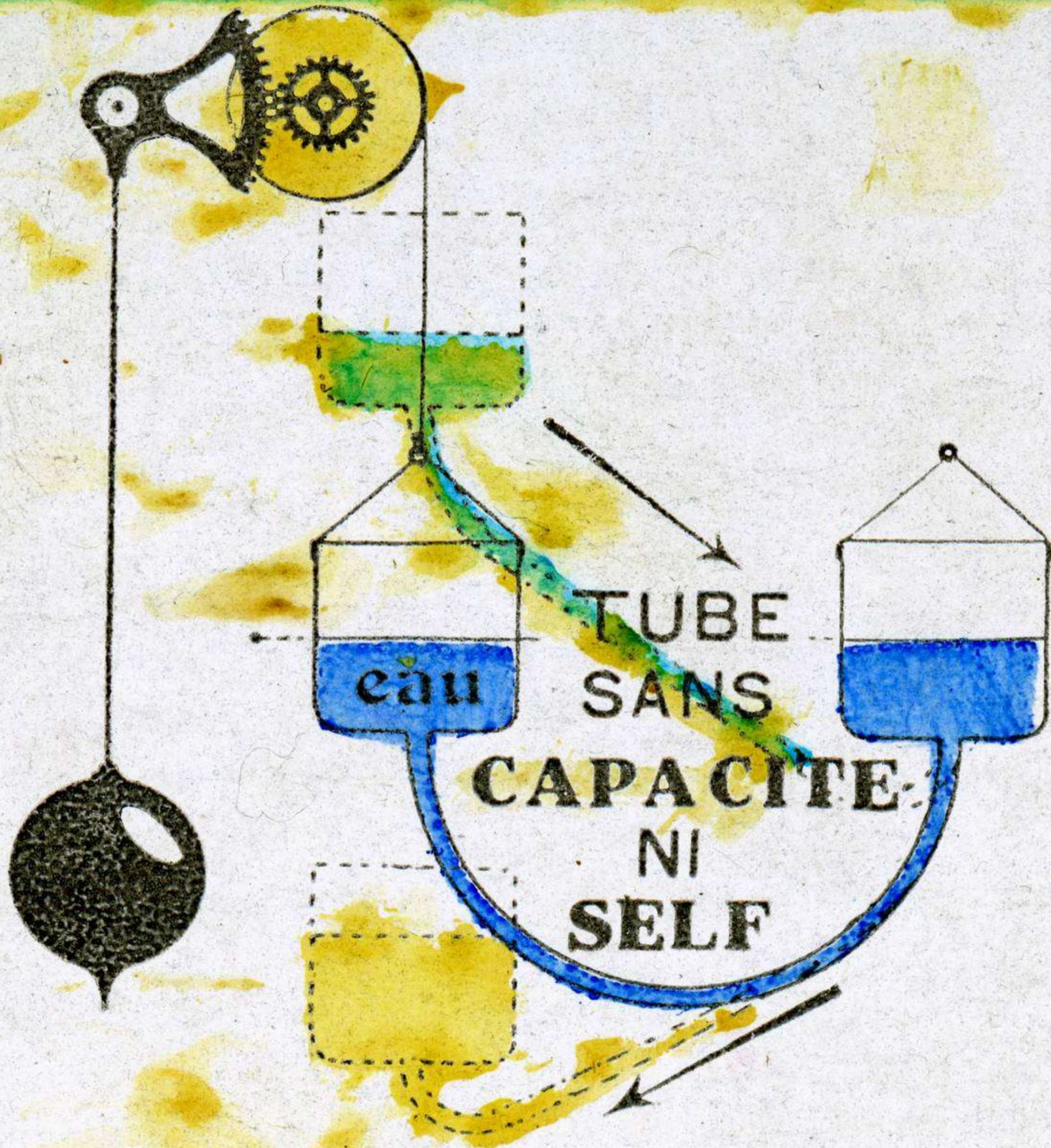
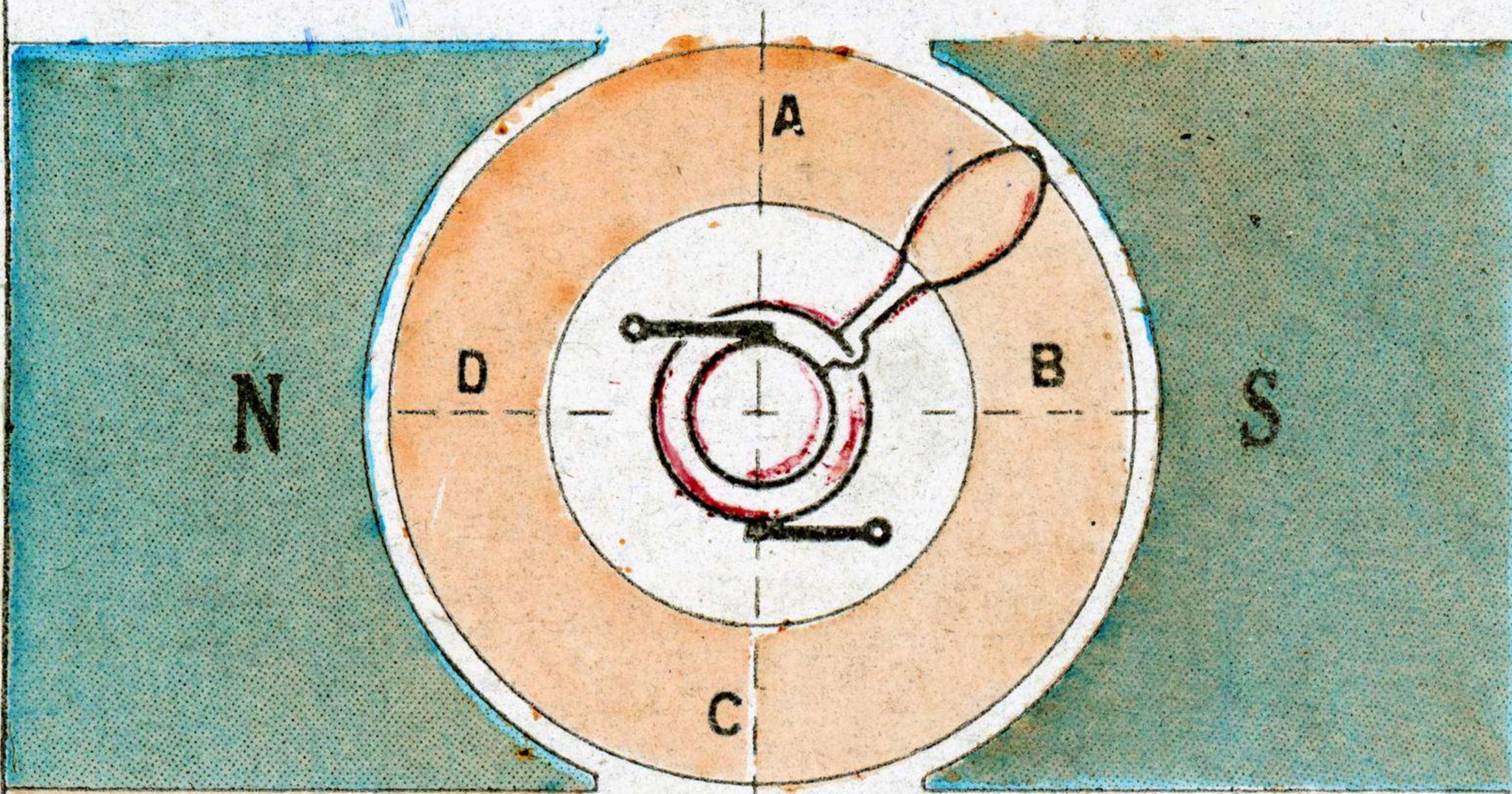


