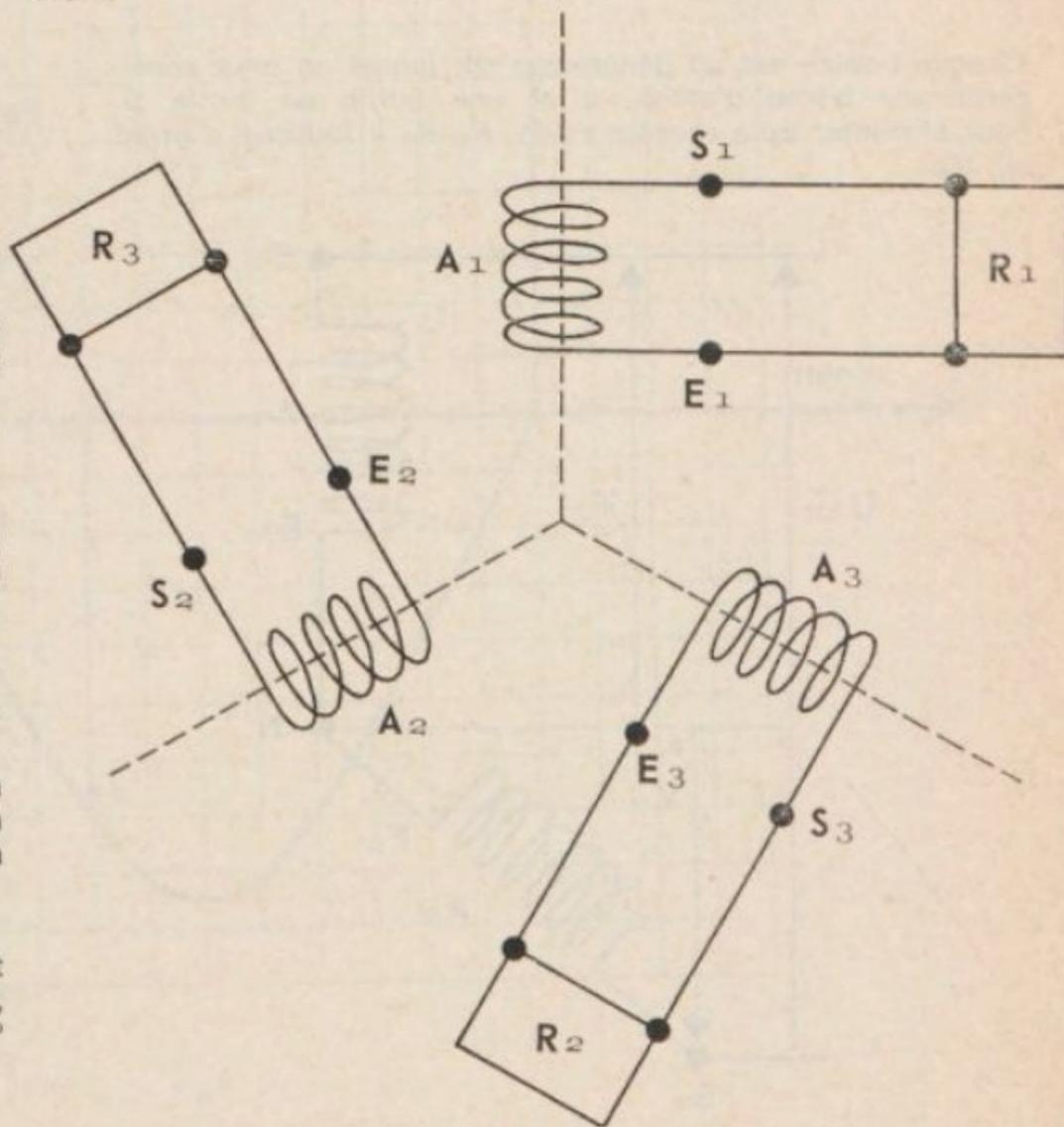


FIG. 5

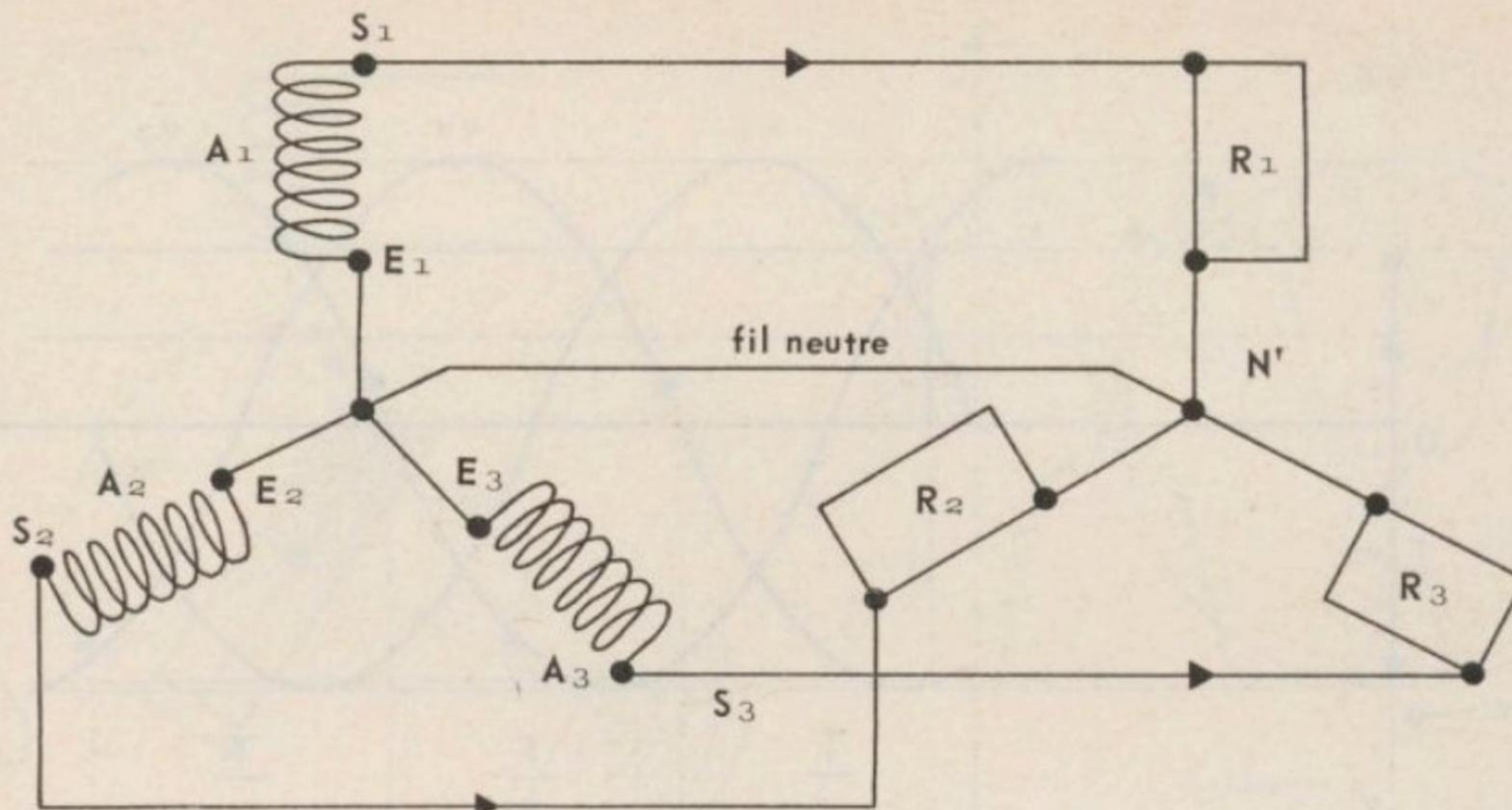


FIG. 5 bis

Chaque bobine est un générateur sur lequel on peut considérer une borne d'entrée  $E$  et une borne de sortie  $S$ . Pour alimenter trois récepteurs  $R_1, R_2, R_3$ , il faudrait a priori six fils.

En réunissant les trois fils de « retour » on obtient le **fil neutre**  $NN'$ . Dans ce cas, les trois générateurs, d'une part, et les trois récepteurs, d'autre part, sont dits : **montés en étoile avec neutre sorti**.

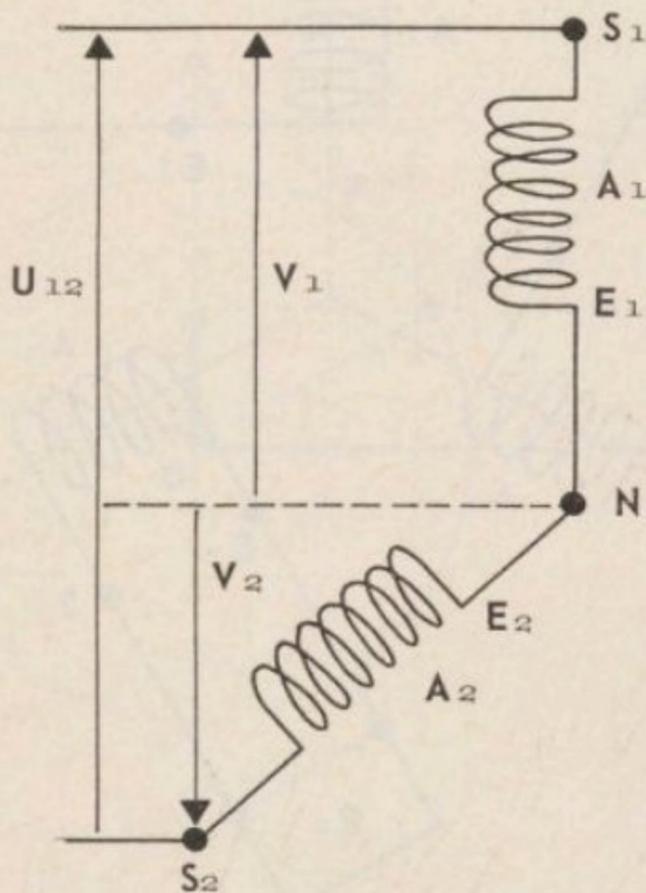


FIG. 6

**Remarque.**

Nous verrons que le fil neutre peut être souvent supprimé dans une installation, dans ce cas la distribution ne comporte que trois fils.

**b) tensions composées**

Une tension composée  $U_{12}$  prise entre les sorties  $S_1$  et  $S_2$  de deux bobines est à chaque instant une combinaison des tensions  $V_1$  et  $V_2$  variables,  $U_{12} = V_1 - V_2$  (pour aller de  $S_2$  à  $S_1$  on prend  $V_2$  en sens inverse et  $V_1$  en sens direct).

Sur le graphique à chaque instant  $t$ , la valeur de la tension  $U_{12}$  est mesurée par l'écart  $ab$  des deux sinusoïdes  $V_1$  et  $V_2$ .

Cette tension reportée au-dessous présente une variation sinusoïdale de même période et sa valeur maximale est 1,73 fois plus grande que la valeur maximale d'une tension simple  $V$ .

En valeur efficace  $U_{12} = \sqrt{3} \times V$ , soit dans ce cas

$$U = \sqrt{3} \times 127 = 220 \text{ V}$$

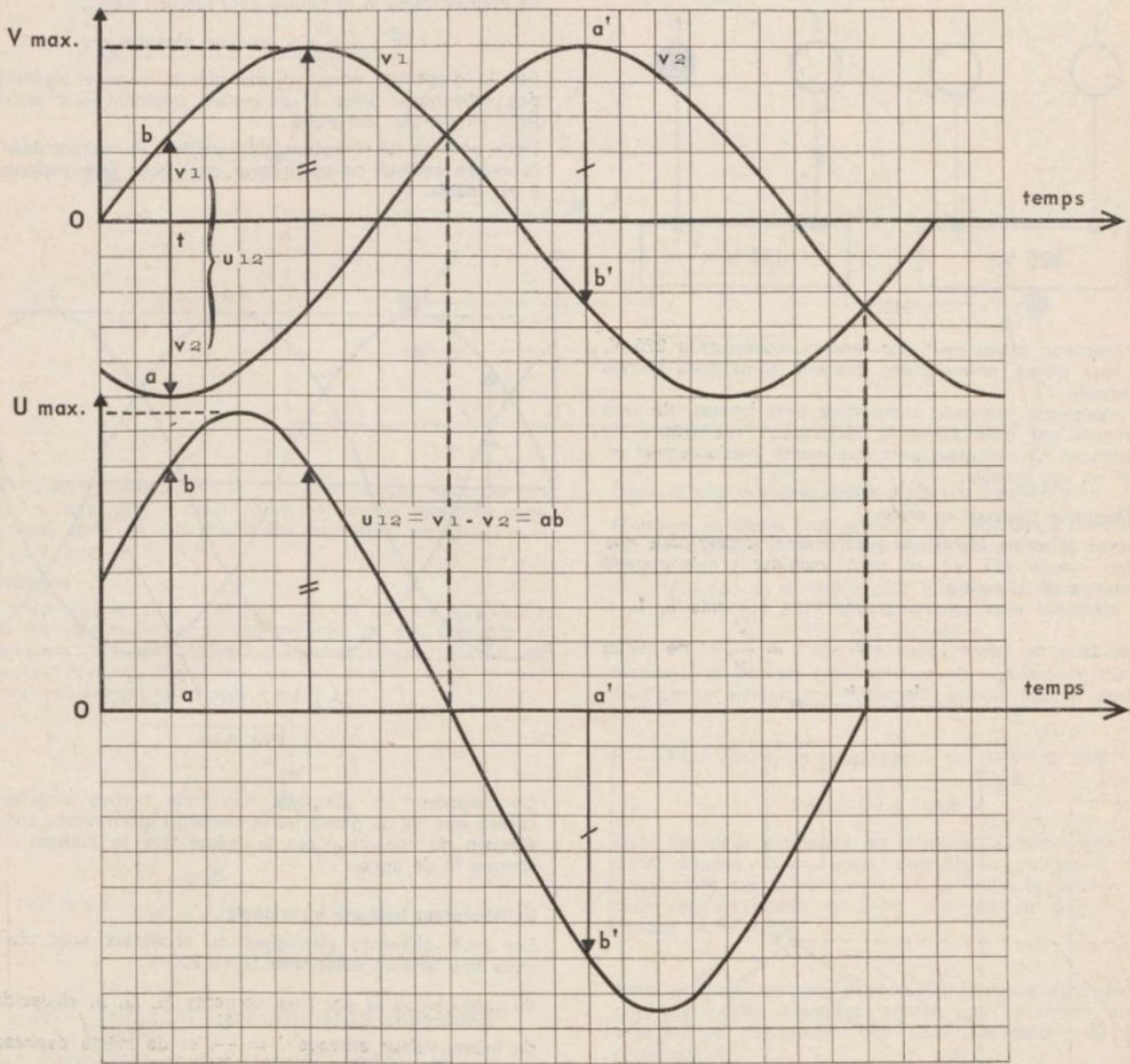


FIG. 7

### III. — UTILISATION DES TENSIONS TRIPHASEES

Un récepteur, prévu pour une tension monophasée 127 V, peut être utilisé, normalement, branché entre la borne du neutre et une borne de phase.

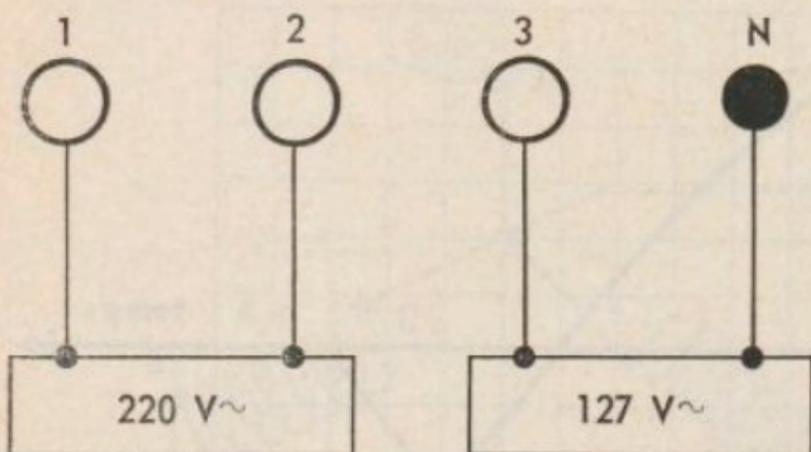


FIG. 8

Un récepteur, prévu pour une tension monophasée 220 V, peut être utilisé, normalement, branché entre deux bornes de phases.

Les récepteurs triphasés comportent trois bornes. Ils sont constitués par trois éléments identiques : résistances ou impédances. Le récepteur peut être monté intérieurement en étoile ou en triangle.

#### a) Récepteur triphasé en étoile

Les trois éléments identiques sont respectivement sous une tension simple 127 V ; on peut imaginer provisoirement l'existence du fil neutre.

Ces éléments sont parcourus par trois courants  $i_1, i_2, i_3$  sinusoïdaux, de même valeur efficace  $I = \frac{V}{Z}$ , et de même

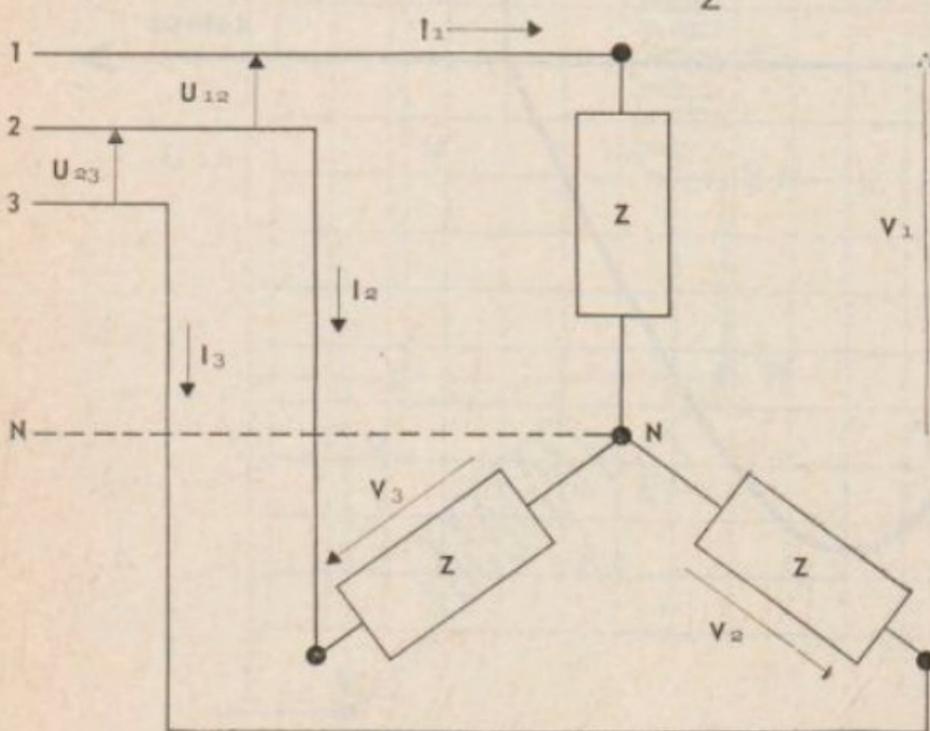


FIG. 9

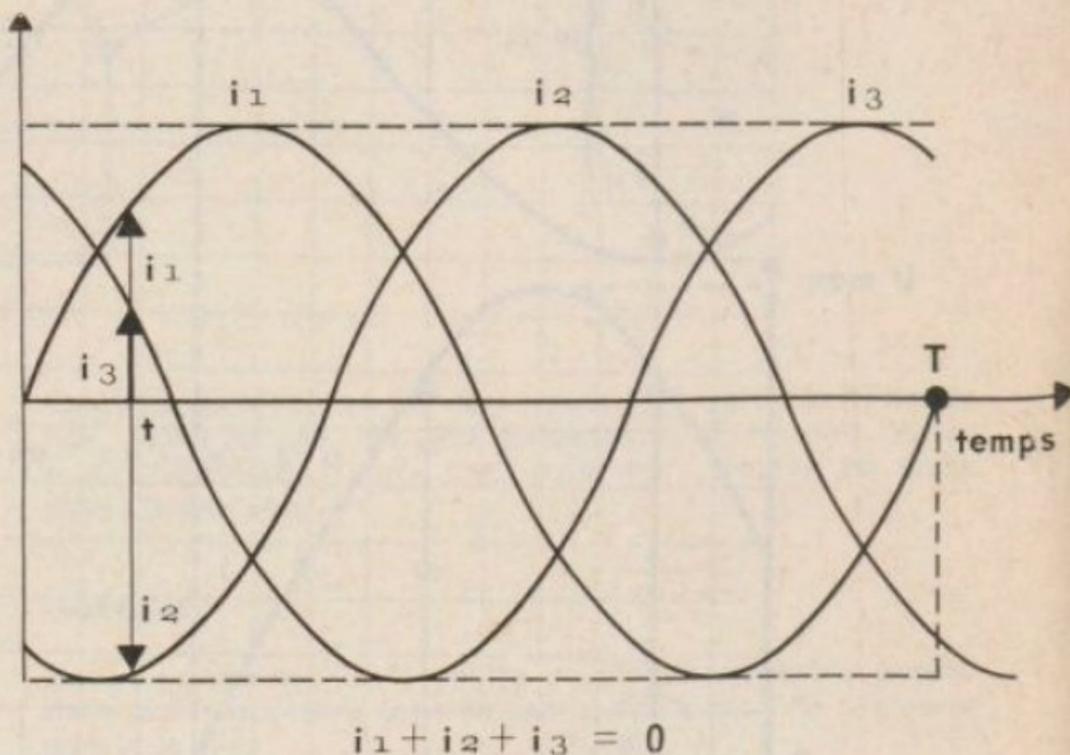
déphasage  $\varphi$  par rapport aux tensions  $V_1, V_2$  et  $V_3$ . En valeurs instantanées, ces courants  $i_1, i_2$  et  $i_3$  sont représentés par trois sinusoïdes déphasées de  $120^\circ$  ou  $\frac{2\pi}{3}$ .