COURANTS ALTERNATIFS

REPRESENTATION HYDRAULIQUE

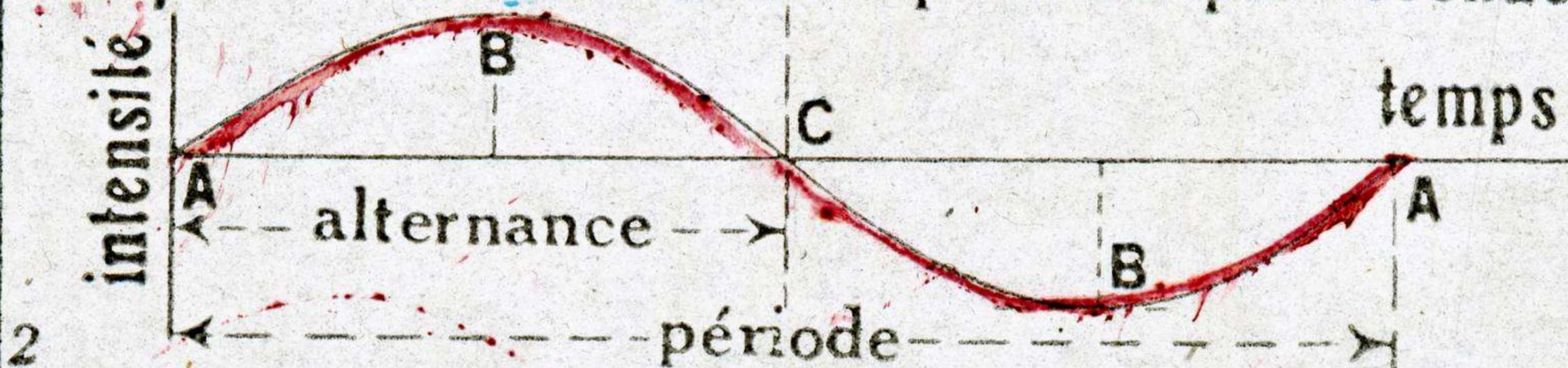


COURANTS ALTERNATIFS



REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

fréquence Nombre de périodes par seconde

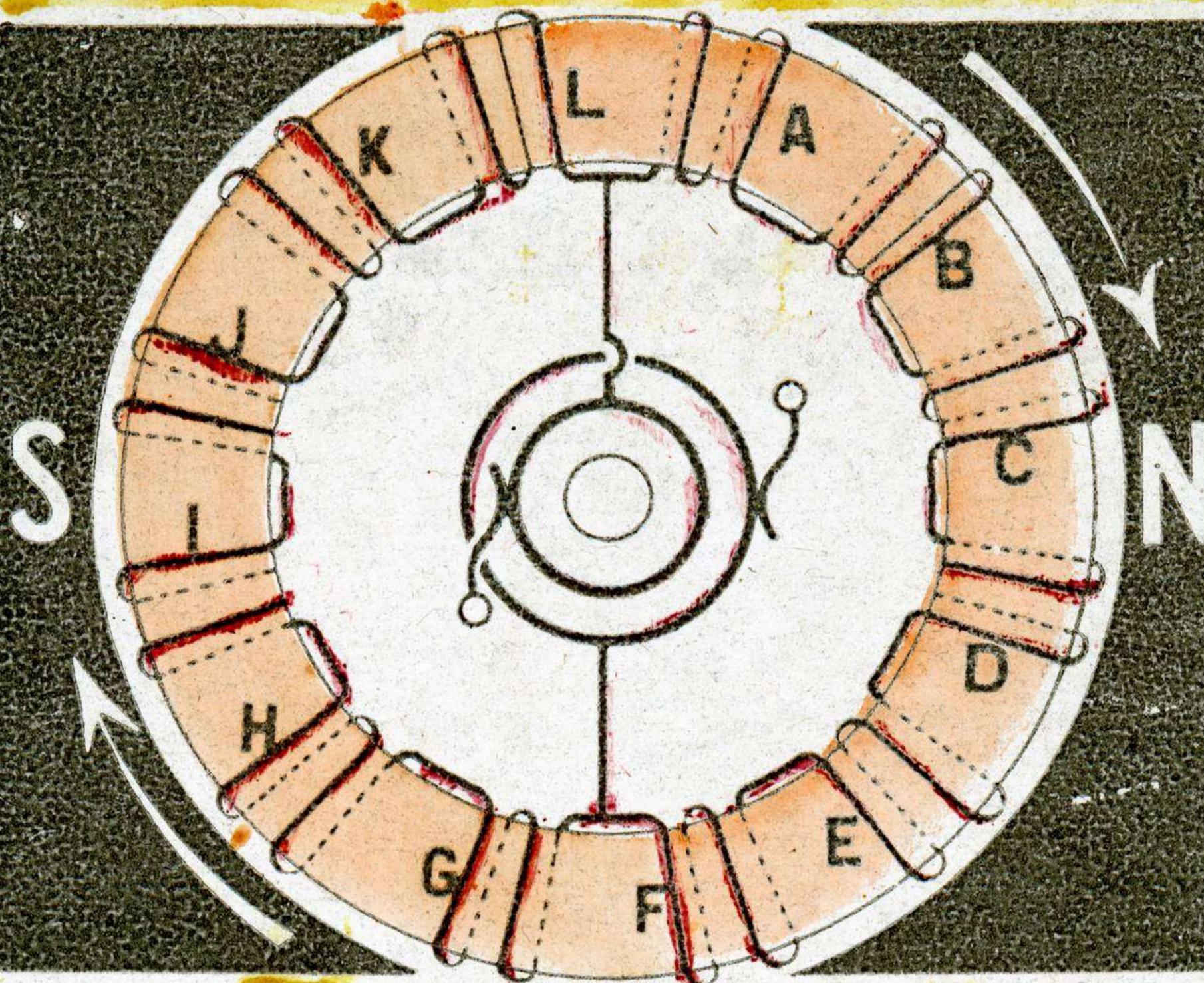


COURANTS ALTERNATIFS

Bobines en quantité

TOUR
1/12

volts