Le courant dans le fil neutre « de retour » serait :

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \text{ (somme algébrique)}$$

Sur le graphique nous voyons que la somme algébrique des ordonnées, prise à un instant quelconque  $t$  sur les trois sinusoïdes, est nulle.

Donc pour un tel récepteur, dit équilibré, le courant dans le fil neutre est nul, ce conducteur peut donc être supprimé : il est inutile.



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

FIG. 9 bis

Ce récepteur ne comporte que trois bornes extérieures reliées aux fils de phase, et le courant  $I$  qui traverse chaque élément du récepteur est le même que le courant dans chaque fil de ligne.

#### b) Récepteur triphasé en triangle

Les trois éléments identiques du récepteur sont chacun sous une tension composée  $U = 220 \text{ V}$ .

Ils sont parcourus par trois courants  $J_{12}, J_{23}, J_{31}$  sinusoïdaux de même valeur efficace  $J = \frac{U}{Z}$ , et de même déphasage par rapport à ces tensions, ils sont donc triphasés.

Le courant dans un fil de ligne, par exemple  $i_1$ , est une combinaison des courants  $J_{12}$  et  $J_{31}$ .

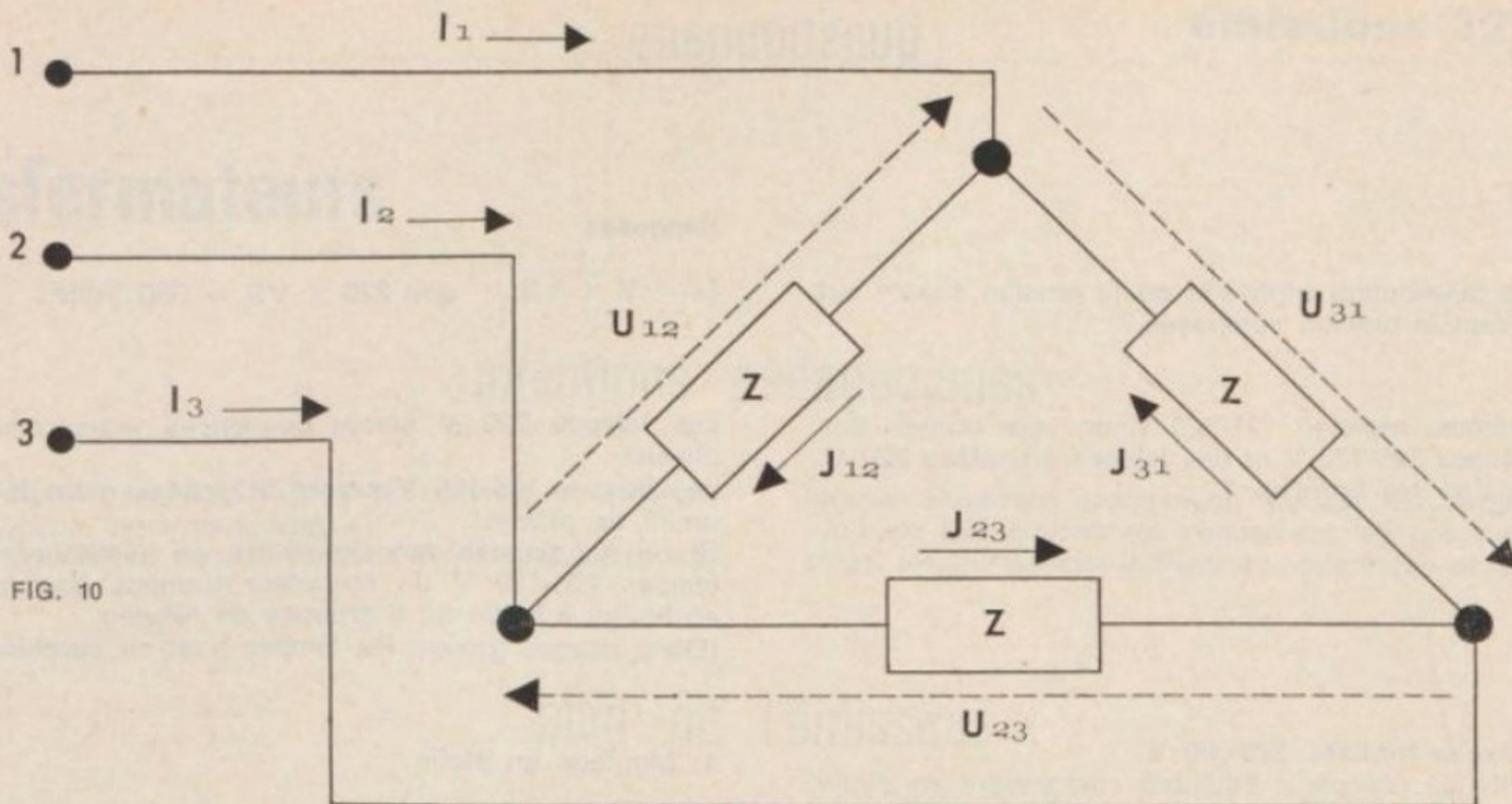


FIG. 10

En valeurs instantanées  $i_1 = j_{12} - j_{31}$  (on retrouve un résultat analogue à celui obtenu pour les tensions composées), donc en valeur efficace un courant en ligne  $I = J$  courant interne  $\times \sqrt{3}$ .

#### Remarque

Il a été signalé dans l'émission 17 « le courant alternatif » que les valeurs efficaces des tensions ou des courants ne s'ajoutent pas en général, arithmétiquement, comme en courant continu. Cependant on pourrait le faire si ces grandeurs étaient en phase.

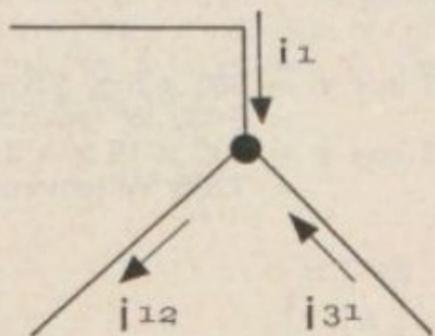


FIG. 10 bis

$$i_1 = j_{12} - j_{31}$$

#### IV. — PUISSANCE EN COURANTS TRIPHASÉS

Pour chaque élément d'un récepteur triphasé on peut calculer la puissance moyenne mise en jeu en utilisant la relation du courant monophasé  $P = UI \cos \varphi$ ;  $U$  tension utilisée pour cet élément,  $I$  courant qui le traverse,  $\cos \varphi$  facteur de puissance.

#### Dans le cas des récepteurs triphasés équilibrés :

**Montage en étoile** (voir schéma 9) : puissance consommée par un élément  $p = VI \cos \varphi$ , et pour tout le récepteur

$$P = 3VI \cos \varphi, \text{ en remplaçant } V \text{ par } \frac{U}{\sqrt{3}} \text{ on a :}$$

$$P = UI \sqrt{3} \cos \varphi$$

**Montage en triangle** (voir schéma 10) : puissance consommée par un élément  $p = UJ \cos \varphi$ , et pour tout le récepteur

$$P = 3UJ \cos \varphi, \text{ en remplaçant } J \text{ par } \frac{I}{\sqrt{3}} \text{ on a :}$$

$$P = UI \sqrt{3} \cos \varphi$$

Dans les deux montages on retrouve la même expression dans laquelle  $P$  en watts exprime la puissance active consommée par le récepteur,  $U$  en volts, la tension entre deux fils de phase, et  $I$  en ampères, le courant dans chaque fil de ligne.

**Nota.** — Bien que cette relation soit la même dans les deux cas, les mêmes éléments montés soit en étoile, soit en triangle, ne constituent pas deux récepteurs de même puissance.

Dans le second cas en triangle, la puissance est trois fois plus grande, en effet chaque élément est alors soumis à une tension  $\sqrt{3}$  fois plus forte que dans le cas du montage en étoile.

## questionnaire

### Questions

1° Dans une distribution triphasée où la tension simple est 220 V, que vaut la tension composée ?

2° Sur un réseau triphasé 127-220 V on veut utiliser des lampes marquées 125-130 V et des lampes marquées 220 V. Comment doit-on les brancher ?

3° Sur un réseau triphasé 220-380 V,

a) on a monté un récepteur équilibré comprenant en étoile trois impédances de  $44 \Omega$  chacune ; quel est le courant en ligne ?

b) sur le même réseau on monte en triangle ces mêmes impédances, quel est le courant en ligne ?

4° Dans le cas où ces impédances ont un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,8$ , calculer la puissance absorbée :

a) pour le montage en étoile  $P$ .

b) pour le montage en triangle  $P'$ .

### Réponses

$$U = V \times \sqrt{3}, \quad \text{soit } 220 \times \sqrt{3} = 380 \text{ Volts.}$$

Les lampes 220 V seront branchées entre deux fils de phases.

Les lampes 125-130 V seront branchées entre le neutre et un fil de phase.

Si on ne dispose pas de neutre on constituera avec les lampes 125-130 V un récepteur triphasé équilibré, monté en étoile, à l'aide de 3 groupes de lampes.

(Dans chaque groupe les lampes sont en parallèle.)

a) Montage en étoile

$$220 \text{ V} = \text{Tension simple}$$

$$\text{Le courant en ligne } I = \frac{220}{44} = 5 \text{ A}$$

b) Montage en triangle  $U = 380 \text{ V}$ , est une tension composée ;

$$\text{Courant par élément } J = \frac{380}{44} = 8,7 \text{ A}$$

Courant en ligne

$$I = J \sqrt{3} = \frac{380 \times \sqrt{3}}{44} = 15 \text{ A}$$

$$\text{a) } P = UI \sqrt{3} \cos \varphi = 380 \times 5 \times \sqrt{3} \times 0,8 = 2632 \text{ W (environ)}$$

$$\text{b) } P' = UI \sqrt{3} \cos \varphi = 380 \times 15 \times \sqrt{3} \times 0,8 = 7898 \text{ W (environ)}$$

$$P' = 3P$$

# transformateurs

## intentions pédagogiques

Le transformateur renforce l'étude précédente du phénomène d'induction électromagnétique. D'autre part, l'analyse de son fonctionnement industriel, en

régime sinusoïdal permanent, permet un rappel et une synthèse des notions qui concernent les courants, les tensions, les puissances actives et apparentes en alternatif.

## plan de l'émission

- 1) Rappel : induction électromagnétique.
- 2) Transformateur à vide : analyse des tensions.
- 3) Transformateur en charge : analyse des courants, des

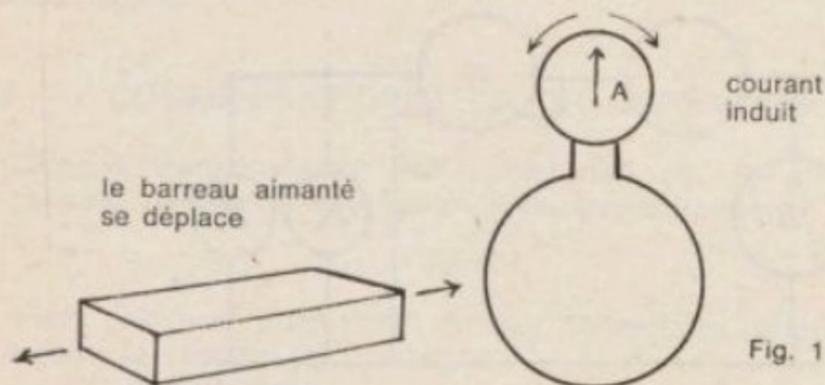
- puissances ; pertes du transformateur.
- 4) Comment choisir un transformateur ?
- 5) Applications du transformateur.

## contenu de l'émission

### 1. — RAPPEL : INDUCTION ÉLECTROMAGNETIQUE

Lorsque l'aimant se déplace, il crée dans la spire un courant induit. La force électromotrice d'induction qui prend naissance dans cette spire, est liée à la vitesse de **variation** du flux d'induction magnétique et vaut

$$e = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

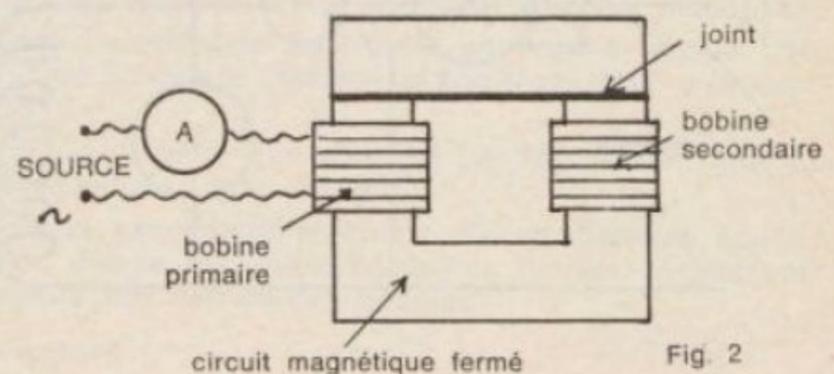


Mais il est possible d'éviter tout déplacement mécanique.

en remplaçant l'aimant mobile par une bobine fixe traversée par un courant **variable**, le courant alternatif.

Un transformateur comporte donc deux bobines, isolées électriquement entre elles (cf. fig. 2).

Le couplage magnétique des bobines exige un circuit magnétique bien fermé, qui canalise les lignes d'induction. Le transformateur ne peut fonctionner en continu. Il s'emploie industriellement en tension alternative sinusoïdale.



## 2. — TRANSFORMATEUR A VOIE

$N_1$  est le nombre de spires du circuit dit « primaire », et qui est alimenté par un générateur alternatif.

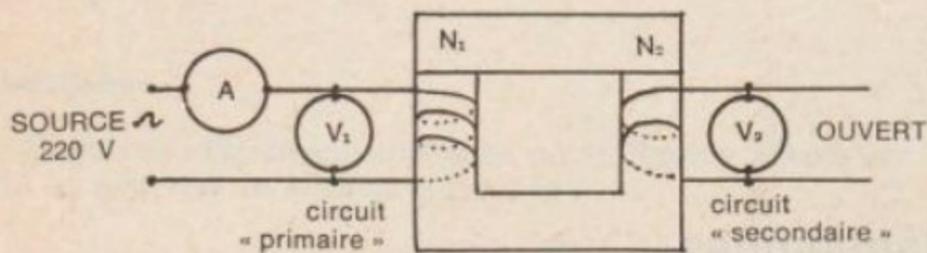


Fig. 3

$N_2$  est le nombre de spires du circuit dit « secondaire ». Celui-ci est ouvert: aucun courant ne peut circuler au secondaire. Le transformateur fonctionne à vide.

Le transformateur à vide se comporte au primaire comme une simple bobine à noyau de fer.

Le courant primaire sert à engendrer, dans le circuit magnétique, un flux d'induction magnétique variable.

**Propriété essentielle du transformateur à vide:** « le rapport des tensions à vide est égal au rapport des nombres de spires de chacune des bobines ».

Cette propriété s'écrit :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = m$$

Le rapport  $\frac{N_2}{N_1}$  s'appelle le rapport de transformation «  $m$  » du transformateur. C'est un nombre.

Exemple :  $U_1 = 220 \text{ V}$   $N_1 = 1\ 000$  spires  $N_2 = 500$  spires  
 $\frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{2}$  et  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{2}$ ; donc  $U_2 = 110 \text{ V}$

Pour obtenir de fortes tensions secondaires, il faut choisir

une tension primaire  $U_1$  grande, et un rapport de transformation «  $m$  » aussi grand que possible.

$U_1 = 220 \text{ V}$  et  $m = 100$ , alors  $U_2 = 22\ 000 \text{ V}$ .

Cette ddp est suffisante pour faire jaillir un arc entre les 2 électrodes du circuit secondaire de la figure 4.

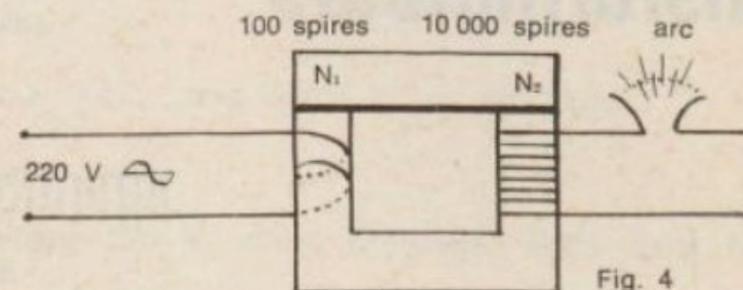


Fig. 4

## 3. — TRANSFORMATEUR EN CHARGE

Si l'on désire utiliser la tension  $U_2$  que nous avons obtenue, il faut brancher au secondaire un récepteur, par exemple des lampes.

Un courant se manifeste au secondaire; le transformateur n'est plus à vide: il est dit maintenant « en charge ».

La tension secondaire en charge est, dans la plupart des cas, légèrement inférieure à la tension secondaire à vide.

**Propriété essentielle du transformateur en charge:** « le rapport des courants en charge reste pratiquement égal à l'inverse du rapport de transformation ».

Cette propriété s'écrit :

$$\frac{I_2}{I_1} \approx \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{m}$$

Cette relation peut encore s'écrire :

$$N_1 I_1 \approx N_2 I_2$$

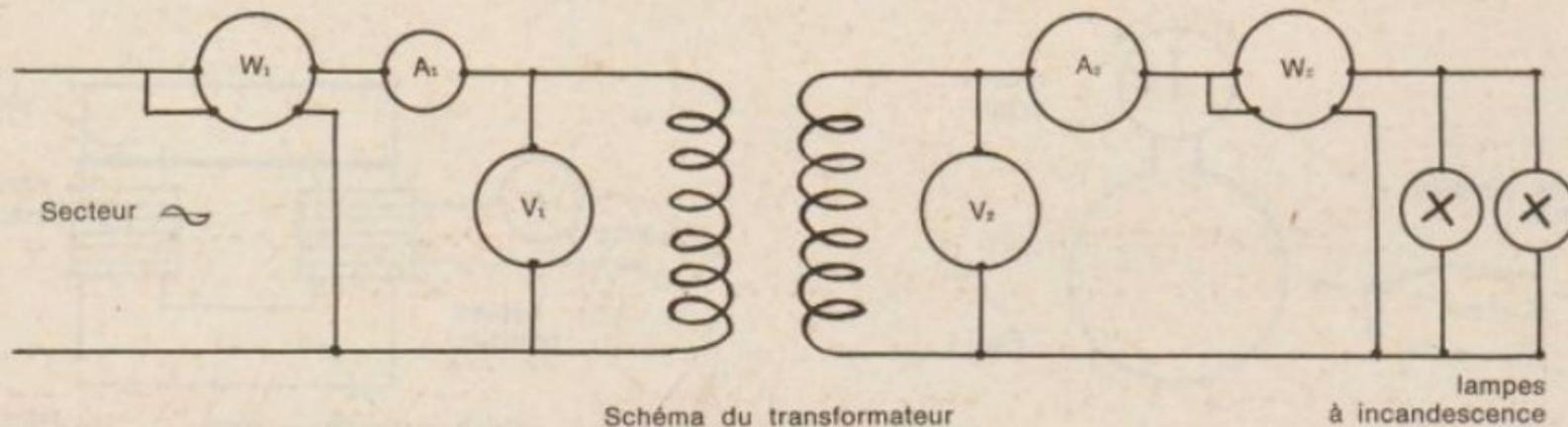


Schéma du transformateur

lampes à incandescence

Fig. 5

Et s'énoncer : « en charge, les ampères tours primaires  $N_1 I_1$  sont pratiquement égaux aux ampères tours secondaires  $N_2 I_2$  ».

Exemple :  $N_1 = 500$  spires       $N_2 = 250$  spires  
 $I_1 = 2$  A      Alors  $I_2 = I_1 \times \frac{N_1}{N_2}$   
 $I_2 = 2 \times \frac{500}{250} = 4$  A

**Mise en garde :**

2 dangers sont à éviter pour l'utilisateur du transformateur.

1) Le courant primaire est pratiquement proportionnel au courant secondaire.

Si l'on augmente le nombre de lampes en parallèle, la résistance de l'ensemble diminue, et les courants deviennent trop intenses (voir exercice au questionnaire).

« Il ne faut **jamais mettre en court-circuit** un transformateur alimenté sous sa tension normale d'utilisation. »

2) Parfois il est important de ne pas retourner le transformateur ; cela se produit lorsqu'en branchement normal, le transformateur est abaisseur de tension, donc lorsque  $m < 1$ .

Exemple :  $U_1 = 220$  V       $m = 0,5$        $U_2 = 110$  V

Lorsque l'on retourne le transformateur,  $U_1 = 220$  V  
 $m = 2$  et  $U_2 = 440$  V.

La tension secondaire est 4 fois trop importante (voir le questionnaire).

**Autres propriétés du transformateur en charge**

Le wattmètre au secondaire indique une puissance absorbée  $P_2$  légèrement inférieure à la puissance  $P_1$  fournie par la source au primaire.

Une faible partie de la puissance est **perdue** dans le transformateur sous une double forme :

- 1) les enroulements, résistants, s'échauffent par effet Joule.
- 2) des courants induits parasites, appelés courants de Foucault, circulent dans le fer du circuit magnétique. On réduit ces pertes en divisant le circuit magnétique en minces feuilles isolées.

**4. — COMMENT CHOISIR UN TRANSFORMATEUR**

— Chaque transformateur est caractérisé par le produit  $UI$ , appelé puissance apparente  $S$  du transformateur.

$$S_{VA} = U_V \cdot I_A$$

$S$  n'est pas une puissance active ; celle-ci en effet fait intervenir le facteur de puissance

$$P_W = U_V \cdot I_A \cdot \cos \varphi$$

— La puissance apparente du transformateur fait intervenir indistinctement les grandeurs primaires ou secondaires.

En effet, nous avons montré les relations :

$$U_2 = m U_1 \quad \text{et} \quad I_2 = \frac{1}{m} I_1$$

Nous en déduisons :  $U_2 I_2 = U_1 I_1$ .

**Exemple :** un transformateur doit alimenter sous 110 V

- 1) un réfrigérateur qui absorbe un courant de 10 A
- 2) un aspirateur qui exige 4 A
- 3) un fer à repasser de 600 W, qui absorbe donc

$$I = \frac{P}{U} = \frac{600}{110} = 5,4 \text{ A}$$

En se plaçant dans le cas le plus défavorable où tous les appareils fonctionnent simultanément, et où tous les courants sont en phase nous trouvons un courant de  $10 + 4 + 5,4 \approx 20$  A.

Le transformateur doit avoir une puissance apparente d'au moins  $110 \times 20 = 2\,200$  VA.

Plus le transformateur est volumineux, et plus il peut supporter des tensions et des courants élevés ; donc plus sa puissance apparente est grande.

**APPLICATIONS DU TRANSFORMATEUR**

**1) Transport en très haute tension de l'énergie électrique**  
 Le transport d'énergie électrique se fait actuellement sous 220 000 V, et même sous 380 000 volts.

On recherche ces très hautes tensions parce qu'à puissance apparente  $UI$  transportée donnée, une élévation de la tension  $U$  se traduit par une baisse du courant efficace  $I$  de la ligne.

Les pertes Joule en ligne sont proportionnelles au carré du courant efficace  $I$ , donc inversement proportionnelles au carré de la tension d'alimentation (voir questionnaire).

Généralement, sont utilisés les transformateurs triphasés haute tension. Ils se comportent pratiquement comme si existait sur chaque phase un transformateur monophasé.

**2) Dans l'automobile** se trouve un organe appelé bobine, et qui se comporte comme un transformateur élévateur de tension.

Le circuit primaire est alimenté par un courant interrompu périodiquement (donc variable).

Le circuit secondaire comporte de nombreuses spires. La tension élevée qui prend naissance permet l'éclatement de l'étincelle aux bornes des bougies.

## questionnaire

### Questions

1) Un transformateur est alimenté au primaire par une ddp de 11 000 V. La tension secondaire à vide vaut 110 V.

a) quel est le rapport de transformation ?

b) le transformateur, supposé sans perte, alimente au secondaire 50 lampes en parallèle, absorbant chacune 60 watts.

Quels sont les courants ?

c) le transformateur peut fournir une puissance apparente maximale de 5,5 kVA. Quel fusible doit-on placer dans le circuit primaire pour protéger le transformateur ?

d) que se passe-t-il si l'on branche en parallèle 150 lampes de 60 watts ?

2) On retourne le transformateur précédent.

Quelle est la tension secondaire à vide ?

3) Un réseau électrique absorbe une puissance de 1 100 kW, avec un facteur de puissance de 1. La ligne de transport possède une résistance de  $r = 100 \Omega$ .

a) la ddp de transport est de 11 kV.

Quelles sont les pertes en ligne ?

b) même question lorsque la ddp de transport atteint 220 kV.

Conclusions ?

c) le facteur de puissance du réseau est maintenant  $\cos \varphi = 0,7$ .

Quelles sont les pertes en lignes ?

### Réponses

$$a) m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{100}$$

b) les lampes absorbent  $60 \times 50 = 3000$  watts.

En supposant que la tension secondaire en charge vaut toujours 110 V, le courant secondaire  $I_2 = \frac{3000}{110} = 27$  A.

Le courant absorbé au primaire vaut  $I_1 = m I_2 = 0,27$  A.

c) Le courant primaire maximal vaut  $\frac{5500}{11000} = 0,5$  A.

Il faut donc un fusible de 0,5 A.

d) Le courant primaire est le triple du courant absorbé lorsque 50 lampes sont branchées :  $I_1 = 0,27 \times 3 = 0,81$  A. Les fusibles fondent.

Cette fois  $m = 100$

$$U_1 = 11 \text{ kV}$$

$$U_2 = m U_1 = 1100 \text{ kV}$$

Le transformateur n'est pas isolé pour supporter des ddp aussi fortes, et est mis hors d'usage.

a)  $P = UI \cos \varphi$  est la puissance absorbée par le réseau.

$$\text{Le courant en ligne vaut } I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{1100 \times 10^3}{11 \times 10^3 \times 1} \text{ A}$$

$$I = 100 \text{ A}$$

Les pertes en ligne valent

$$p = r I^2 = 10^2 \times 10^4 \text{ W}$$

$p$  vaut **1 000 kW**, donc presque autant que la puissance d'utilisation !

b)  $U = 220$  kV, alors  $I = 5$  A.

Pertes en ligne

$$p = r I^2 = 10^2 \times 25 \text{ W, soit } 2,5 \text{ kW.}$$

Les pertes sont fortement réduites.

c)  $\cos \varphi = 0,7$  et  $U = 220$  kV.

$$I = \frac{5}{0,7} = 7,1 \text{ A.}$$

$$p = 10^2 \times 50 \text{ soit } 5 \text{ kW.}$$

Les pertes en ligne augmentent.

# redresseurs

## intentions pédagogiques

Le but poursuivi est double :

- 1) Montrer qu'un redresseur permet le passage d'un courant dans un sens, et ne le permet pas dans l'autre. Cette propriété nouvelle de non linéarité est à la base de

l'étude de tous les circuits de l'électronique.

- 2) Montrer que le redresseur, associé au transformateur, permet le passage du courant alternatif au courant redressé, circulant toujours dans le même sens.

## plan de l'émission

- 1) But du redresseur.
- 2) Le tube diode à vide est un redresseur :
  - 2-1) Etude expérimentale.
  - 2-2) Interprétation électronique.
- 3) La diode à jonction est un redresseur.
- 4) Applications des diodes au redressement des tensions :
  - 4-1) Débit sur résistance pure.
  - 4-2) Montage en pont.
  - 4-3) Débit sur circuit capacitif.
- 5) Utilisations industrielles des redresseurs :
  - 5-1) Chargeur des batteries d'accumulateurs.
  - 5-2) Obtention de forts courants redressés.

## contenu de l'émission

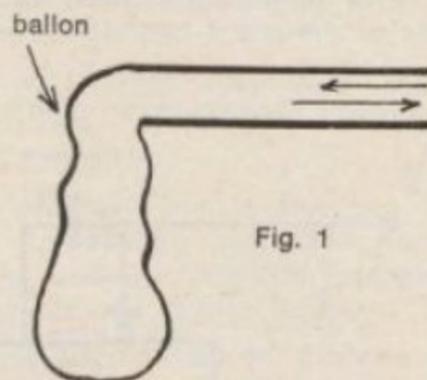


Fig. 1

### 1. — BUT DU REDRESSEUR

— Examinons la figure 2.

Lorsque l'on souffle dans le ballon, la valve laisse passer l'air dans le sens indiqué par les flèches. Dès que l'on cesse

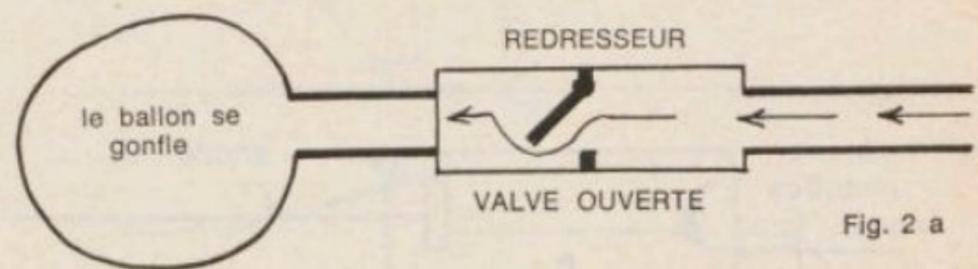


Fig. 2 a

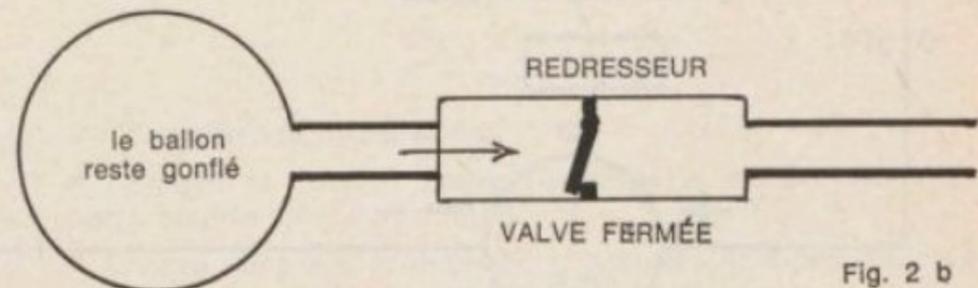


Fig. 2 b

de souffler, la valve se ferme, et le débit d'air est interrompu.

— Par contre (figure 1) lorsque la valve n'existe pas, le ballon se gonfle puis se dégonfle ; le débit d'air s'effectue dans un sens ou dans l'autre.

— La valve joue en mécanique un rôle analogue à celui du redresseur en électricité.

Un redresseur permet le passage d'un courant dans un sens, et ne le permet pas dans l'autre.

## 2. — LE TUBE DIODE A VIDE EST UN REDRESSEUR

### 2-1) Etude expérimentale :

— le tube diode à vide fut inventé par **Edison** vers 1900.

— un tube diode plus récent comporte une ampoule de

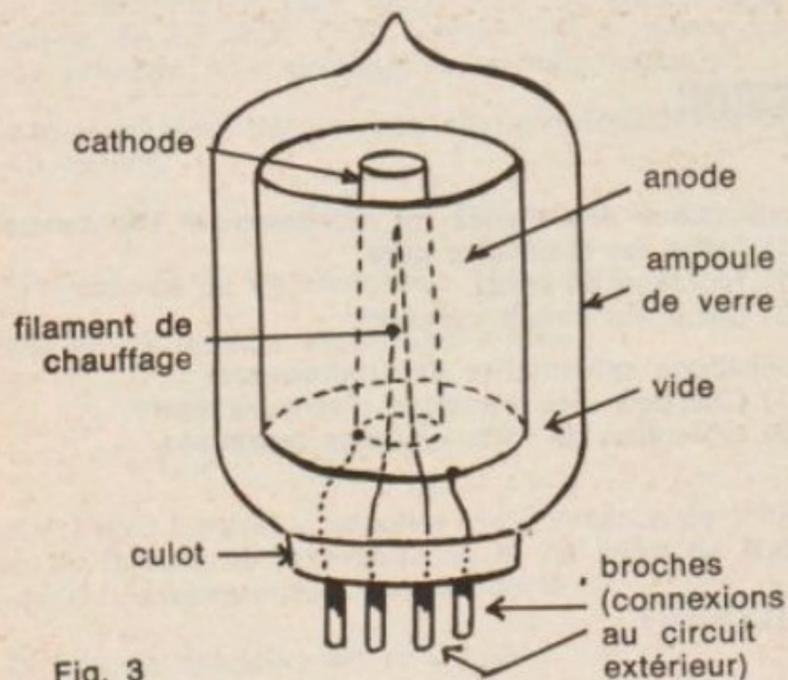


Fig. 3

verre où l'on a effectué un vide très poussé, et 2 électrodes cylindriques coaxiales (voir figure 3) appelées anode et cathode.

— le plus souvent, le tube diode comporte un filament de chauffage, logé à l'intérieur de la cathode creuse, et destiné à chauffer celle-ci. Le tube est dit à chauffage indirect.

— Dans les tubes à chauffage direct, c'est la cathode elle-même que l'on chauffe, à l'aide d'une batterie auxiliaire.

— le schéma adopté pour le tube diode est représenté figure 4.

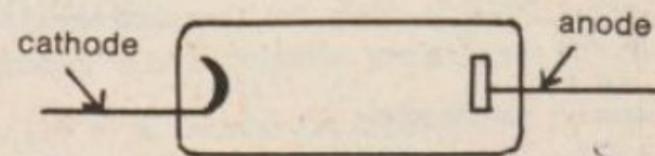


Fig. 4

— Insérons le tube diode dans le circuit électrique ci-contre (figure 5).

— lorsque l'on ferme l'interrupteur **K** schématisé par la figure 5, un courant s'établit et circule malgré le vide de l'ampoule.

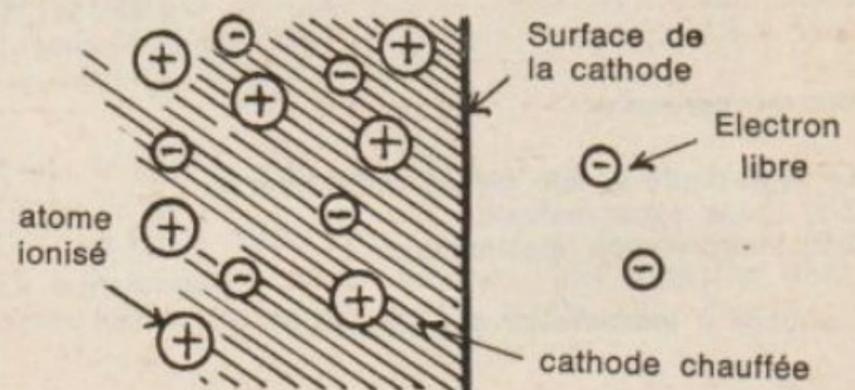


Fig. 6 : CATHODE CHAUFFÉE

— Contre-expériences :

- 1) lorsque l'on arrête le chauffage du tube, le courant cesse ;
- 2) l'ampèremètre ne dévie plus si l'on chauffe de nouveau la cathode, mais si la polarité du générateur est inversée.

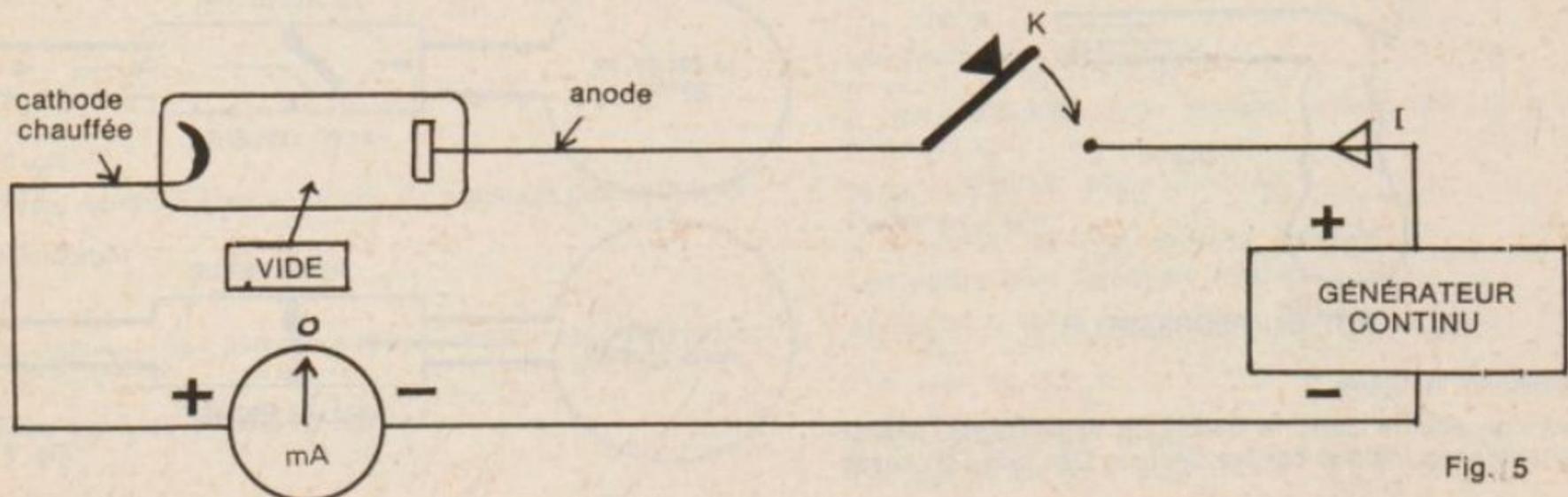


Fig. 5

— En conclusion : l'espace vide entre anode et cathode d'un tube diode laisse passer le courant **dans un seul sens**, lorsque la cathode est chauffée et l'anode positive. Le **tube diode** se comporte comme un **redresseur**.

## 2-2) Interprétation électronique.

— La cathode contient des électrons libres. Lorsque la cathode est chauffée, l'agitation thermique est grande, et des électrons s'échappent de la cathode (fig. 6).

Cette émission électronique, à cause de son origine thermique, est appelée :



— Expliquons maintenant l'existence paradoxale du courant précédent, traversant le vide (figure 7).

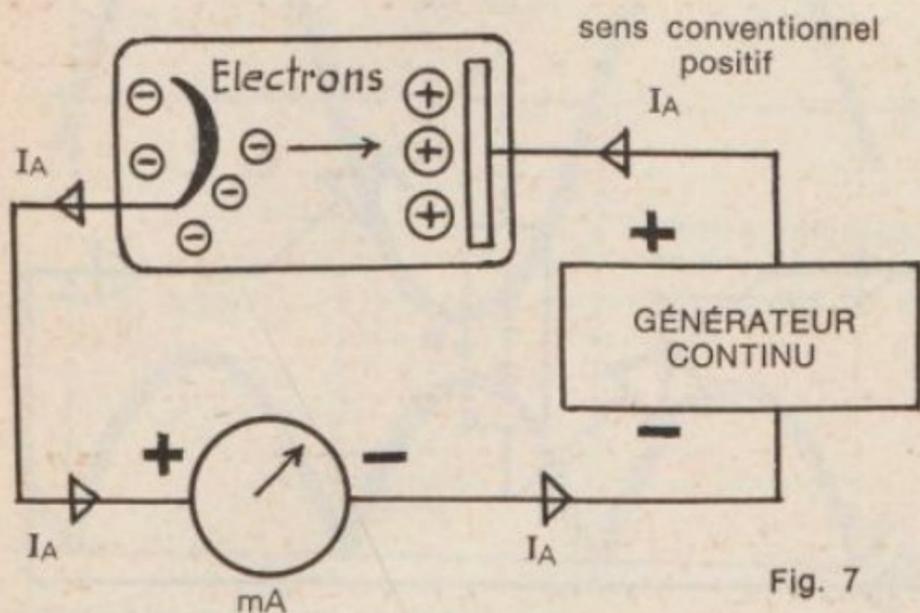


Fig. 7

Les électrons émis par la cathode chauffée possèdent une charge négative, et sont donc attirés par l'anode positive ; ils s'élancent jusqu'à celle-ci à travers le vide.

Voilà pourquoi le courant électrique, appelé  $I_A$  courant d'anode, s'établit malgré le vide de l'ampoule.

Le tube diode « conduit ».

— J'attire votre attention sur le fait que le courant électronique est un courant de particules négatives. Le sens conventionnel du courant d'anode, décelé par le milliampèremètre, est indiqué sur la figure.

Le courant d'anode circule bien de la borne + à la borne —, à l'extérieur du générateur.

— Dans une autre expérience, nous avons inversé la polarité du générateur (figure 8).

Les électrons, particules négatives émises par la cathode, sont cette fois repoussés par l'anode portée à un potentiel négatif.

**Aucun courant ne circule** : le tube diode est dit « bloqué ».

— L'anode ne peut émettre des électrons, car elle n'est pas chauffée.