0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

12
10
6
0
6
10
12
10
6
0
6
10
12

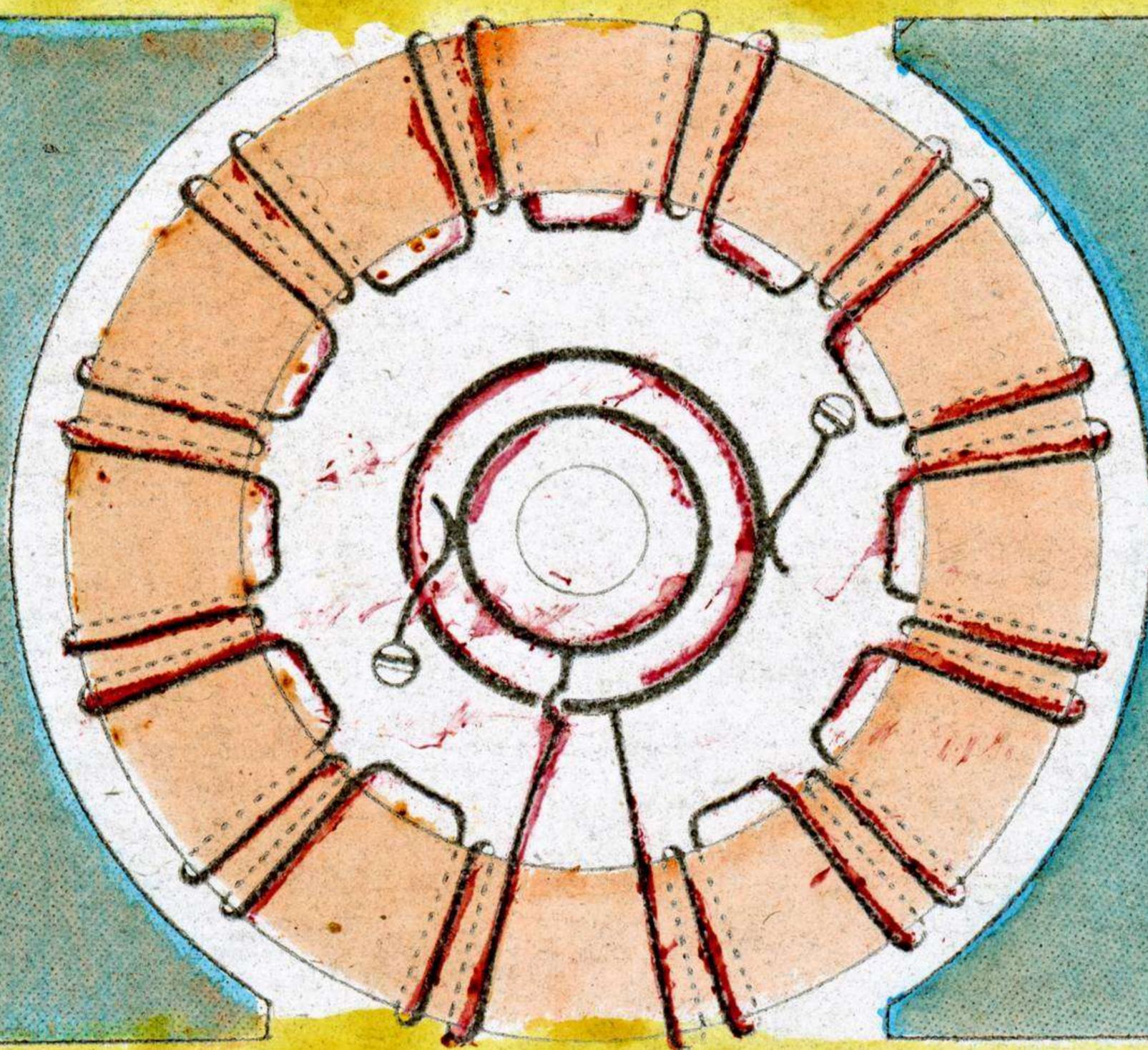
A $\frac{3}{12}$ de TOUR

A B C D E F

$$3+2+1-1-2-3 = 0$$

COURANTS ALTERNATIFS

Bobines en tension

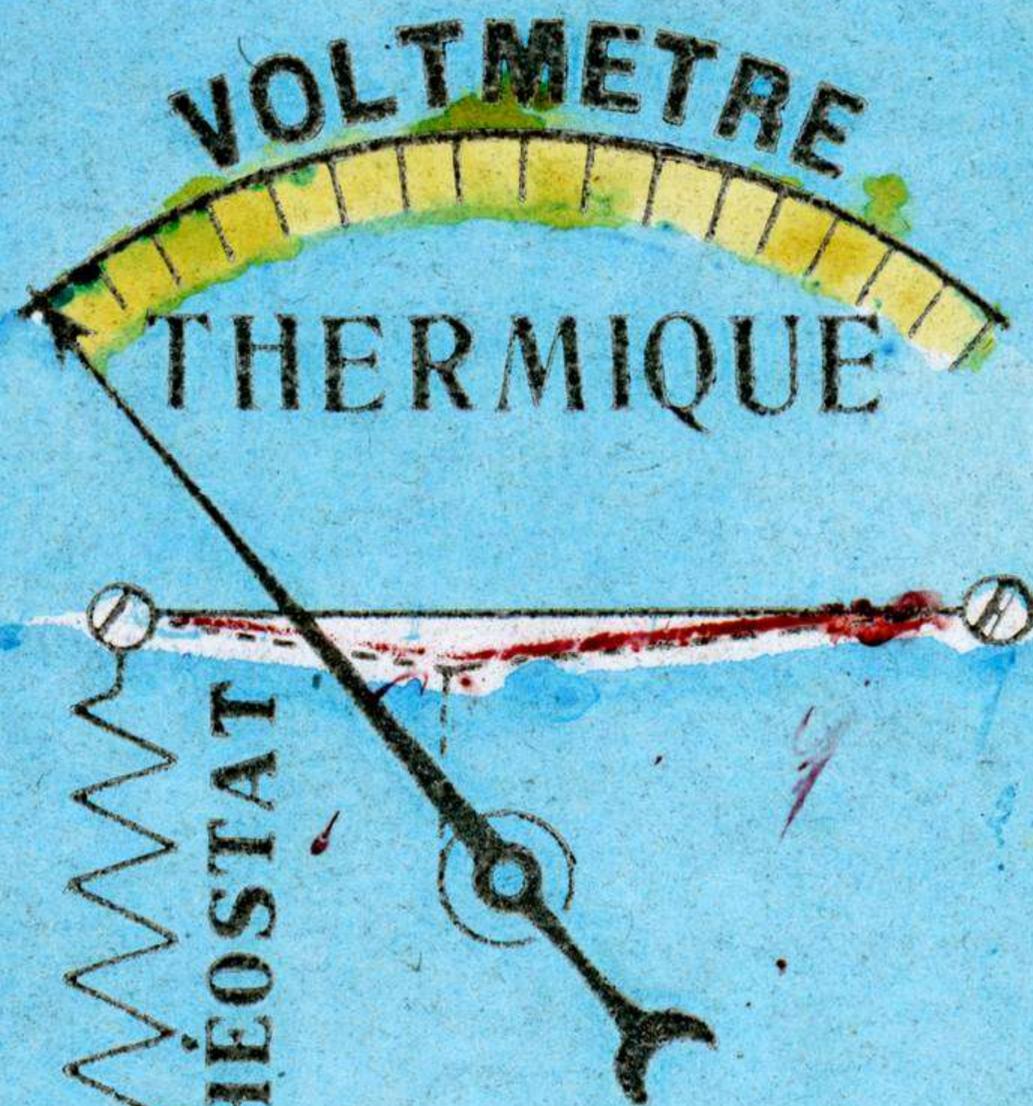
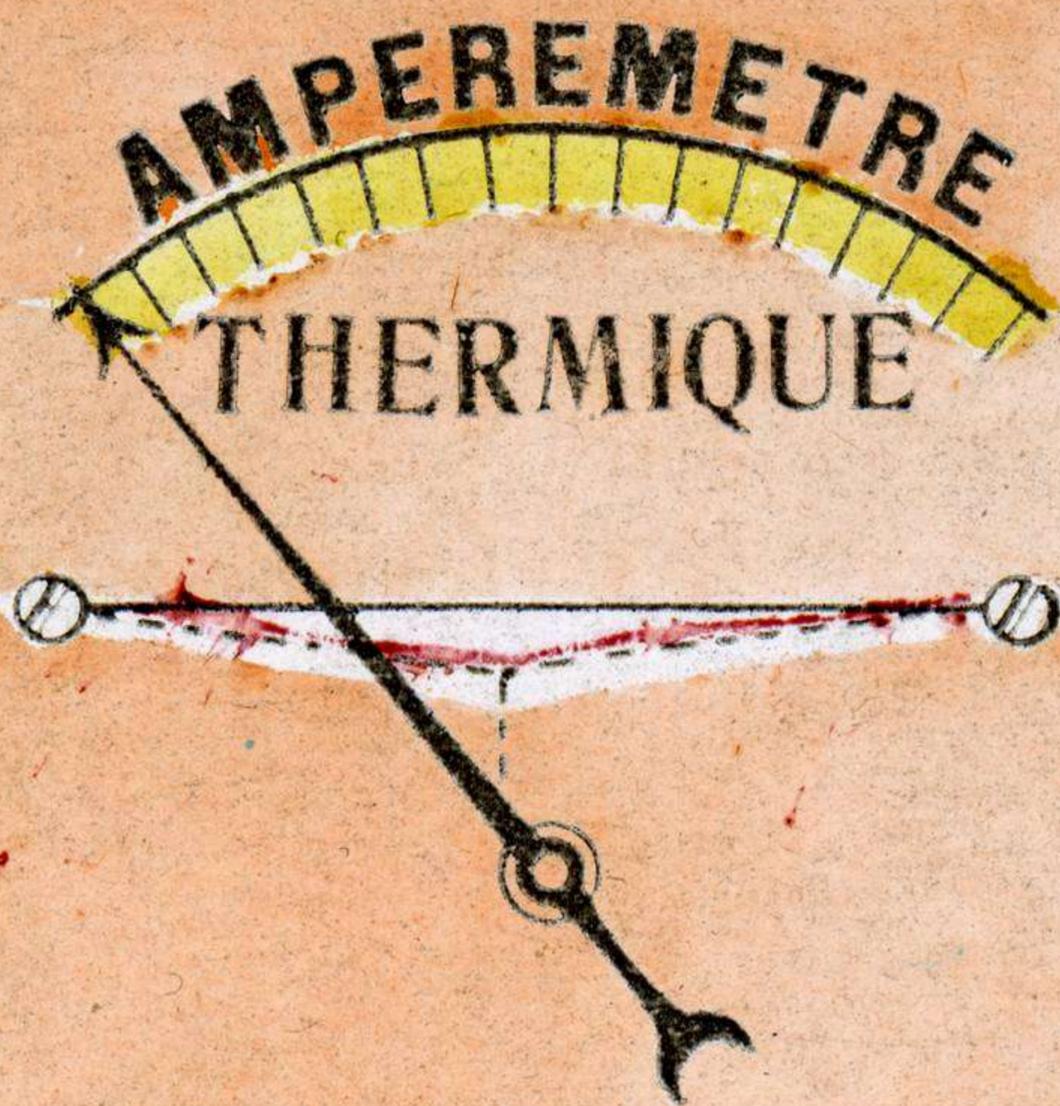


la moitié des bobines est enroulée en sens inverse de l'autre : VOLTAGE DOUBLE

MESURE des courants alternatifs

INTENSITÉ
EFFICACE

VOLTAGE
EFFICACE

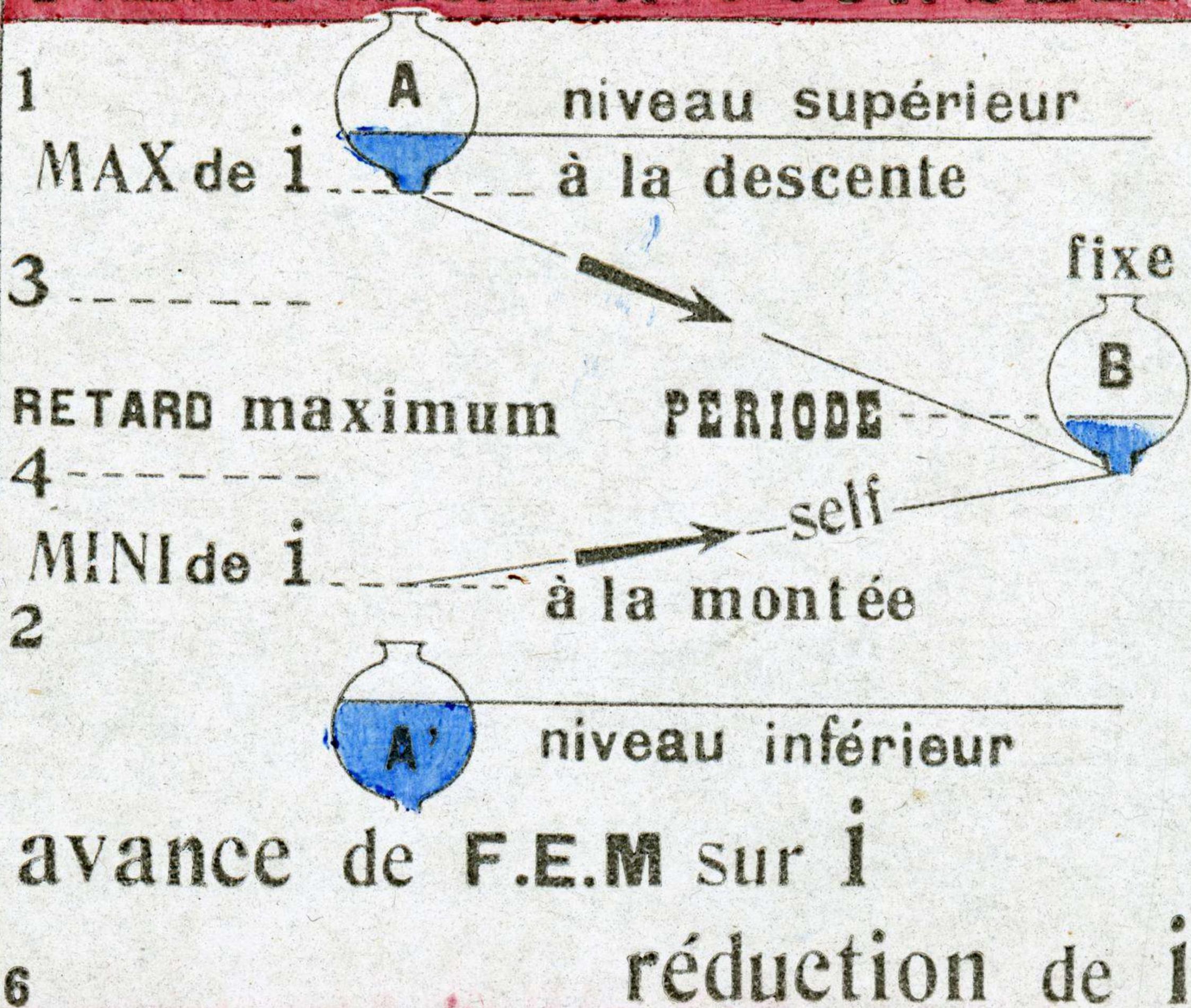


le calcul donne