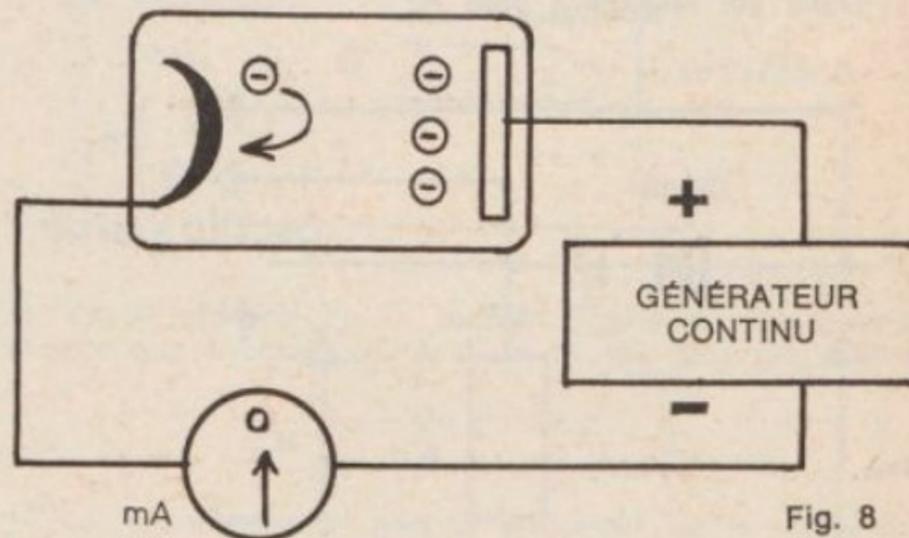


Fig. 8

— Voilà la propriété essentielle du tube diode : il ne laisse passer les électrons que de la cathode émissive vers l'anode.

L'autre sens est interdit.

## 3. — LA DIODE A JONCTION EST UN REDRESSEUR

— Une diode à jonction est un simple petit cristal de germanium ou de silicium, dans lequel on a injecté des impuretés, et qui va jouer le rôle de redresseur.

— Une explication rigoureuse de son fonctionnement dépasserait le cadre de notre étude.

— La diode à jonction est représentée par le schéma ci-contre (figure 9).

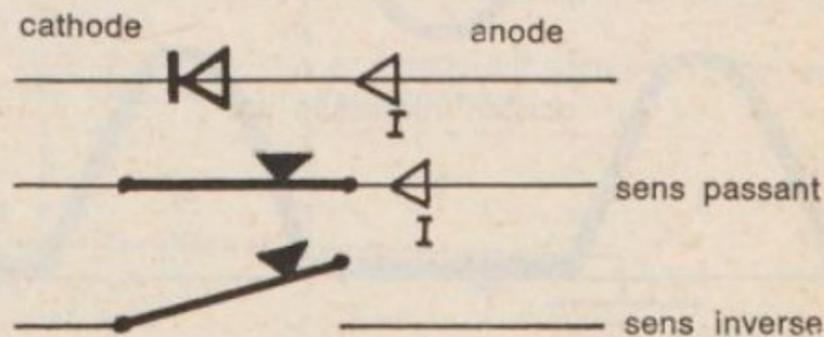


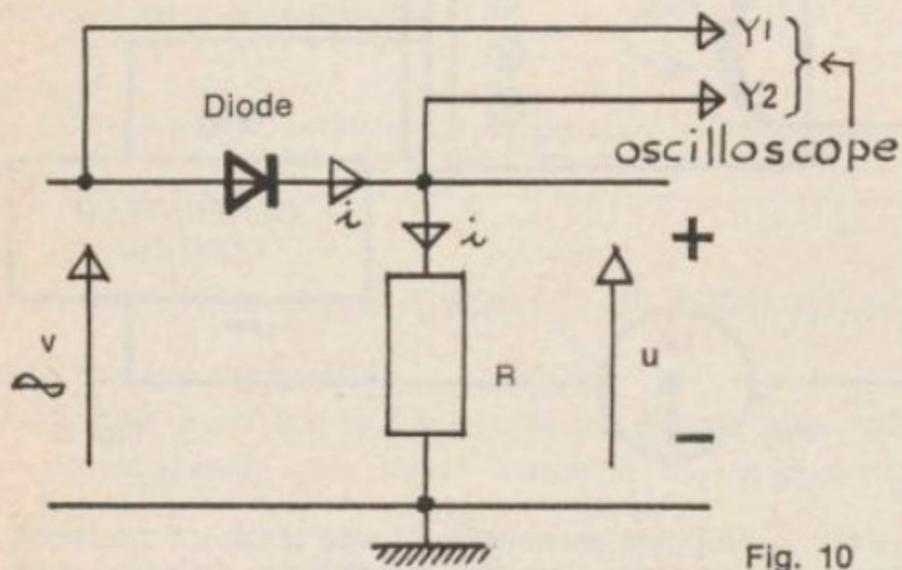
Fig. 9

— L'expérience montre que :

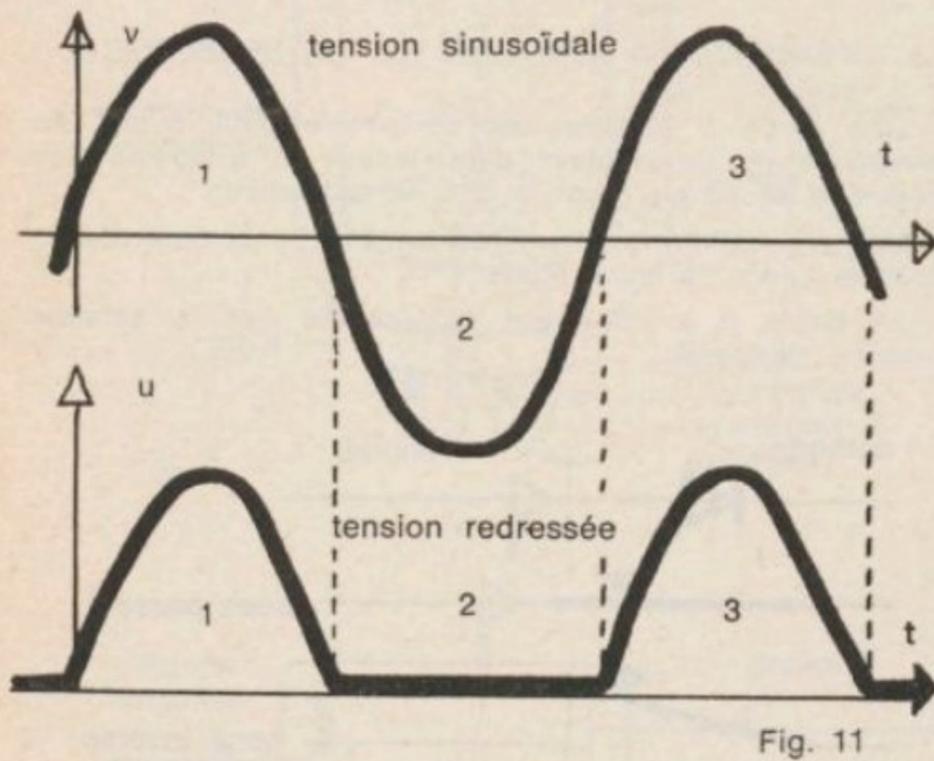
- Lorsque le courant passe, la diode à jonction se comporte comme un court-circuit.
- L'autre sens est pratiquement interdit ; la diode se comporte alors comme un circuit ouvert.

#### 4. — APPLICATIONS DES DIODES AU REDRESSEMENT DES TENSIONS

##### 4-1) Débit sur résistance pure R :



Regardons les tensions à l'oscilloscope bicourbe.



- Pendant l'alternance 1, la tension  $v$  est positive.  
Le courant circule : la diode est en court-circuit, et  $u = v$ .
- Pendant l'alternance 2, aucun courant ne circule (sens interdit).  
La tension  $u$  aux bornes de la résistance  $R$  est nulle.

La tension  $v$  est sinusoïdale  
La tension  $u$  est dite redressée

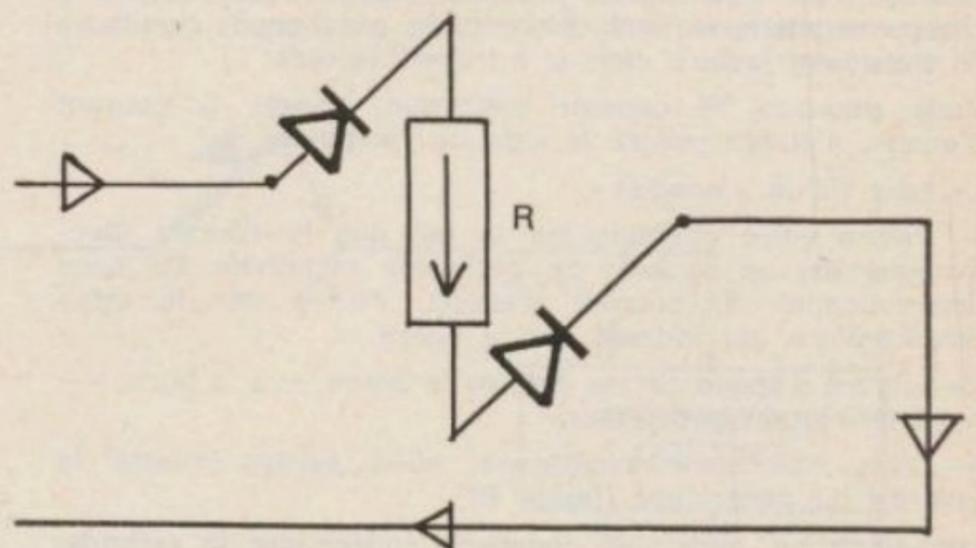
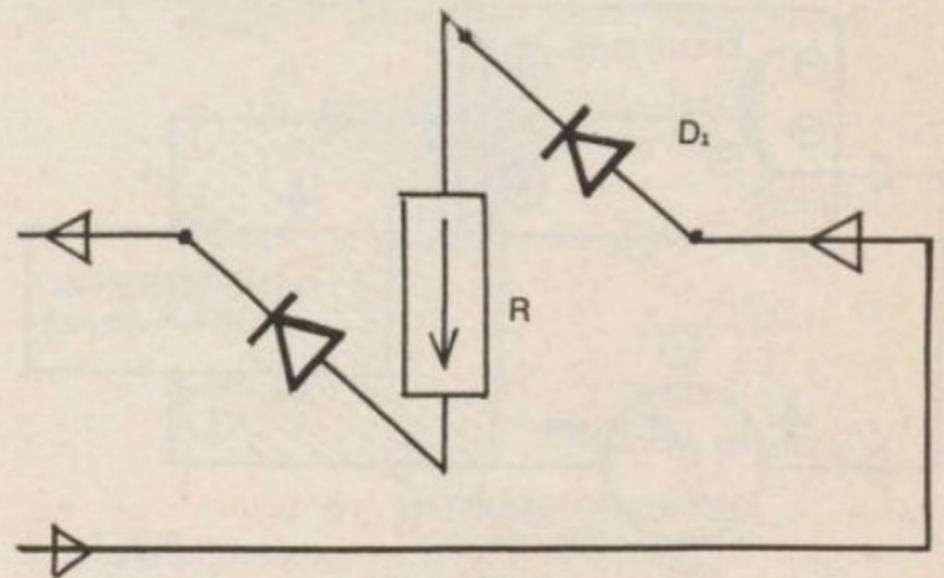
##### 4-2) Montage en pont :

Le montage précédent a l'inconvénient de perdre une partie de la tension appliquée. Souvent l'on utilise un montage plus élaboré, employant 4 diodes (figure 12-c) et appelé montage en pont.

Pendant une alternance, les diodes  $D_1$  et  $D_2$  conduisent (figure 12-a).

Pendant l'autre alternance, ce sont  $D_3$  et  $D_4$  qui conduisent (figure 12-b).

Mais le courant circule dans la charge toujours dans le même sens.



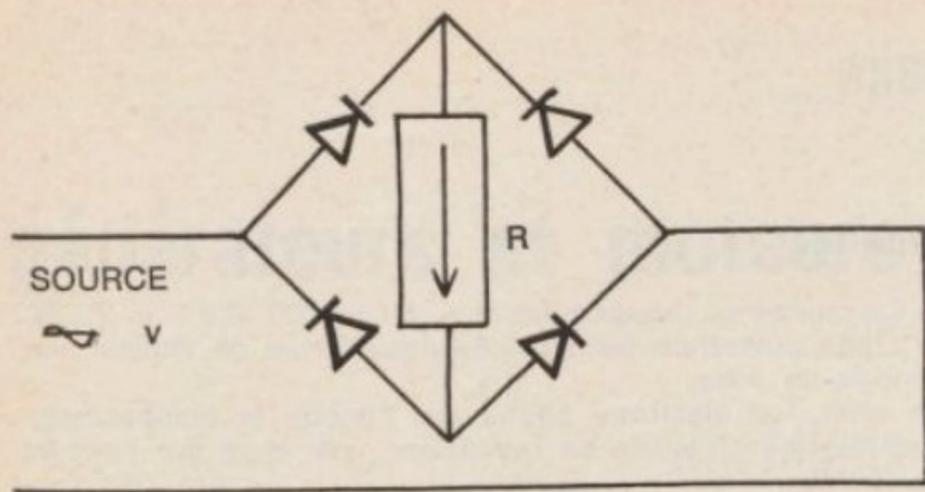
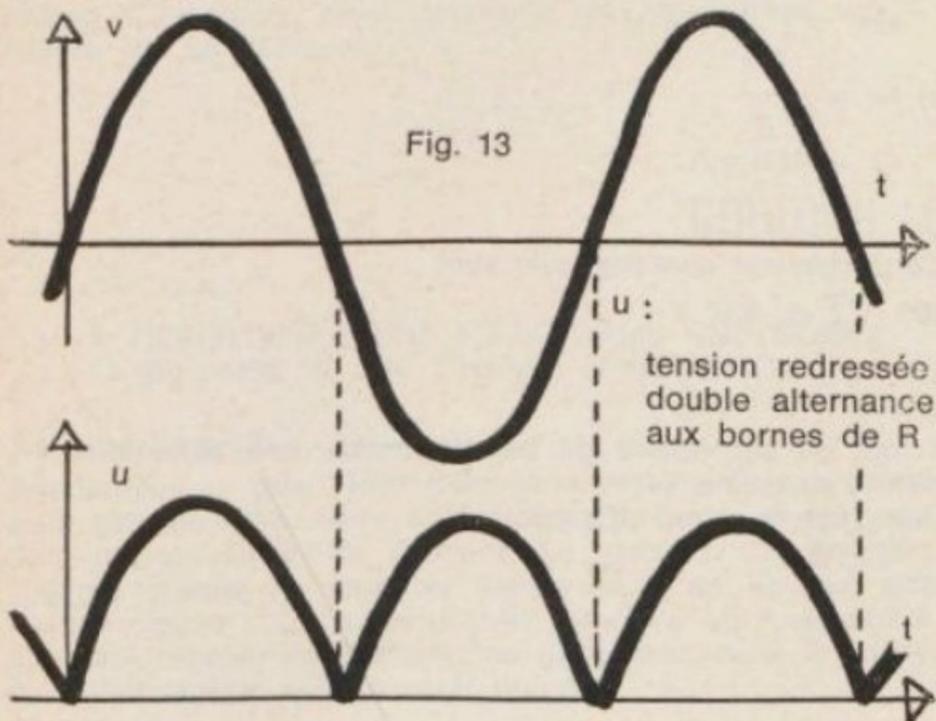


Fig. 12-c

Les oscillogrammes sont :



4-3) Débit sur circuit capacitif :

— Lorsque l'on applique au système de la figure 14 une tension sinusoïdale de la forme  $v = V \sqrt{2} \sin \omega t$ ,  $V$  étant

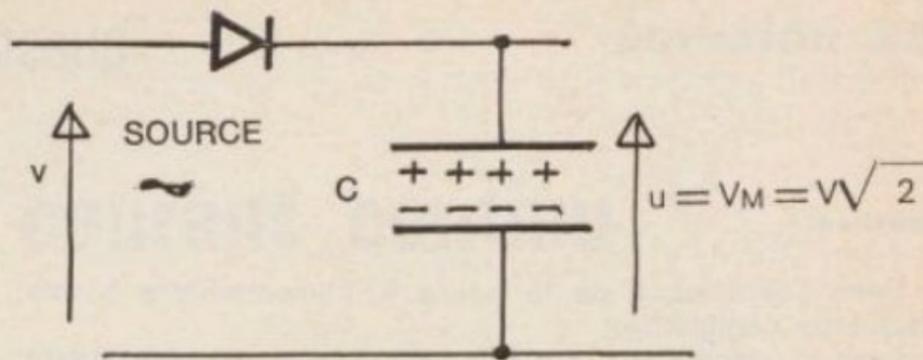


Fig. 14

la valeur efficace de la tension appliquée, l'expérience montre que le condensateur  $C$  se charge sous une tension

$$u = V_M = V \sqrt{2}$$

— Le condensateur ne peut se décharger, car le redresseur l'interdit.

Nous obtenons donc aux bornes du condensateur une **tension continue** ( $u = V_M$ ) obtenue à partir d'une tension alternative sinusoïdale  $v$ .

5. — UTILISATIONS INDUSTRIELLES DES REDRESSEURS

5-1) Chargeur des batteries d'automobile.

— Le chargeur comprend un transformateur, délivrant au secondaire une tension  $v$  alternative, dont la valeur de crête est légèrement supérieure à la f.e.m.  $E$  de la batterie.

— Il comprend de plus un redresseur (ou un montage en pont) qui évite à la batterie de se décharger dans le réseau alternatif.

5-2) Obtention de forts courants redressés.

— L'énergie électrique est produite et transportée sous forme de courant alternatif.

— Elle est souvent exploitée sous forme de courant continu ou redressé (électrolyse - galvanoplastie - moteurs à courant continu).

— Voilà ce qui explique la grande diffusion des redresseurs, souvent associés à un transformateur.

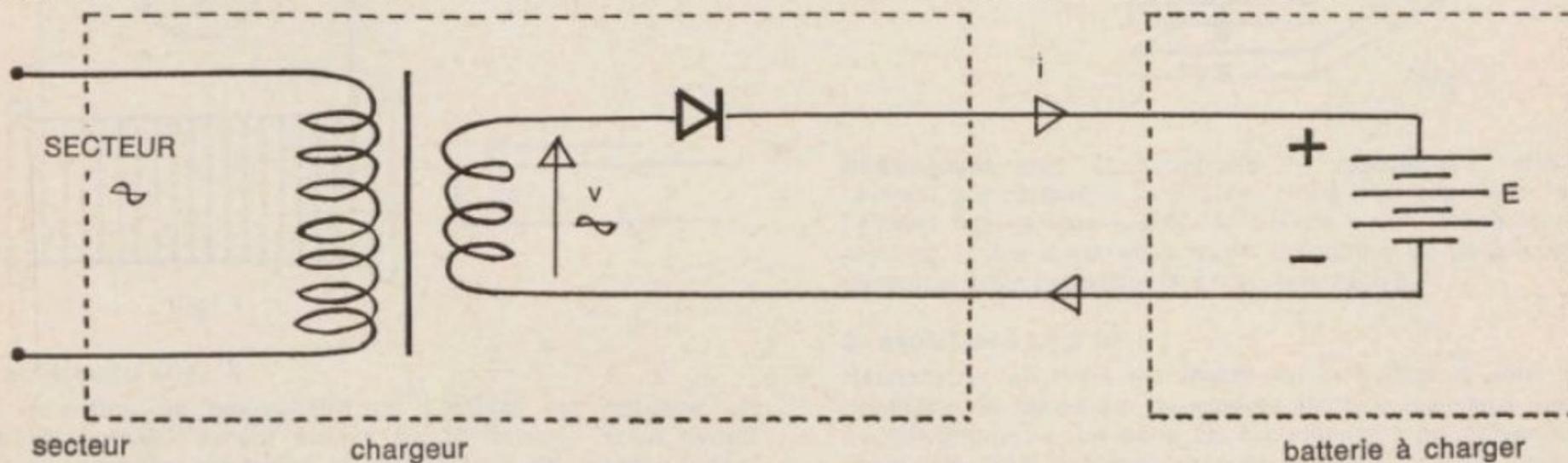


Fig. 15<sub>a</sub>

## questionnaire

### Questions

1) Dans l'expérience de la figure 5, l'ampèremètre a une résistance négligeable.

La f.e.m. du générateur vaut  $E = 200 \text{ V}$ . Le courant traversant la diode vaut  $I_A = 100 \text{ mA}$ .

- Quelle est la puissance dissipée par le circuit ?
- Sous quelle forme est-elle dissipée ?

2) Dans l'expérience de la figure 10, la valeur efficace de la tension sinusoïdale appliquée est  $110 \text{ V}$ .

La résistance  $R$  vaut  $1\,000 \, \Omega$ .

- Valeur maximale  $U_M$  de la *ddp* aux bornes de  $R$  ?
- Valeur maximale  $I_M$  du courant instantané traversant  $R$  ?