$$I_e = I_0 \times 1,41$$

$$E_e = E_0 \times 1,41$$

F.E.M alternative SUR SELF

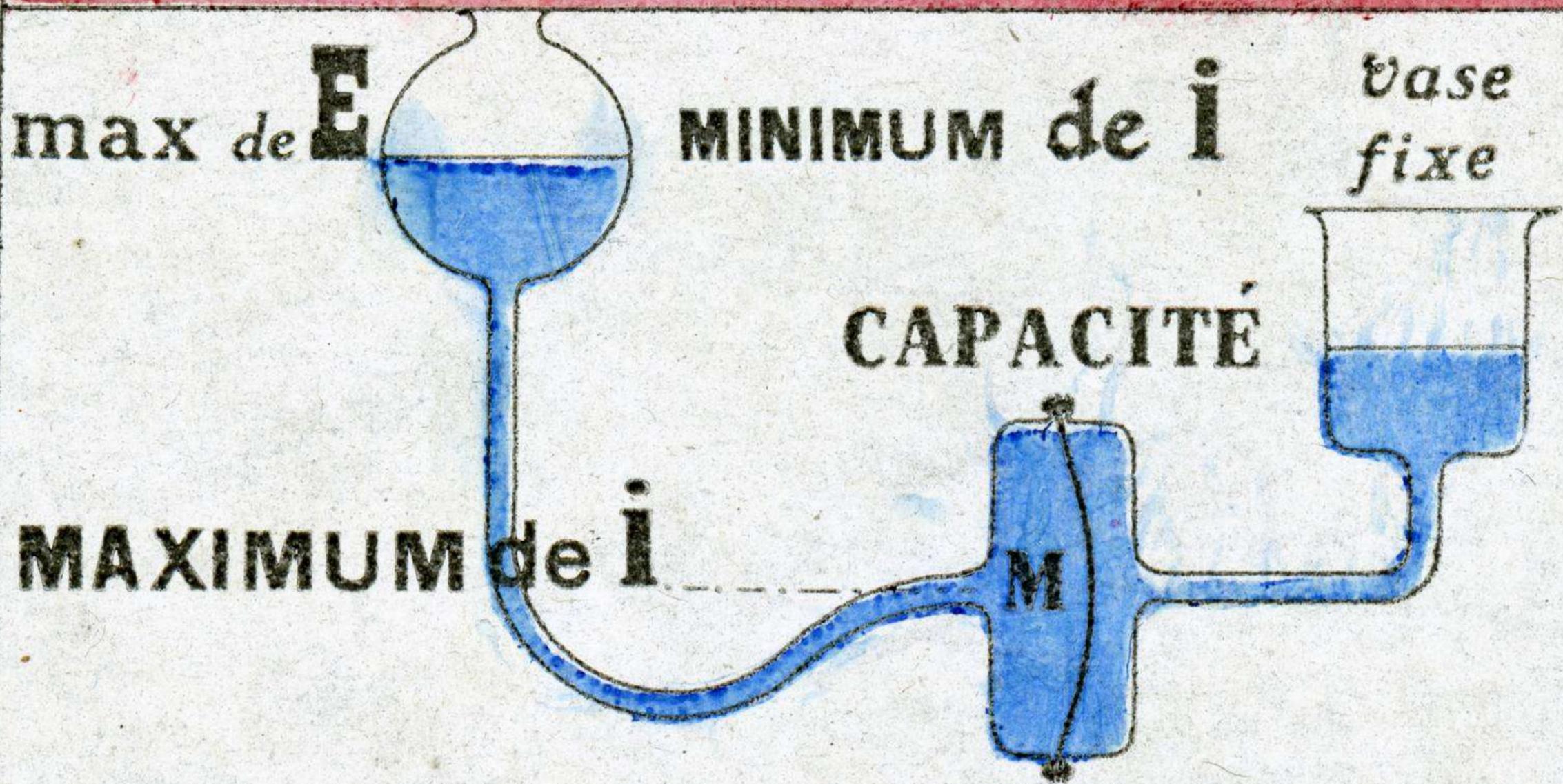


donc RESISTANCE APPARENTE

FACTEUR de PUISSANCE



F.E.M alternative sur CAPACITÉ

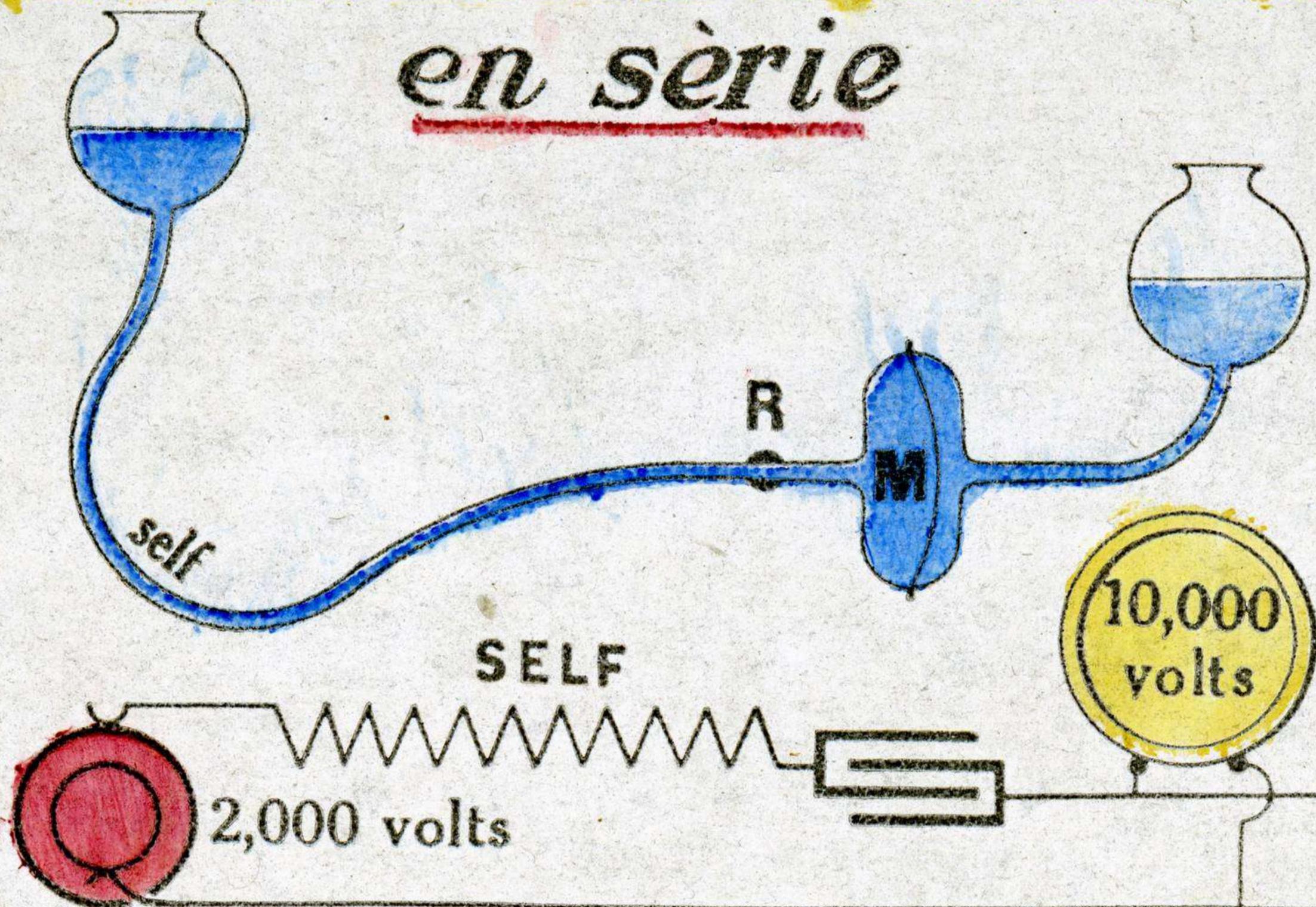


max de **E** MINIMUM de **i**

retard de F.E.M sur **i**
réduction de **i** par l'élasticité de M

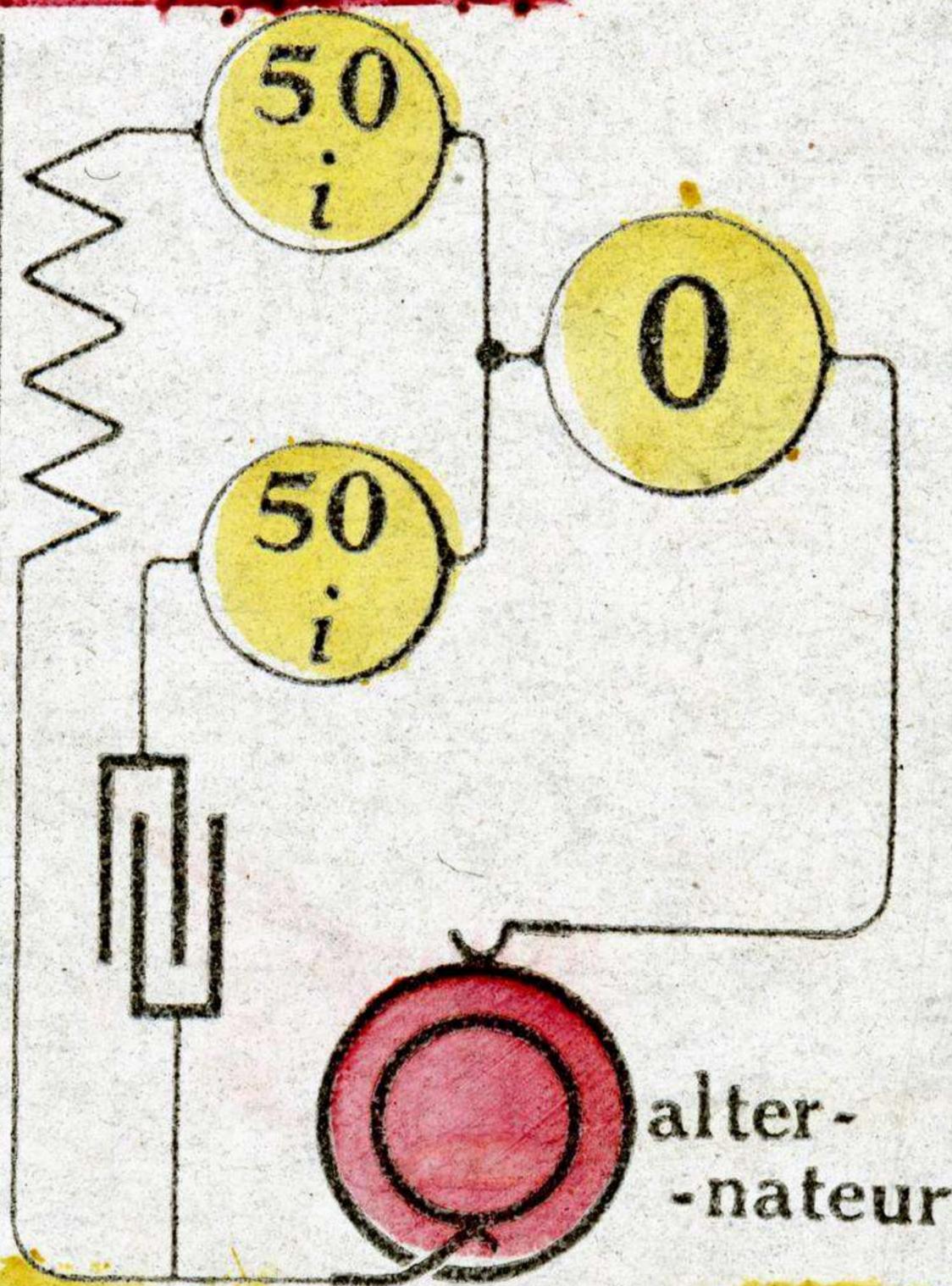
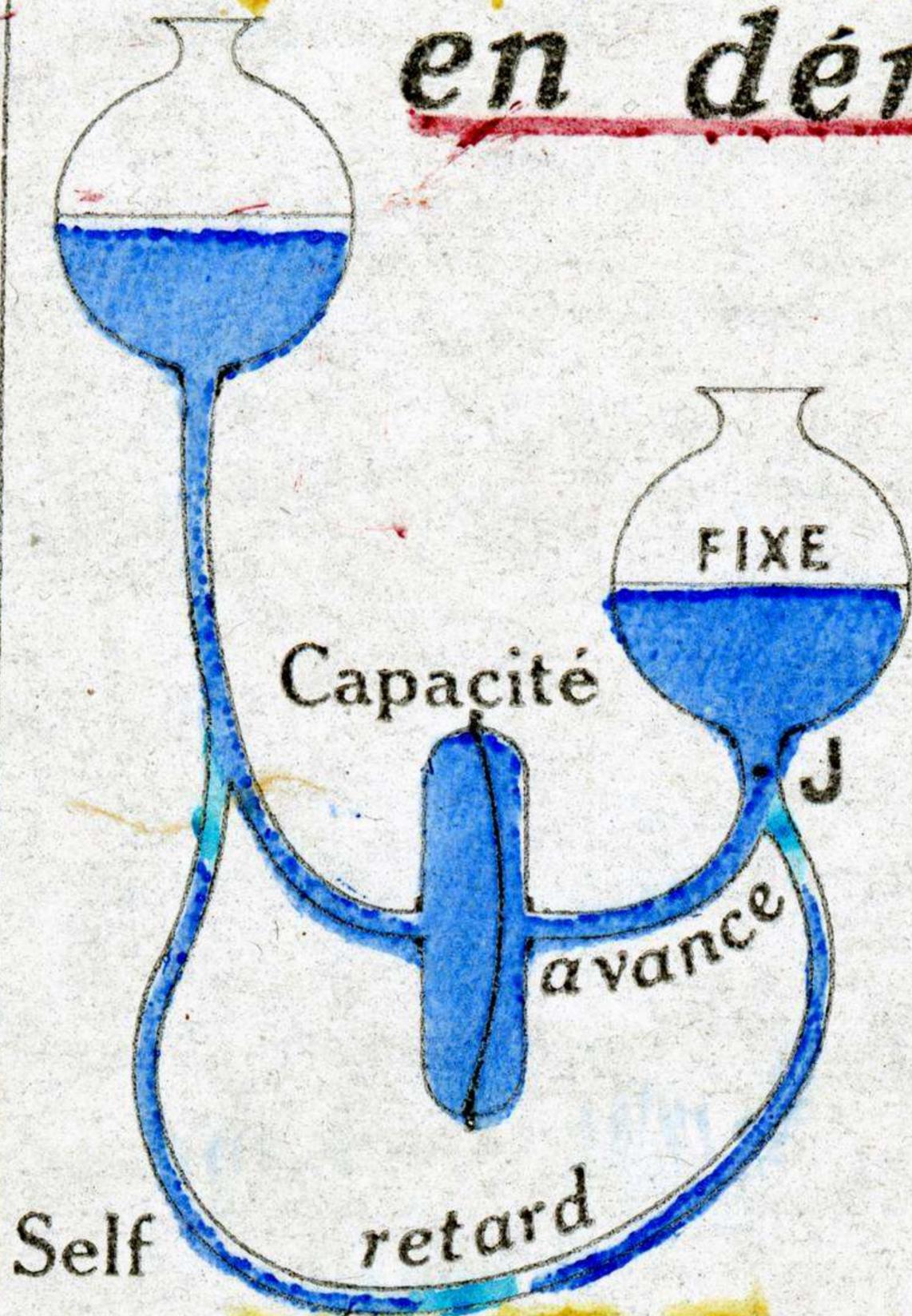
8 donc RÉSISTANCE APPARENTE