3) Expérience de la figure 14.

La tension efficace appliquée vaut  $380 \text{ V}$ .

Quelle est la nature de la *ddp* recueillie aux bornes de  $C$  ?

4) Nous nous proposons de charger une batterie de  $14 \text{ V}$ .  
Quelle doit être la tension minimale secondaire efficace  $V$  permettant de charger la batterie ?

### Réponses

a) La puissance dissipée est  $P = EI = 200 \times 0,1 = 20 \text{ W}$ .

b) Cette puissance est dissipée sous forme de chaleur sur l'anode du tube.

En effet, les électrons attirés par l'anode la bombardent ; leur énergie cinétique se transforme, par choc sur l'anode, en chaleur.

a)  $U_M = V_M = V \sqrt{2}$

$$110 \sqrt{2} = 156 \text{ V}$$

$$U_M$$

b)  $I_M = \frac{U_M}{R}$

$$I_M = 156 \text{ mA}$$

Cette *ddp* est continue, elle vaut :

$$380 \sqrt{2} = 537 \text{ V}$$

Il faut au secondaire du transformateur une tension minimale d'au moins  $14 \text{ V}$ .

Donc une tension efficace

$$V \geq \frac{14}{\sqrt{2}} = 10 \text{ V}$$

# générateurs et moteurs à courant continu

## intentions pédagogiques

Après avoir brièvement rappelé le principe de la production d'une f.e.m. par déplacement d'un conducteur dans un champ d'induction, nous décrirons les réalisations industrielles qui en découlent.

Nous examinerons ensuite les principales propriétés de ces machines. Nous constaterons notamment leur réversibilité. Nous en déduisons la possibilité d'utiliser ces mêmes machines en moteur.

## contenu de l'émission

### I. — OBTENTION D'UNE F.E.M. DANS UNE BOBINE SOUMISE A UN CHAMP D'INDUCTION

#### 1<sup>re</sup> expérience (fig. 1)

Approchons le pôle Nord d'un aimant d'une bobine reliée à un galvanomètre. Nous constatons une déviation tant que dure le mouvement de l'aimant. Le sens de la déviation change lorsque le sens du déplacement de l'aimant est inversé (leçon 13). Si on pouvait produire un mouvement alternatif régulier de l'aimant, on obtiendrait dans le cadre du galvanomètre, un courant alternatif.

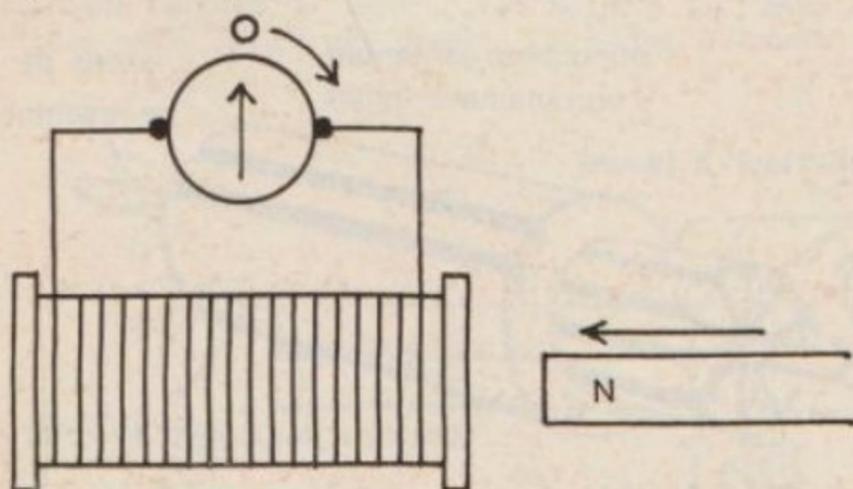


Fig. 1

#### 2<sup>e</sup> expérience (fig. 2)

La répétition du mouvement de l'aimant est obtenue en faisant tourner l'aimant autour de la bobine. Nous avons ici une première ébauche de générateur de tension alternative (leçon 17).

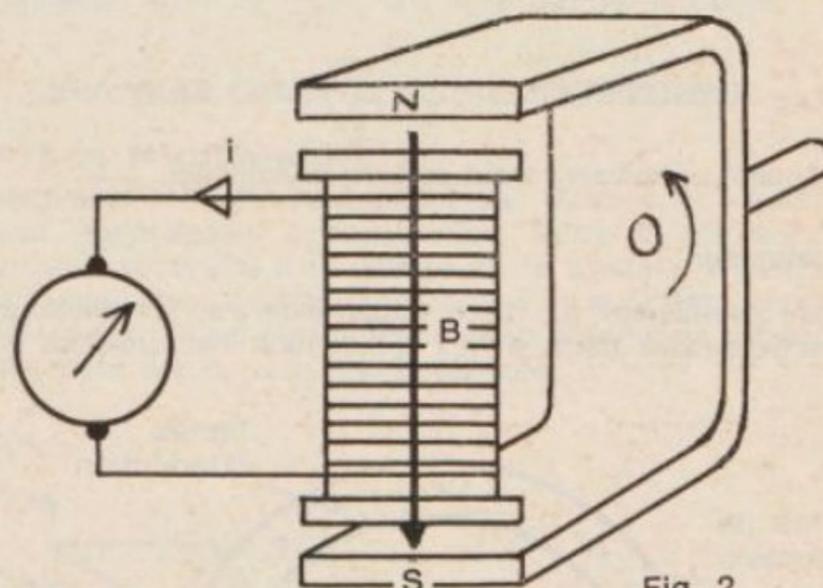


Fig. 2

**Remarquons** que seul importe le mouvement relatif de l'aimant par rapport à la bobine. Nous pouvons donc laisser l'aimant fixe et faire tourner la bobine pour obtenir le même résultat. Il faut cependant munir la bobine de deux contacts glissants pour recueillir la f.e.m. alternative.

#### 3<sup>e</sup> expérience (fig. 3)

Réunissons les deux extrémités de la bobine à deux demi-coquilles de laiton sur lesquelles frottent les deux fils liés au galvanomètre. Le sens de branchement du galvanomètre est cette fois automatiquement inversé chaque fois que change le sens de la f.e.m. aux bornes de la bobine.

Le galvanomètre dévie toujours dans le même sens. Le courant obtenu n'est pas parfaitement continu. On peut améliorer ce résultat en plaçant sur le même axe un grand nombre de bobines légèrement décalées les unes par rapport aux autres débitant successivement dans le galvanomètre.

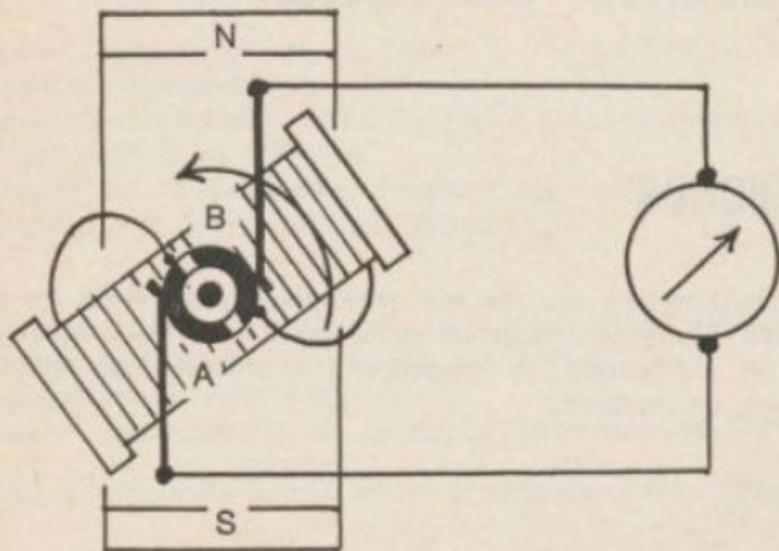


Fig. 3

L'aimant est maintenant fixe.  
La bobine tourne autour d'un axe perpendiculaire au plan entraînant les deux demi-coquilles de laiton A et B.

## II. — DESCRIPTION DE LA DYNAMO BIPOLAIRE

Une dynamo comprend trois parties principales.

### 1° L'inducteur

L'aimant permanent de notre expérience est remplacé par un électro-aimant dont le flux d'induction est canalisé par

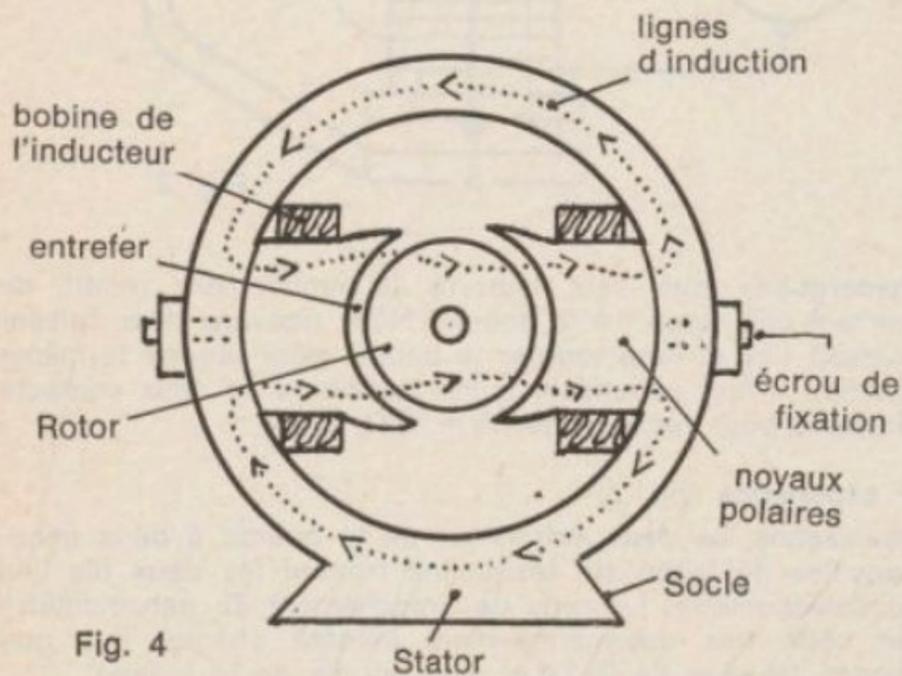


Fig. 4

un circuit magnétique presque fermé. Le bâti de la machine ou stator sert à refermer le trajet des lignes d'induction. Il est réalisé en fonte coulée. On fixe à l'intérieur du bâti les noyaux portant les bobines.

### 2° Le rotor

Il est constitué d'un empilage de tôles minces circulaires (figure 5) isolées les unes des autres (comme le noyau d'un transformateur). Des encoches parallèles à l'axe du cylindre ainsi obtenu sont tracées sur sa périphérie pour loger le bobinage induit. A l'une des extrémités du rotor est placé l'ensemble collecteur-balais assurant la commutation des

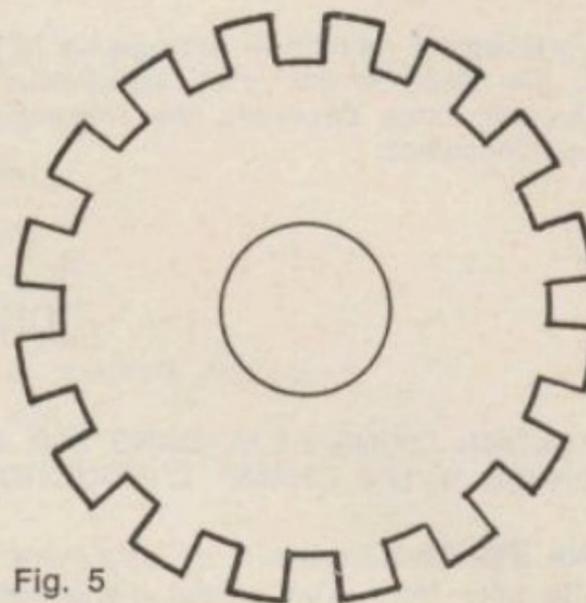


Fig. 5

sections de l'enroulement induit, c'est-à-dire réalisant le redressement des f.e.m. alternatives obtenues afin que la tension entre les balais soit sensiblement continue. Le collecteur est composé d'un ensemble de lames de cuivre

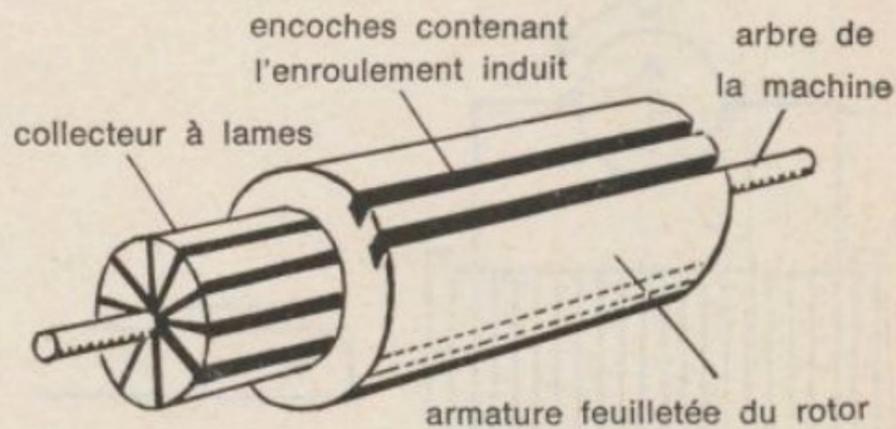


Fig. 6

isolées les unes des autres, formant elles aussi un cylindre sur lequel frottent deux balais faits de graphite aggloméré, pressés par un ressort sur le collecteur et réunis aux bornes fixes de la machine (figure 7).

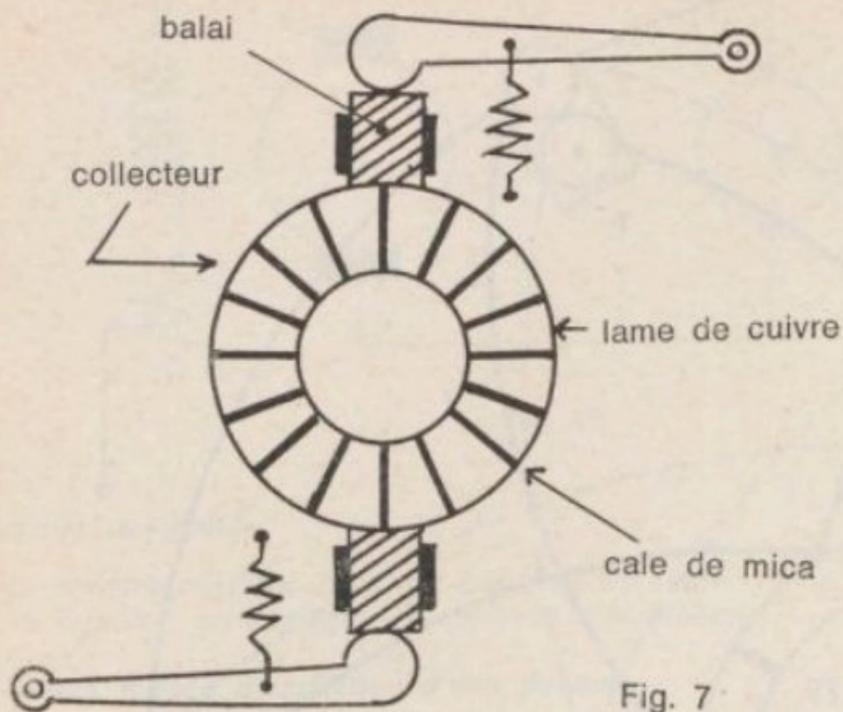


Fig. 7

### 3° L'enroulement d'induit

Pour améliorer l'équilibrage dynamique de la machine, les conducteurs d'induit sont répartis en nombre égal dans toutes les encoches de la machine. Pour obtenir un fonctionnement électrique satisfaisant, il faut réunir entre eux ces conducteurs selon des lois bien définies. Nous allons retrouver ces lois sur un exemple très simple.

Supposons un induit ne comportant que six encoches, douze conducteurs logés deux par deux dans les encoches, six lames au collecteur. Lorsque le sens de rotation est celui qui est indiqué par la flèche (figure 8), la règle des trois doigts (leçon 13) permet de déterminer le sens des f.e.m. produites dans chaque conducteur : sous le pôle nord, les petites croix représentent les empennages de flèches dirigées vers l'arrière du dessin. Sous le pôle sud, elles sont dirigées vers l'avant du dessin. La figure 9 montre les

connexions réalisées entre les conducteurs actifs. Les pointillés indiquent celles qui se trouvent à l'arrière de la machine. Le collecteur se trouve ici sur la face avant. Parcourons l'enroulement à partir de la lame (1) du collecteur. Deux chemins sont possibles :

- Conducteurs 6 - 11 - 4 - 9 - 2 - 7 en touchant les lames I - VI - V - IV.
- Conducteurs 1 - 8 - 3 - 10 - 5 - 12 lames I - II - III - IV.

Du point de vue électrique, nous rencontrons donc entre A et B deux dérivations comprenant chacune six générateurs en série

→ l'enroulement actif d'une dynamo bipolaire se divise donc en deux voies identiques réunies en parallèle par deux lames du collecteur diamétralement opposées.

Nous remarquons également que

→ l'enroulement actif d'une dynamo est fait d'un conducteur fermé sur lui-même.

### Remarque

En réalité, une « section d'enroulement » comprend souvent plusieurs spires. En partant par exemple de la lame I, les conducteurs aller 1 et retour 8 forment une spire. On peut exécuter plusieurs spires semblables avant de joindre le dernier conducteur retour placé en 8 à la lame II. On augmente ainsi la f.e.m. produite par la machine.

## III. — PROPRIÉTÉS DE LA DYNAMO

### 1° Force électromotrice

Entraînons à l'aide d'un moteur une dynamo et mesurons la f.e.m. apparaissant à ses bornes. Nous constatons qu'elle est proportionnelle à la vitesse de la dynamo. Nous constatons également qu'elle croît lorsqu'on augmente le courant d'excitation (c'est-à-dire le courant parcourant l'inducteur). Sa valeur est donnée par la formule :