F.E.M alternative SUR CAPACITÉ & SUR SELF *en série*



Si les décalages se neutralisent
il y a résonance

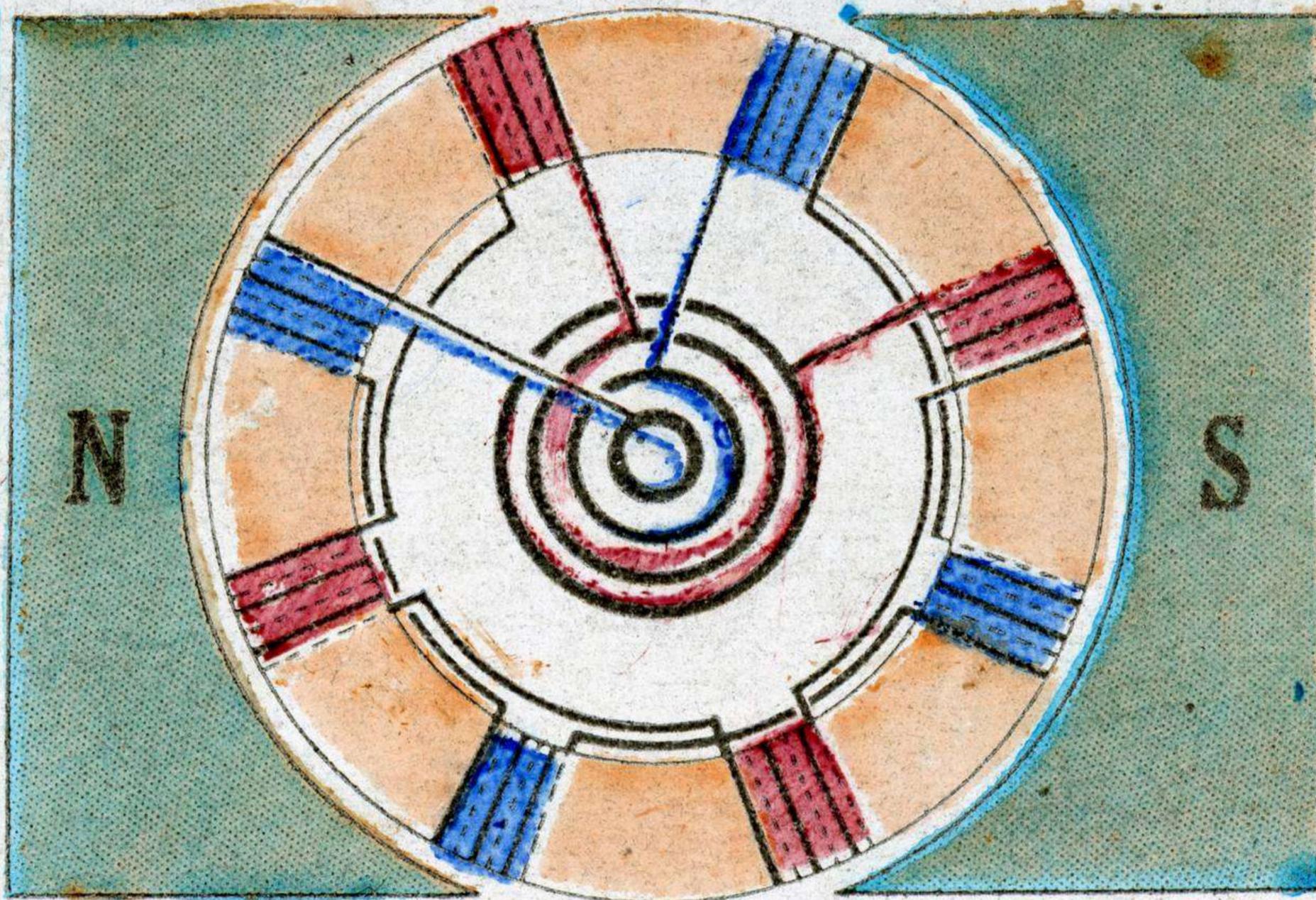
F.E.M. ALTERNATIVE SUR CAPACITÉ & SUR SELF en dérivation