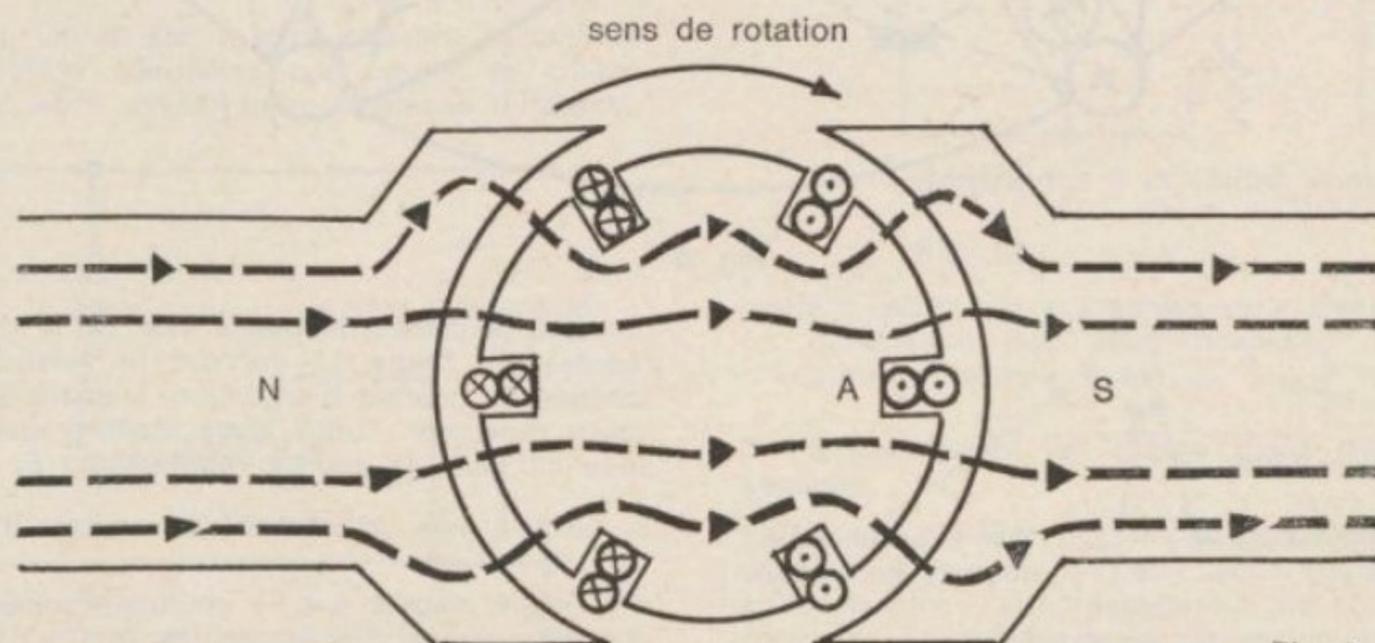


Fig. 8

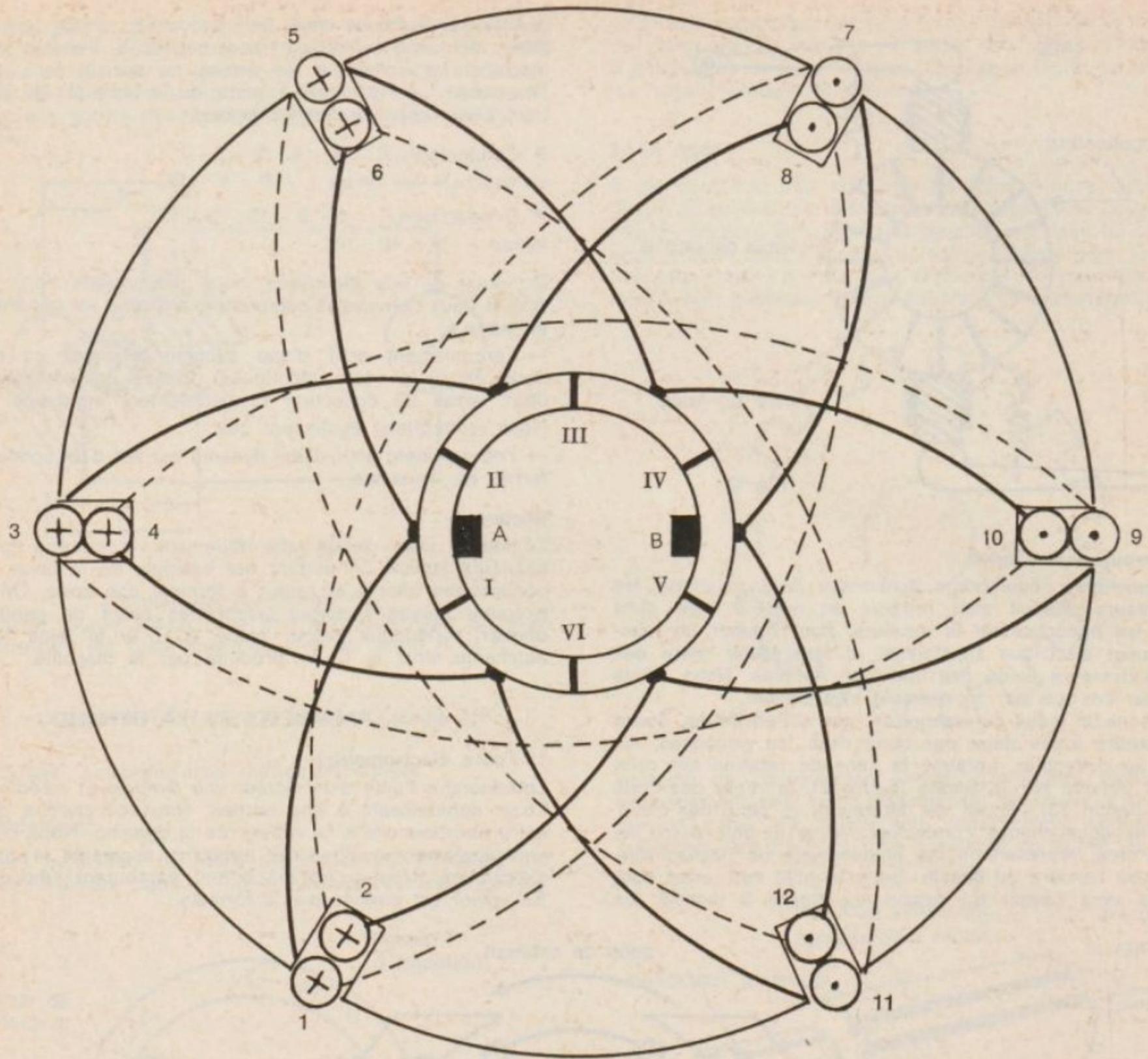
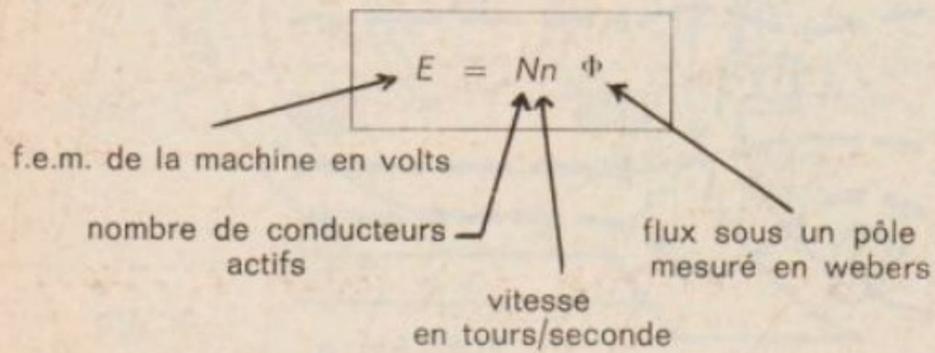


Fig. 9



On appelle caractéristique à vide de la dynamo, la courbe représentée figure 11 donnant la valeur de la f.e.m. en fonction du courant d'excitation, la machine n'étant reliée à aucun récepteur. Cette f.e.m. étant proportionnelle au flux sous un pôle, la courbe représentant  $E_r = f(I_d)$

$E_r$  f.e.m. à vide,  $I_d$  intensité du courant d'excitation

a le même aspect que la courbe représentant  $\Phi = f(I_d)$  que nous avons déjà tracée (leçon 15).

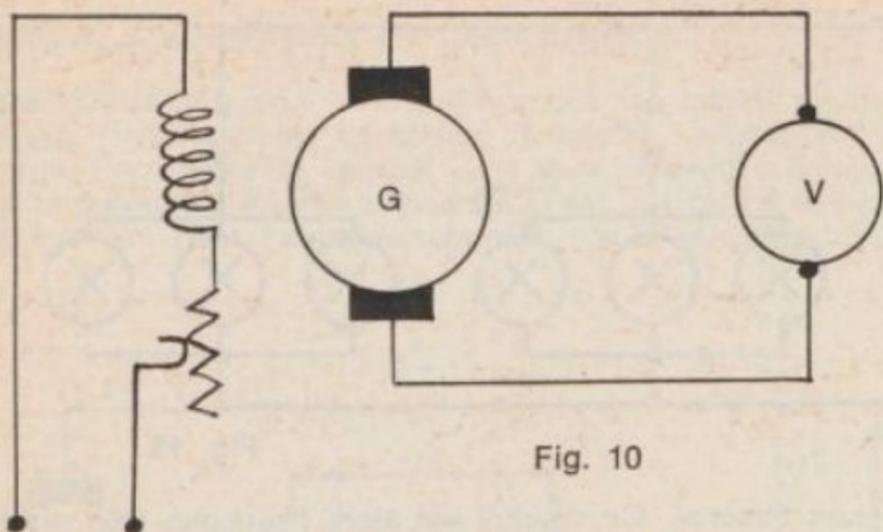


Fig. 10

Source auxiliaire

Nous constatons donc qu'il est possible de régler la f.e.m. d'une dynamo en réglant son courant d'excitation.

### 2° Divers modes d'excitation d'une dynamo

Il est en général mal commode d'utiliser, pour exciter la dynamo, une source de tension indépendante (dynamo à

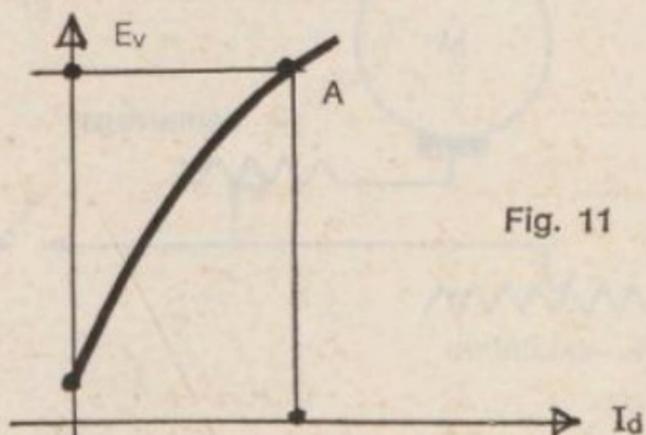
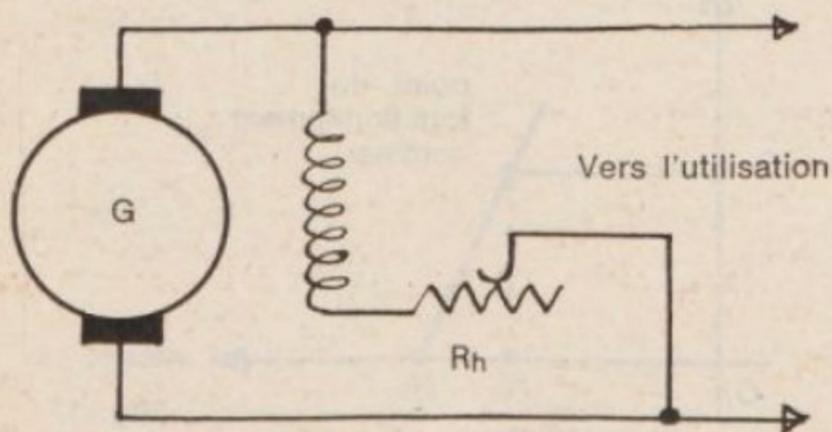


Fig. 11

Le point A situe le point de fonctionnement nominal

excitation séparée). On se sert le plus souvent du courant fourni par la machine elle-même pour créer le champ inducteur. On peut alors utiliser deux montages différents.

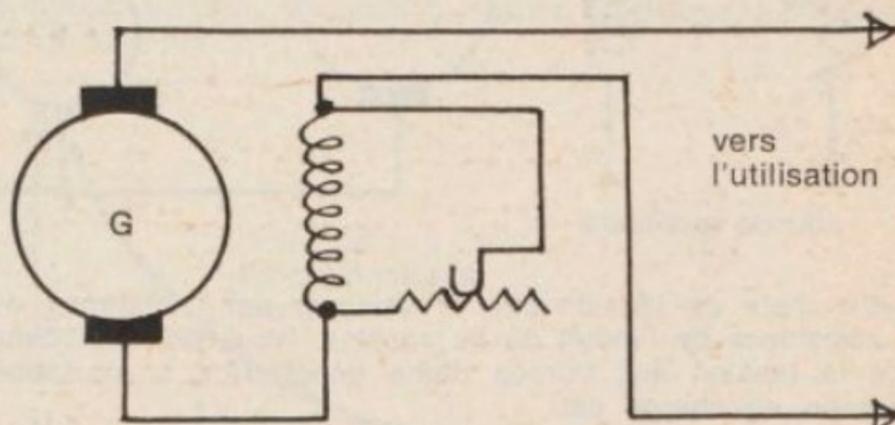


Génératrice à excitation en dérivation

Fig. 12

**Excitation en dérivation :** une petite fraction du courant produit est dérivée vers le circuit inducteur.

Celui-ci doit donc compter un grand nombre de spires pour que le produit  $NI_a$  soit suffisant pour fournir le flux  $\Phi$  nécessaire.

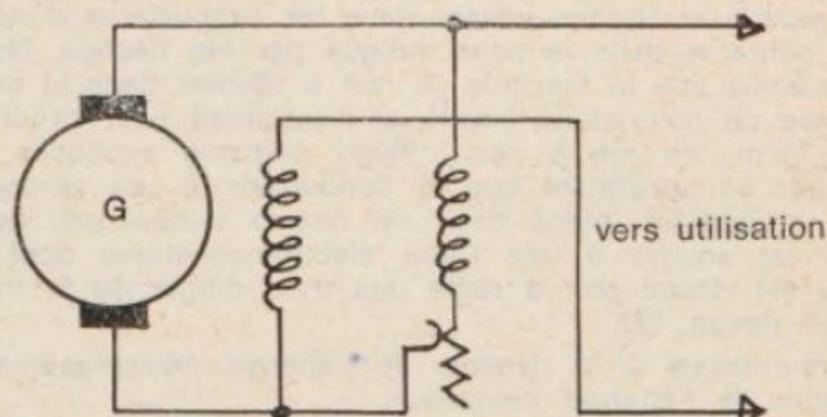


Génératrice série

Fig. 13

**Excitation en série :** au contraire, dans le montage série, tout le courant produit passe dans l'enroulement inducteur ; celui-ci doit donc provoquer une faible chute de tension. Il comporte peu de spires de gros fil.

**Excitation composée :** la combinaison des deux montages précédents permet de modifier certaines propriétés de la machine. On peut obtenir notamment une force électromotrice dépendant très peu des conditions de charge de la machine. On évite ainsi de fastidieux réglages lorsque le



Génératrice à excitation composée

Fig. 14

courant débité par la machine varie dans de larges limites. La génératrice doit alors posséder deux enroulements d'excitation distincts.

### 3° Fonctionnement en charge d'une dynamo à excitation séparée

Entraînons à l'aide d'un moteur, une dynamo à excitation séparée. Mesurons la f.e.m. apparaissant aux bornes de cette machine. Fermons le circuit de charge. Nous constatons une baisse de la tension indiquée par le voltmètre.

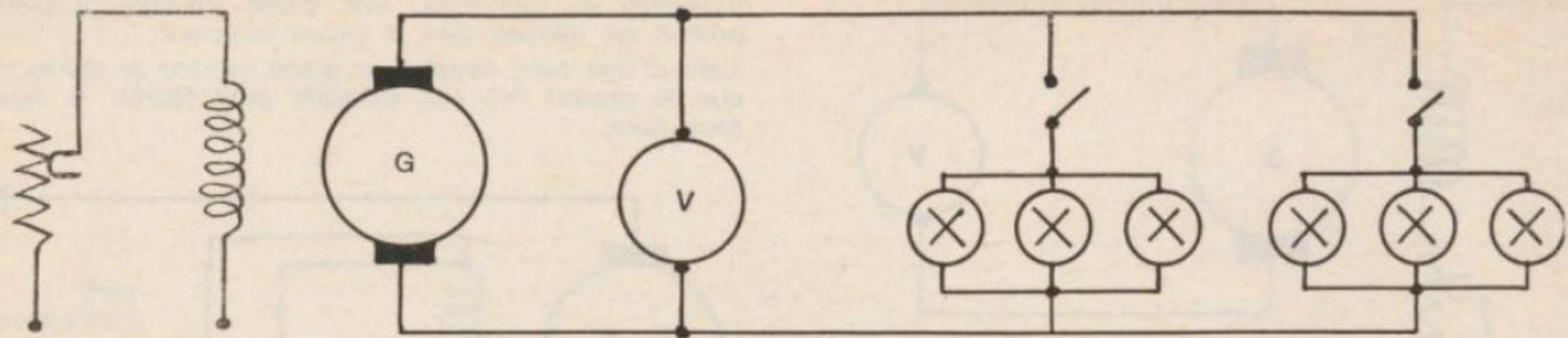


Fig. 15

Cette chute de tension peut s'expliquer par l'existence de la résistance de l'induit de la machine. Nous écrivons donc que la tension aux bornes d'une génératrice à excitation séparée en charge est

$$U = E - RI$$

où  $E$  est la f.e.m. de la machine,  
 $R$  est la résistance de son induit,  
 $I$  le courant fourni à la charge.

#### IV. — REVERSIBILITE DE LA DYNAMO

Reprenons le schéma de la figure 8. Excitons normalement la dynamo et faisons passer dans les conducteurs d'induit des courants dans le sens indiqué par les flèches. Nous constatons que la machine se met à tourner dans le sens inverse de celui dans lequel on l'entraînait pour produire des f.e.m. de même sens. Nous pouvons expliquer ce résultat en constatant que le conducteur A est parcouru par un courant, placé dans un champ d'induction, donc qu'il est soumis à une force électromagnétique dont le sens est donné par la règle des trois doigts de la main droite (leçon 12).

En fournissant à la dynamo de l'énergie mécanique, elle restitue de l'énergie électrique.

Si on lui fournit au contraire de l'énergie électrique, elle restitue de l'énergie mécanique : la machine à courant continu que nous venons d'étudier fonctionne aussi bien comme génératrice que comme moteur. Elle est réversible.

#### V. — UTILISATION DE LA DYNAMO EN MOTEUR A COURANT CONTINU

##### 1° Rhéostat de démarrage

Lorsqu'un moteur tourne, nous savons qu'il est le siège d'une f.e.m. importante. Si nous appliquons brutalement à un moteur à l'arrêt, la totalité de la tension normale de fonctionnement, seule la résistance de l'induit limite le

courant absorbé. Ce courant est alors beaucoup plus grand que le courant normalement autorisé. Le moteur risque d'être sérieusement endommagé. Nous devons donc toujours utiliser un **rhéostat de démarrage** pour mettre en service un moteur à courant continu.

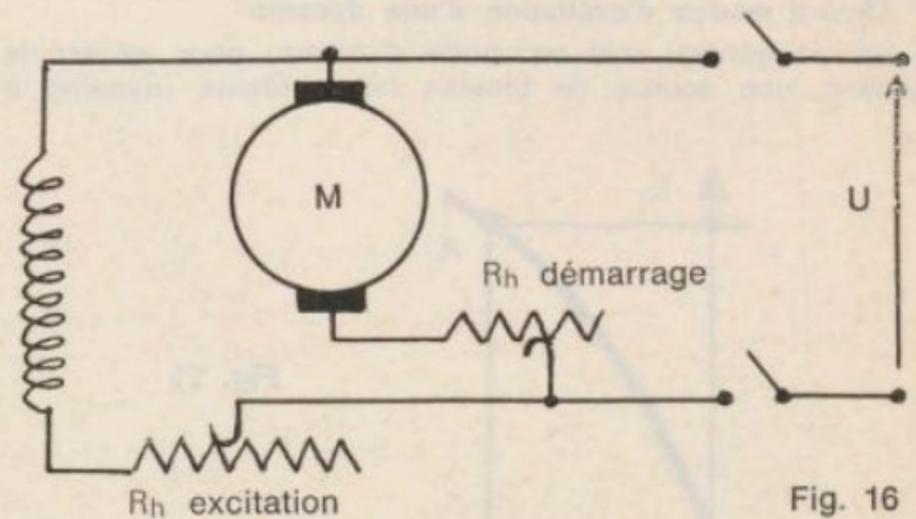


Fig. 16

##### 2° Divers types de moteurs

Comme pour la génératrice, on peut alimenter de plusieurs manières le circuit d'excitation du moteur.

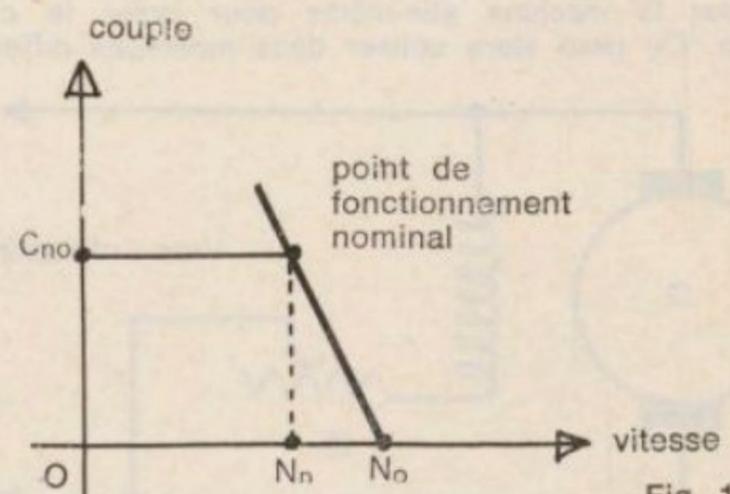


Fig. 17

Caractéristique mécanique d'un moteur à excitation en dérivation

### MOTEUR A EXCITATION EN DÉRIVATION

Nous constatons expérimentalement que ce moteur a une vitesse sensiblement constante lorsqu'on augmente la charge. Par contre, le courant qu'il absorbe croît à mesure que la puissance fournie augmente. C'est le type de moteur qui convient pour l'entraînement des machines-outils.

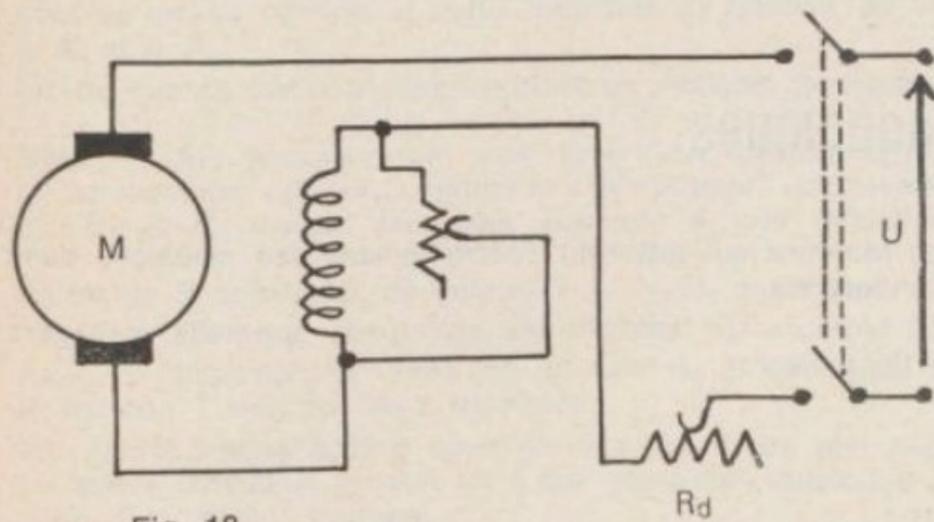
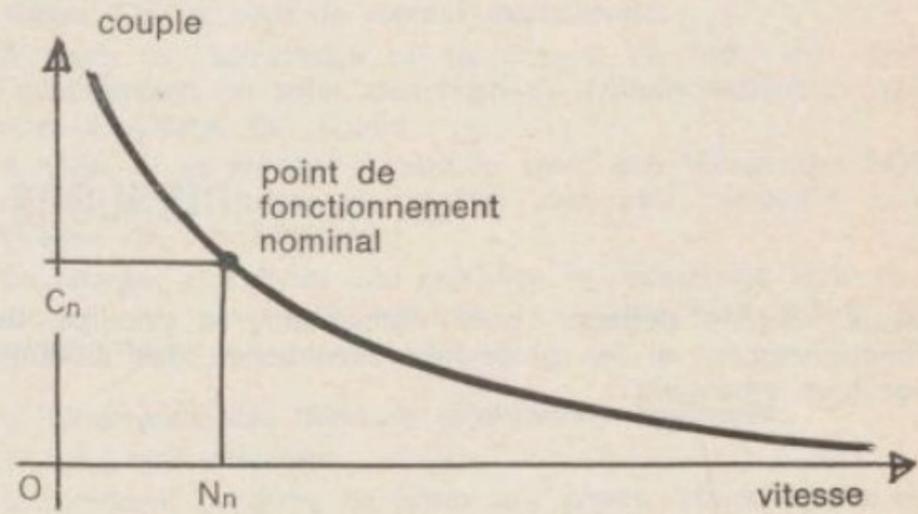


Fig. 18

### MOTEUR A EXCITATION EN SÉRIE

Cette fois-ci, la vitesse dépend énormément de la charge. Le moteur s'emballé à vide. Il peut fournir des couples très importants car alors la vitesse est faible et la puissance absorbée n'est pas dangereusement élevée. C'est le type de moteur qui convient pour la traction électrique, les grues, les ventilateurs.



caractéristique mécanique du moteur série

Fig. 19

# moteurs à courants alternatifs

## intentions pédagogiques

Nous voulons dégager, pour l'utilisateur, le principe de fonctionnement et les propriétés essentielles des moteurs les plus employés :

- a) Moteurs qui assurent l'entraînement des machines dans l'industrie ;
- b) Moteurs qui animent les principaux appareils ménagers à la maison.

## contenu de l'émission

### I. — LE MOTEUR D'INDUCTION ASYNCHRONE TRIPHASE

C'est le plus employé des moteurs industriels.

Nous pouvons en montrer le principe de fonctionnement à l'aide d'une expérience.

Trois bobines,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  situées dans un plan, ont leurs axes concourants décalés de  $120^\circ$  (ou  $\frac{2\pi}{3}$  radians).

Au centre disposons un cylindre métallique  $D$  mobile sur son axe.

Quand les bobines sont alimentées en courants triphasés (montage en étoile ou en triangle), le cylindre tourne.

Les bobines constituent le stator d'un moteur, le cylindre constitue le rotor.

#### a) Action du stator inducteur

Supposons que la bobine  $A_1$  soit alimentée par la première phase, la bobine  $A_2$  par la deuxième et la bobine  $A_3$  par la troisième.

Rappelons que trois courants triphasés  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  sont alternatifs, de même fréquence, de même valeur efficace et déphasés de  $120^\circ$ , c'est-à-dire décalés dans le temps de  $\frac{1}{3}$  de période  $T$ .

L'induction magnétique produite par ces courants dans les bobines est maximale, d'abord en face de  $A_1$ , puis  $\frac{1}{3}$

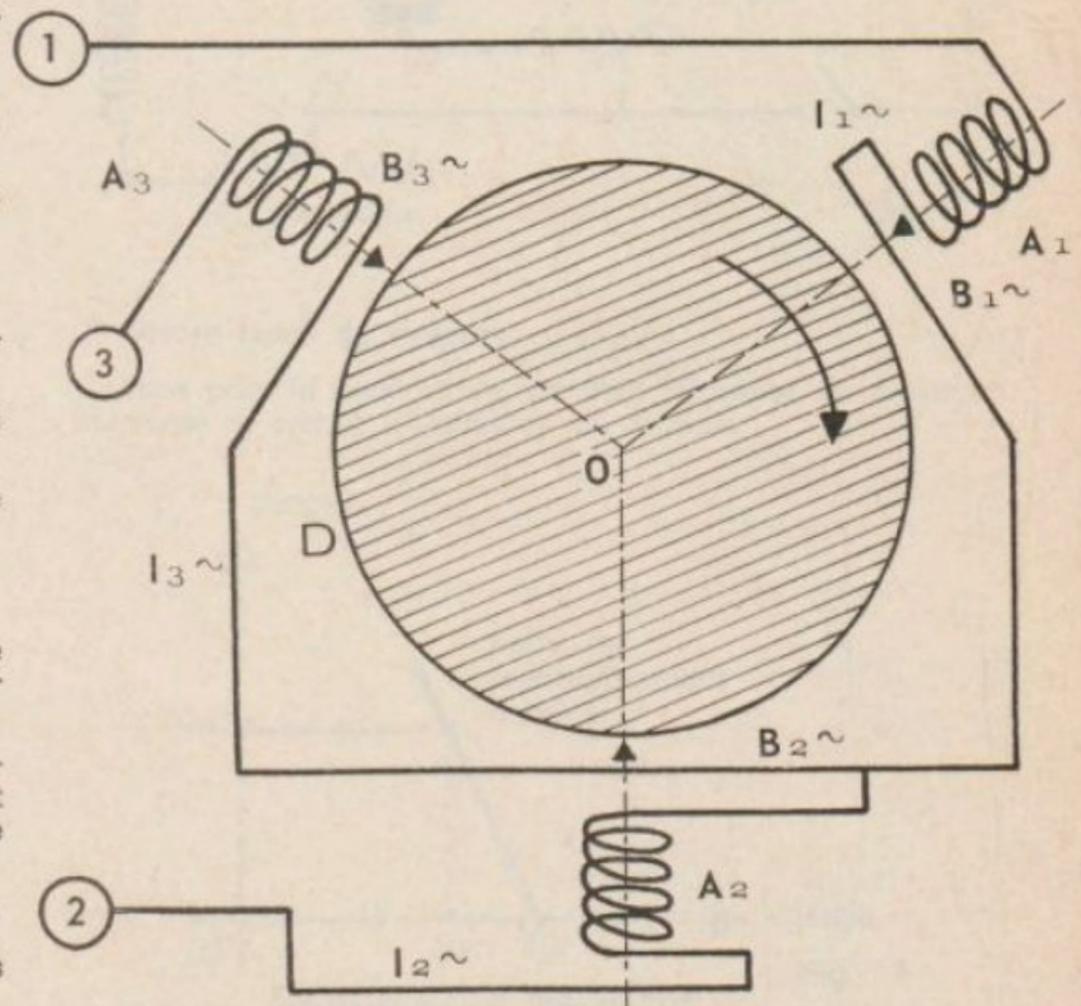


FIG. 1

de période plus tard en face de  $A_2$ , puis  $\frac{1}{3}$  de période plus tard en face de  $A_3$ .

Plus généralement l'induction magnétique  $B$  prend la même valeur successivement en face de  $A_1$  puis de  $A_2$ , puis de  $A_3$  à intervalles de temps réguliers égaux à  $\frac{T}{3}$ .

Tout se passe comme si cette induction  $B$  tournait de  $A_1$  à  $A_2$  et à  $A_3$ .

On dit que ce stator triphasé produit un « **champ tournant** ».

**Nota.** — Une démonstration plus rigoureuse montrerait que la composition des trois inductions alternatives triphasées  $B_1$ ,  $B_2$  et  $B_3$  suivant les axes équivaut à une induction tournante  $B$  constante, de valeur  $B = \frac{3}{2} B_1$  maximale.

Avec ce dispositif, la durée de un tour de  $B$  est égale à la période  $T$  des courants triphasés.

En réalité chaque bobine émet un flux autour de son axe. Le stator inducteur produit un « flux tournant » analogue à celui d'un aimant tournant.

La vitesse  $n$  tours par seconde, ou flux tournant est dans ce cas égale à la fréquence des courants, cette vitesse s'appelle « **vitesse de synchronisme** ».

#### b) Le rotor est un induit

Le flux tournant du stator « balaye » le rotor, dont les éléments conducteurs, en particulier les génératrices de ce cylindre, sont l'objet de courants induits  $i$ .

Sans être directement alimenté, le rotor est donc parcouru par ces courants, d'où le nom de **moteur d'induction**.

Ces courants induits, situés dans le flux du stator, sont l'objet de forces (Loi de Laplace, Emission 12).

A chaque instant, l'ensemble de ces forces constitue le couple moteur qui entraîne le rotor, dans le sens de la vitesse relative du flux par rapport au rotor.

Une condition est absolument nécessaire :

le flux du stator doit « balayer » le rotor, ce dernier ne pourra donc pas tourner à la même vitesse que le flux. La vitesse du rotor ne pourra pas atteindre celle du synchronisme d'où le nom de **moteur asynchrone**.

A partir du démarrage où la vitesse du rotor est nulle, l'accélération du rotor dépendra du couple résistant, ainsi que la vitesse de régime.

**A vide**, si le moteur n'entraîne rien, son démarrage sera rapide et la vitesse de régime sera peu inférieure à la vitesse de synchronisme.

**En charge**, entraînant une machine, le démarrage sera plus lent et la vitesse de régime se rapprochera moins du synchronisme.

#### c) Réalisation des moteurs asynchrones triphasés

##### 1° Le stator inducteur

Il comporte  $p$  paires de pôles par phase, chaque paire de pôles  $A_1$ ,  $A'_1$  joue le rôle d'une de nos bobines de l'expérience. Les autres phases identiques sont décalées de un tiers de tour.

— Si le stator a une paire de pôles par phase, le flux fera 1 tour en une période  $T$  du courant d'alimentation du stator ; la vitesse du synchronisme  $n$  sera égale à la fréquence de ce courant.

— Si le stator a  $p$  paires de pôles par phase, les pôles de deux phases successives seront  $p$  fois plus rapprochés,

le flux fera  $\frac{1}{p}$  tour en une période du courant d'alimentation.

La vitesse de synchronisme sera  $n = \frac{f}{p}$ .

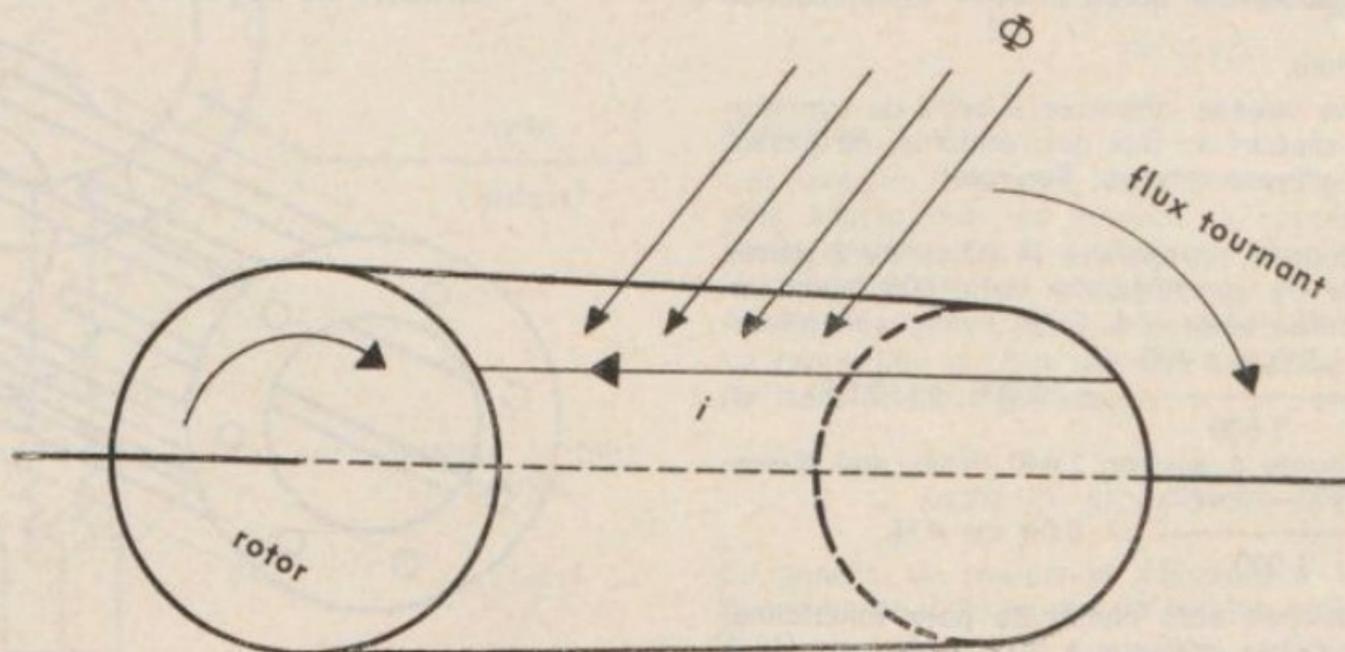


FIG. 2

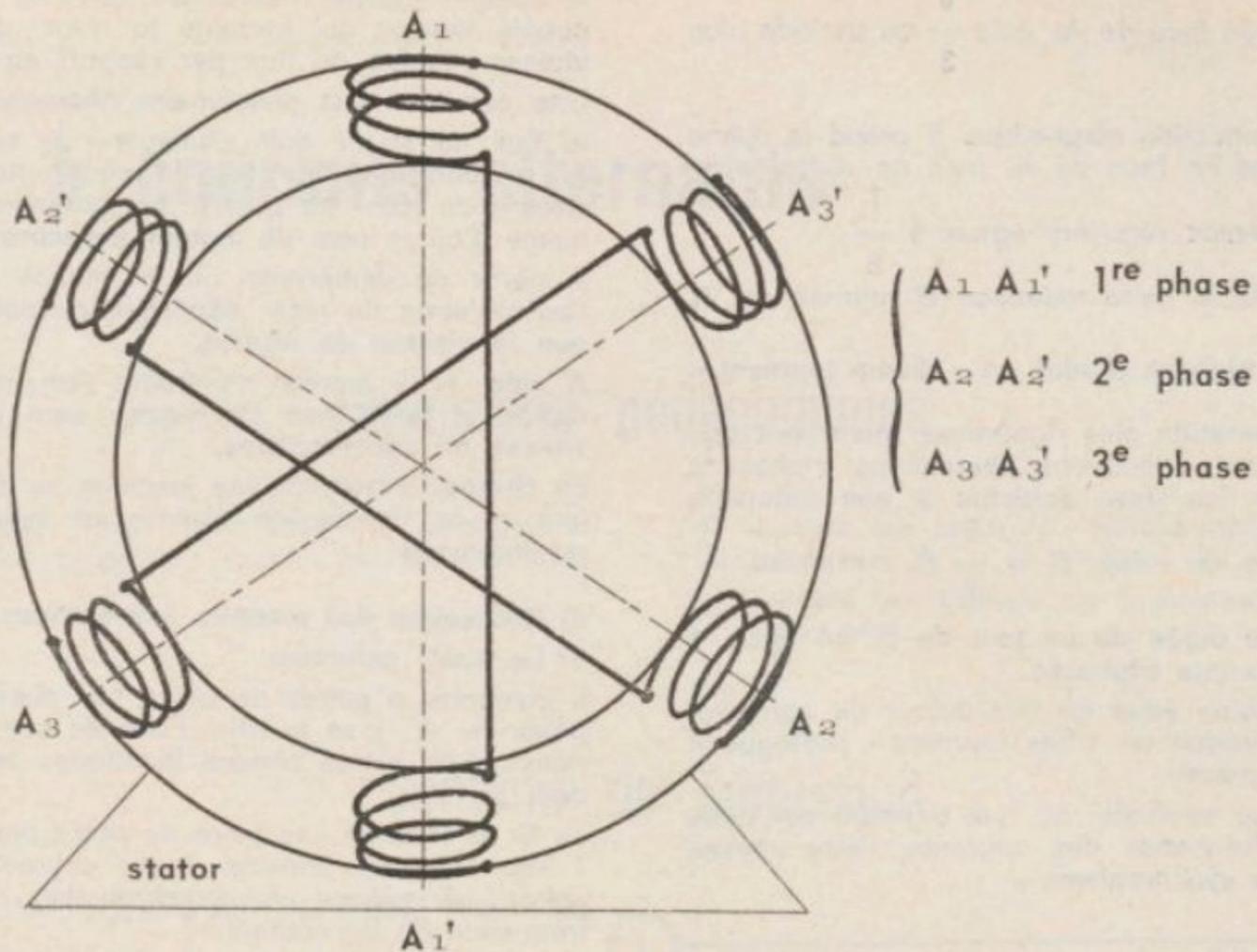


FIG. 3

— Ainsi pour un réseau de fréquence 50 hertz :

si le moteur a 1 paire de pôles  $n = \frac{50}{1}$  tours par seconde  
ou 3 000 tours/minute ;

si le moteur a 2 paires de pôles  $n = \frac{50}{2}$  tours/seconde  
soit 1 500 tours/minute,

le rotor tourne a une vitesse inférieure à celle du synchronisme, il glisse par rapport au flux qui l'entraîne, ce glissement caractérise la vitesse relative, flux-rotor.

**Exemple :** pour un moteur tétrapolaire (4 pôles ou 2 paires de pôles) la vitesse de synchronisme est 1 500 tr/mn, en général à vide il tourne environ à 1 490 tr/mn, son glissement est  $G_0 = \frac{1\,500 - 1\,490}{1\,500} = 0,006$  ou 0,6 % ;

en charge normale il tourne à environ 1 440 tr/mn, son glissement est alors  $\frac{1\,500 - 1\,440}{1\,500} = 0,04$  ou 4 %.

Les moteurs asynchrones sont construits pour fonctionner à glissement assez faible inférieur à 10 % ; ce sont donc des moteurs à vitesse peu variable.

2° Le rotor ou induit peut être constitué :

— soit par un noyau de tôles feuilletées, dans lequel on a encastré des tiges conductrices de cuivre ou d'aluminium,

**rotor, cage d'écureuil  
extraite du noyau feuilleté**

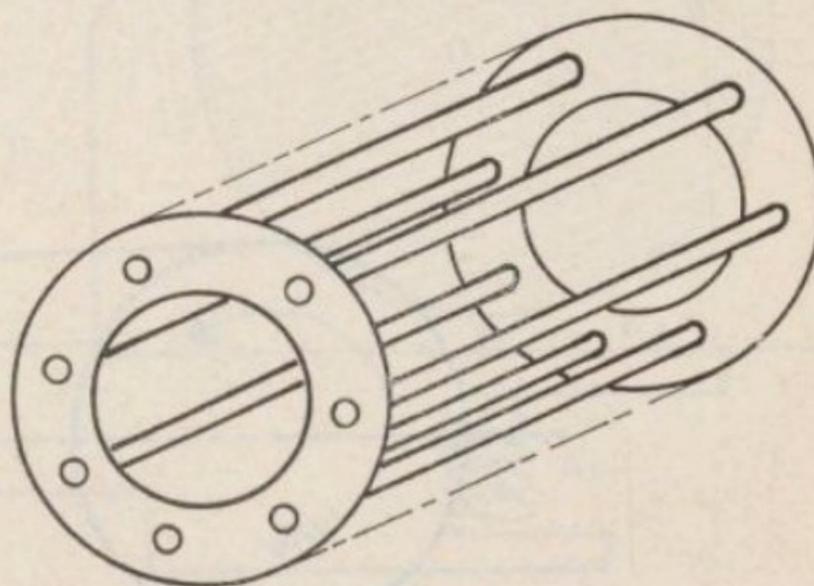
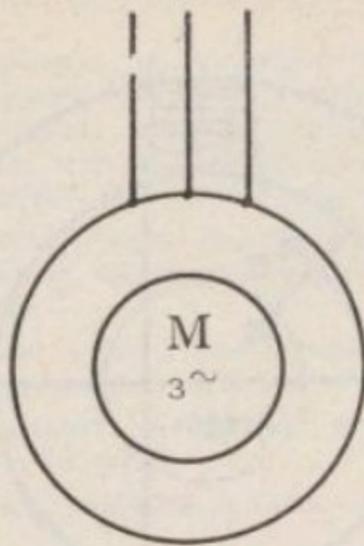


FIG. 4



moteur à cage représentation symbolique  
FIG. 4 bis

soudées aux flasques latérales : c'est alors un rotor à cage, sans liaison avec l'extérieur ; il est utilisé pour des moteurs de puissance souvent inférieure à 4 kW ;  
— soit par un noyau de tôles feuilletées, portant dans ses

réseau triphasé

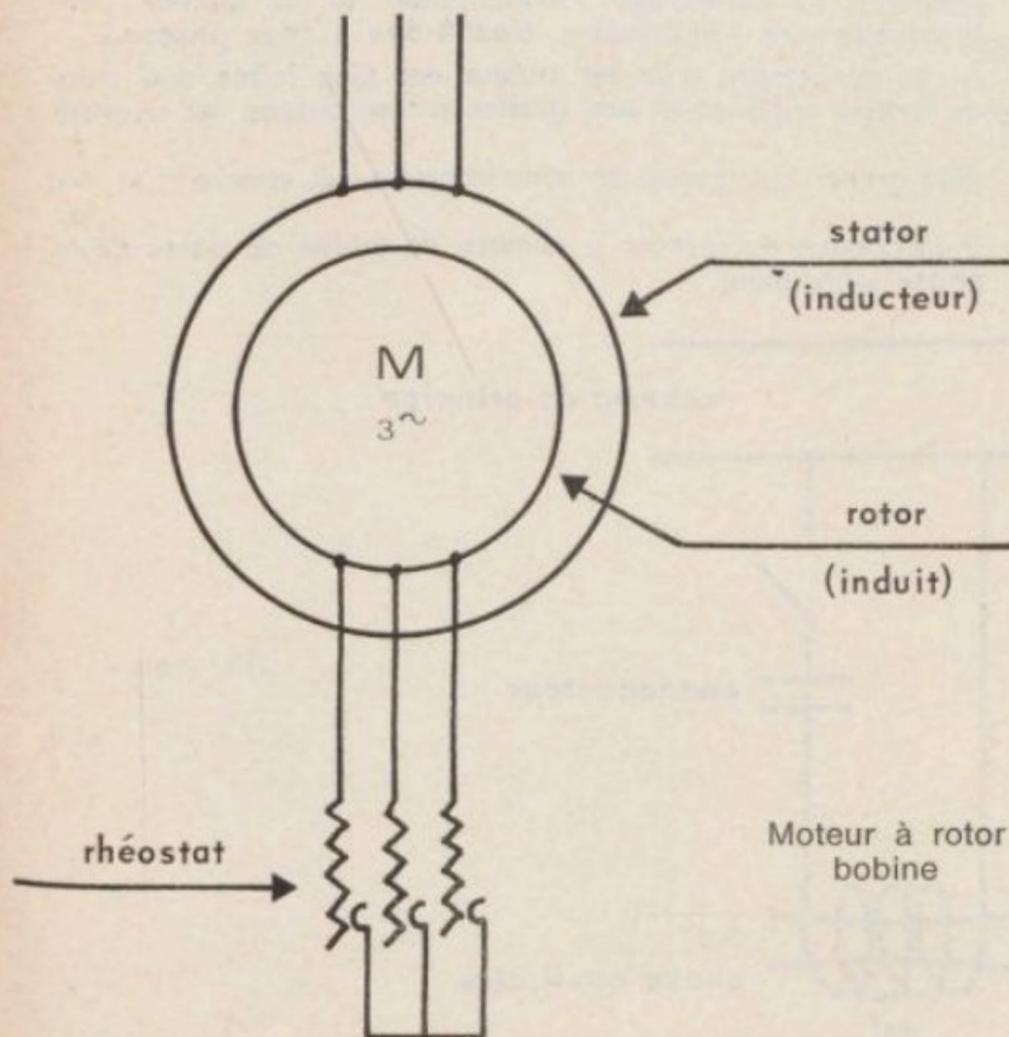
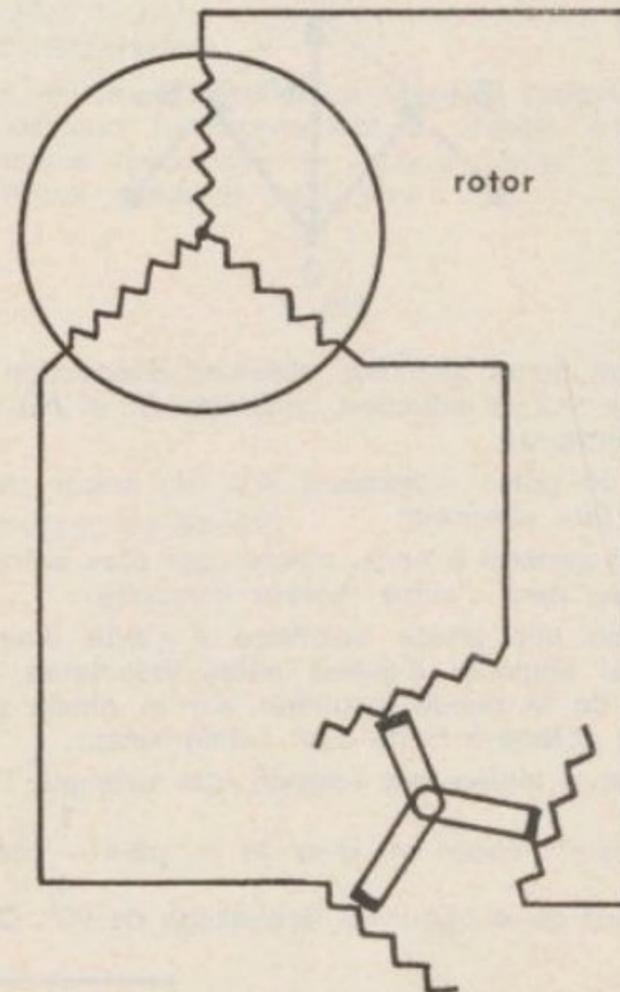


FIG. 5

rainures des enroulements connectés en étoile et réunis à trois bagues isolées sur l'axe : c'est alors un rotor bobiné utilisé pour toute puissance et que l'on peut relier par des balais à un rhéostat triphasé extérieur.

Ce rhéostat est utilisé au démarrage, car il diminue les courants induits dans le rotor, ainsi que les courants absorbés par le stator, au moment où le flux « balaye » très vite le rotor immobile (au démarrage - glissement 100 %).



rhéostat de démarrage

FIG. 5 bis

#### Remarque

Les moteurs triphasés asynchrones sont de construction plus simple que les moteurs à courant continu dont la partie délicate est le collecteur ; ils présentent une caractéristique mécanique semblable à celle des moteurs shunts à courant continu qu'ils ont remplacés.

La production du flux tournant constitue le principal intérêt de la distribution triphasée.

## II. — MOTEUR ASYNCHRONE MONOPHASE

En général de puissance inférieure à 1 kW, il est utilisé quand on ne dispose pas de tension triphasée.

C'est souvent un tel moteur qui entraîne le tambour des machines à laver.

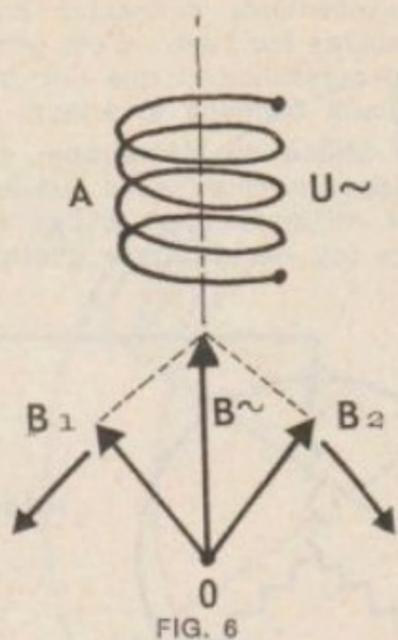


FIG. 6

On démontre qu'un seul flux alternatif d'induction  $B$ , équivaut à deux flux (d'induction constante  $B_1$  et  $B_2$ ) tournants en sens contraires.

Une paire de pôles inducteurs  $AA'$  du stator monophasé produit ce flux alternatif.

Le rotor, en général à cage, n'étant pas plus entraîné dans un sens que dans l'autre restera immobile.

On constitue une phase auxiliaire à l'aide d'un courant déphasé qui alimente d'autres pôles inducteurs  $aa'$ ; le déphasage de la phase auxiliaire sur la phase principale est souvent obtenu à l'aide d'un condensateur.

— La symétrie initiale est rompue, par exemple l'induction sera maximale d'abord en face de  $a_1$ , puis  $\frac{1}{4}$  de période après en face de  $A_1$ , pour un déphasage de  $90^\circ$ . On réalise

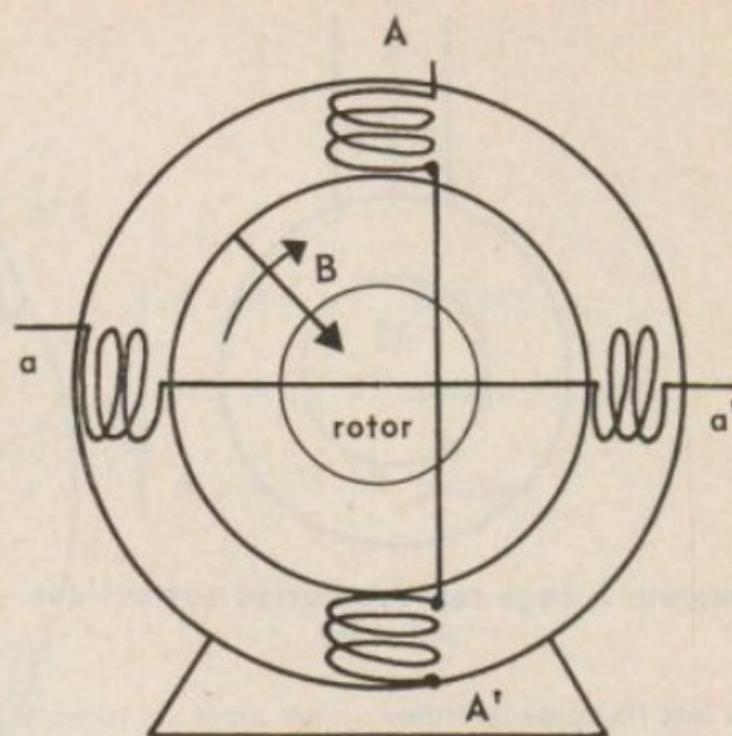


FIG. 7

ainsi un champ tournant; il suffit qu'il assure le démarrage. Cette phase auxiliaire s'appelle aussi phase de démarrage, car elle est souvent débranchée quand le moteur est lancé. (Pendant le démarrage l'alimentation et le moteur sont provisoirement « diphasés », c'est-à-dire à deux phases.)

— Le rendement d'un tel moteur est plus faible que celui du moteur triphasé et son glissement en charge est souvent plus grand. La vitesse de synchronisme est encore  $n = \frac{f}{p}$ , ( $f$  fréquence du réseau,  $p$  nombre de paires de pôles de la phase principale).

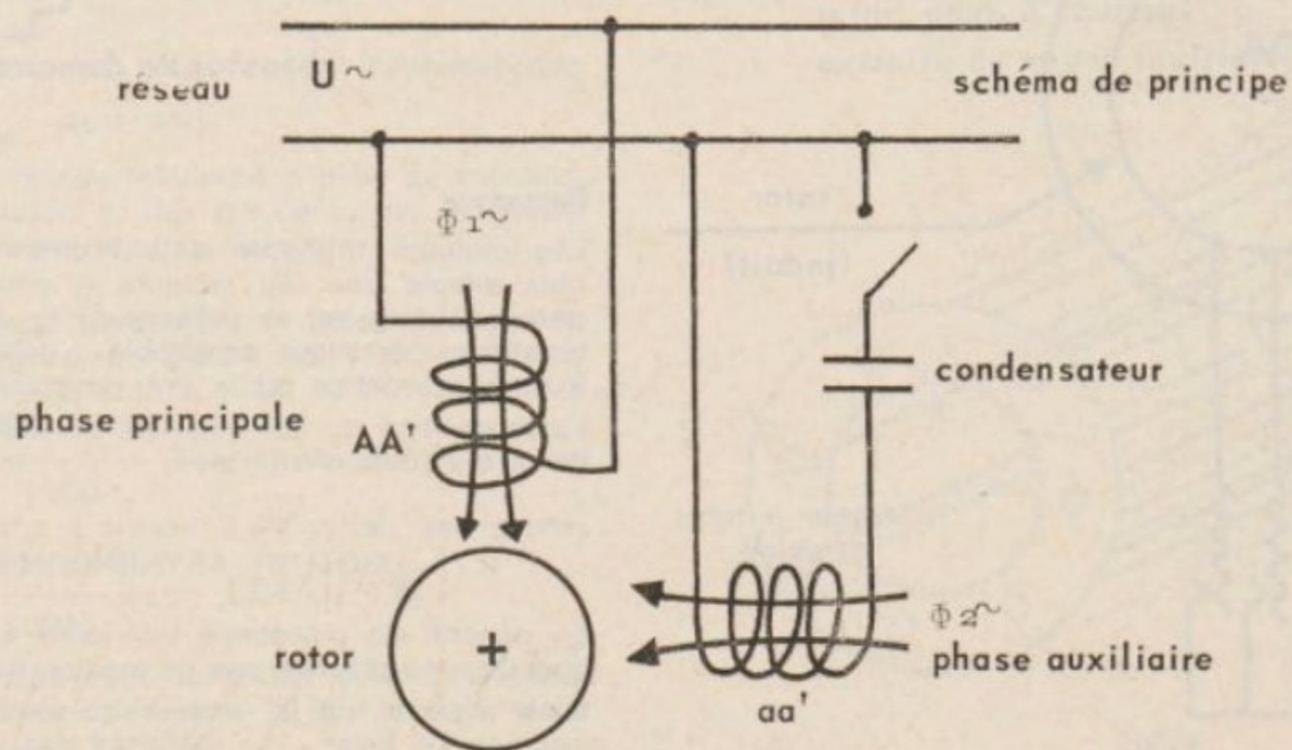


FIG. 7 bis

### III. — MOTEUR UNIVERSEL

Les moteurs asynchrones ont, en emploi normal, une vitesse peu variable et toujours inférieure à celle du synchronisme. Alimenté par un réseau à la fréquence 50 hertz, ils ne peuvent donc pas atteindre 3 000 tr/mn s'ils ont deux pôles, ou 1 500 tr/mn s'ils ont quatre pôles.

On pourra par contre obtenir des grandes vitesses (moteur de broyeur, mélangeur, ventilateur, aspirateur...) en utilisant un moteur universel.

Il porte ce nom car il peut être utilisé soit sous tension continue, soit sous tension alternative monophasée.

— Ces moteurs existent en général en petite puissance, quelques centaines de watts.

Leur constitution est analogue à celle des moteurs à cou-

rant continu à excitation en série : ils présentent un stator inducteur et un rotor bobiné comportant un collecteur. En alternatif, comme le courant change de sens en même temps dans l'inducteur (stator) et dans l'induit (rotor), le couple garde un sens constant.

— Comme les moteurs série à courant continu, ils peuvent s'emballer à vide.

Le système collecteur-balais est une cause d'usure et de pannes, en outre les étincelles au collecteur créent des parasites pour la radio et la télévision (on doit prévoir des dispositifs antiparasites).

Le moteur universel présente un excellent couple de démarrage et un bon fonctionnement à vitesse très variable (caractéristique mécanique ou moteur série), il équipe de très nombreux appareils ménagers.

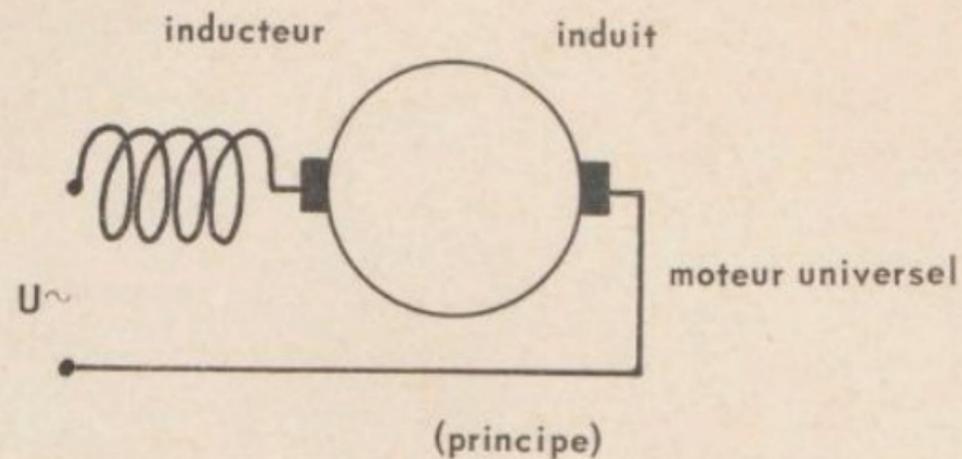
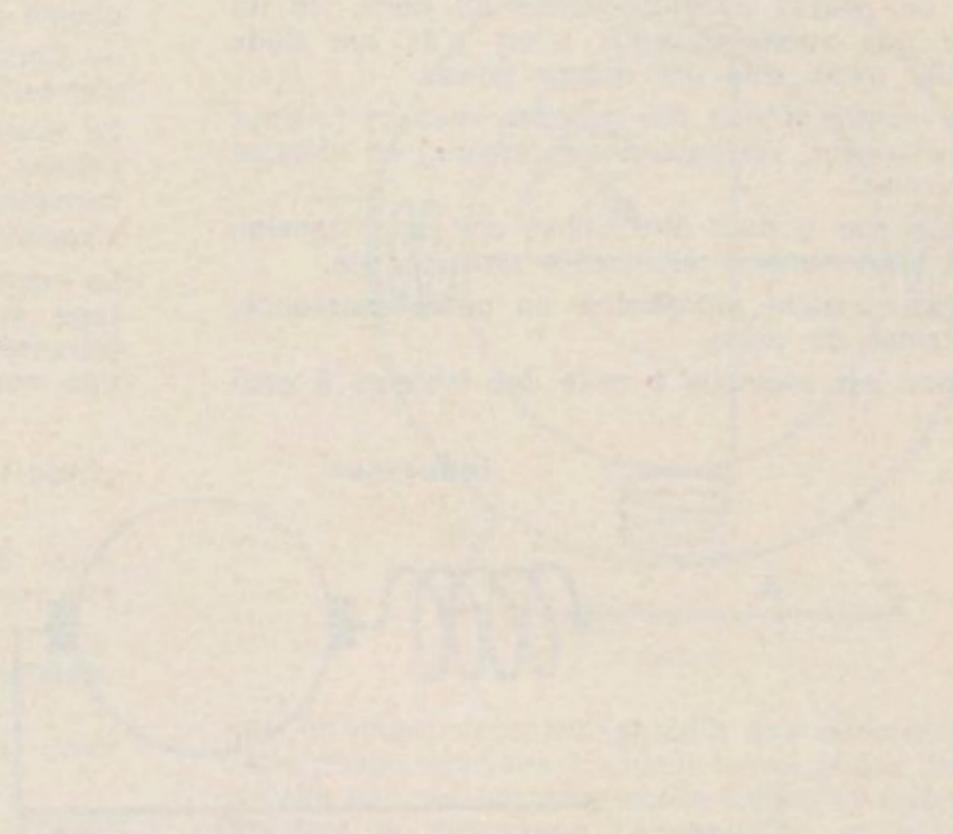


FIG. 8



*[Faint, illegible text, possibly a label for the diagram]*

[Faint header text]	[Faint header text]	[Faint header text]	[Faint header text]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]
[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]	[Faint data]

## FILMS HORS SERIE

*En dehors de la série normale, faisant suite aux émissions « Cours pratique d'électricité », 4 films seront diffusés suivant le calendrier ci-dessous :*

4 juin

« L'enregistrement magnétique »

Rappel de quelques notions sur le magnétisme, notion d'hystérésis, de cycle d'hystérésis. Théorie de Weiss. La première machine d'enregistrement magnétique de Pulsen. Effacement par champ alternatif. Polarisation alternative à haute fréquence. Fabrication industrielle des bandes magnétiques. Contrôle de qualité. Dépôt de piste magnétique sur film cinématographique. Quelques exemples d'utilisation de bandes et disques magnétiques. Les mémoires magnétiques : tambours à effet direct. Les chèques bancaires magnétiques. L'enregistrement magnétique des images.

11 juin

« Os mundi »

L'utilisation du phénomène de « magnétisme » améliore régulièrement le confort de notre vie quotidienne. De nouveaux produits magnétiques viennent révolutionner la technique moderne « les ferrites », dont la fabrication s'apparente à la fois à l'industrie métallurgique et à l'industrie chimique.

18 juin

« L'hélicoptère dans la construction des lignes de transport »

Documentaire montrant comment l'hélicoptère peut permettre avantageusement, dans certains cas, l'approvisionnement en matériaux des chantiers peu accessibles et même le tirage des lignes pour les franchissements des zones difficiles.

25 juin

« Kilowatts heures et calories »

Les diverses applications de l'électricité aux problèmes de production de chaleur dans les entreprises industrielles.