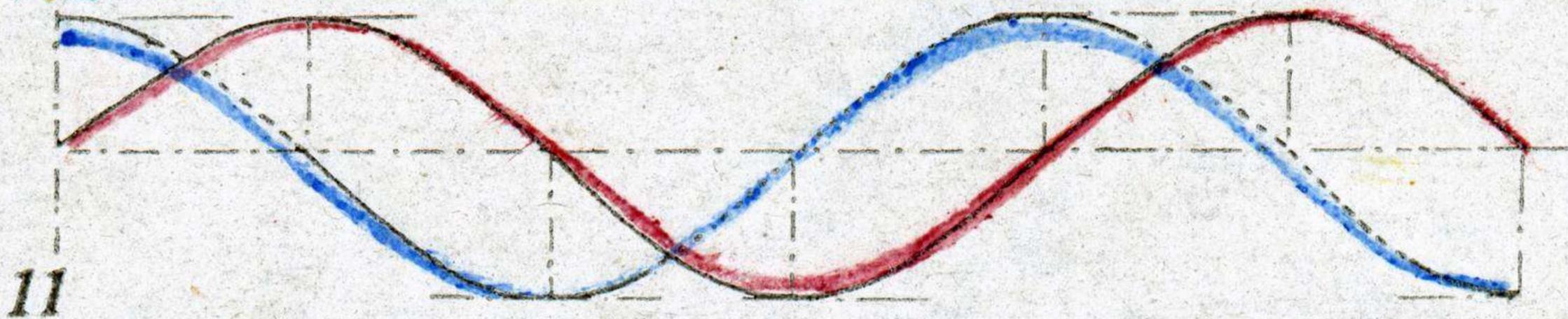
10 à la jonction $i = i_s - i_c$

DIPHASÉS

2 systèmes de bobines



sur le même anneau

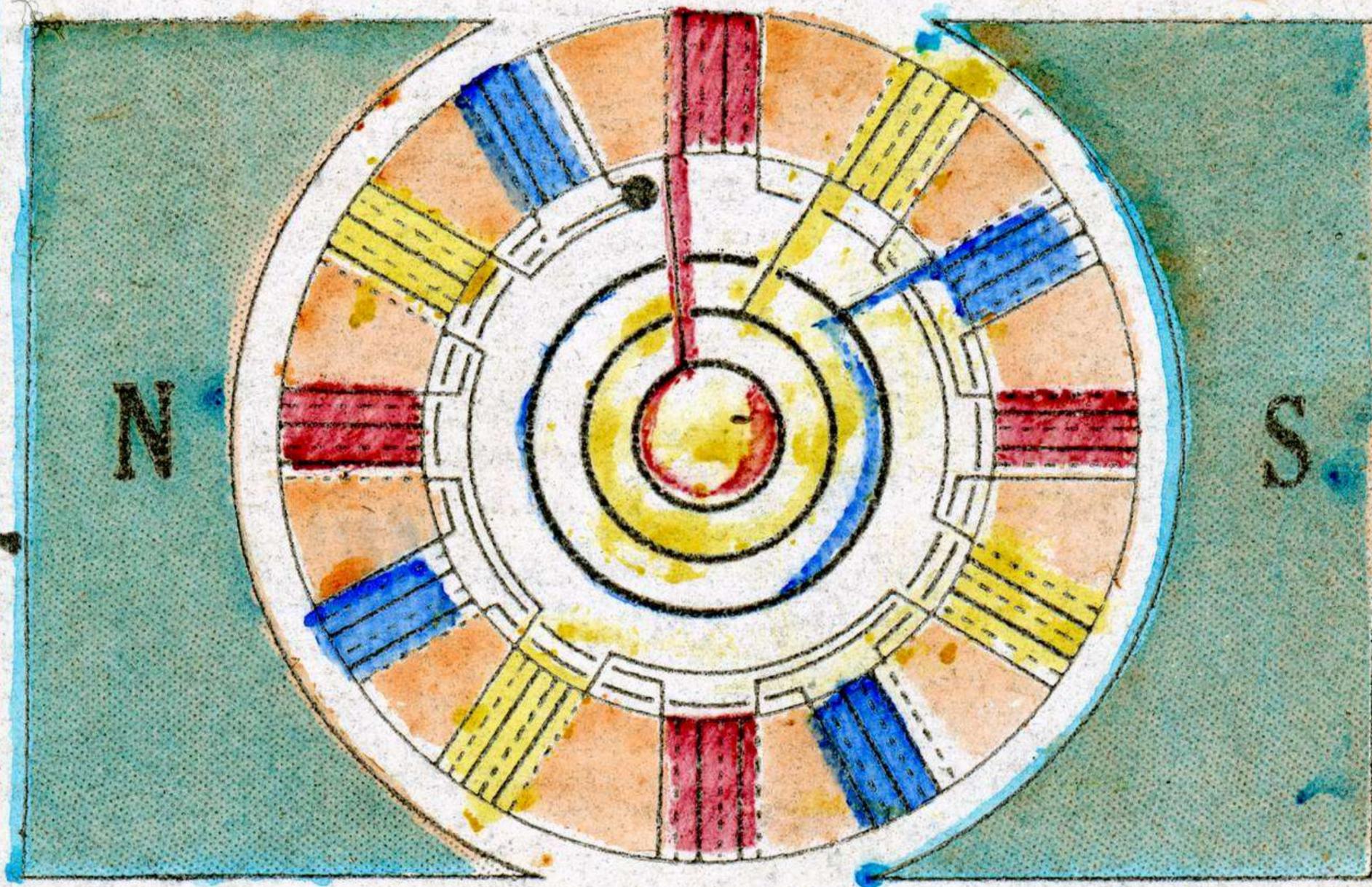


11

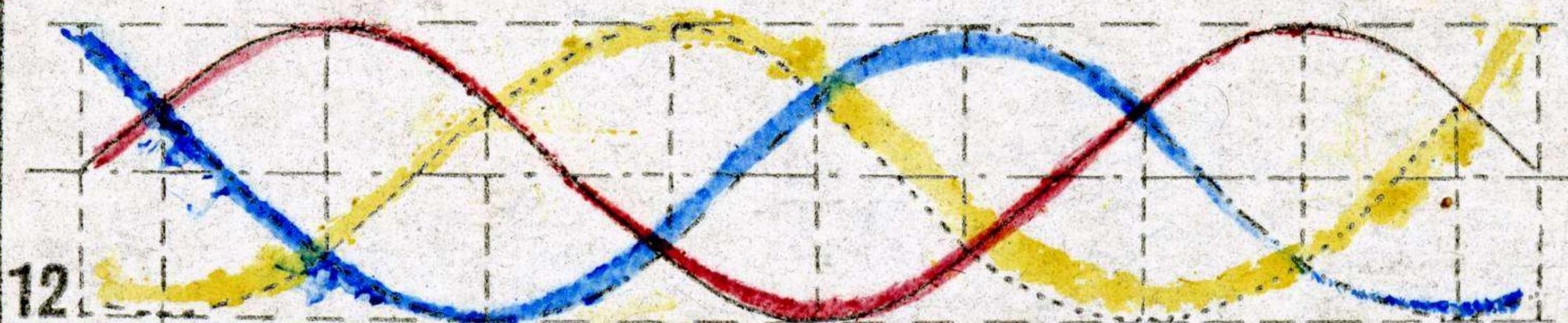
DISTRIBUTION A 4 FILS

TRIPHASÉS

à chaque instant



$$E_1 + E_2 + E_3 = 0$$



DISTRIBUTION A 3 FILS

L'ENSEIGNEMENT PAR L'ASPECT

AU MOYEN DES

Nouvelles Vues en Couleur

Véritables Tableaux Muraux sur Papier transparent

GROUPEES PAR SÉRIES DE 12 :

Elles forment une leçon conforme aux programmes officiels.
Elles coûtent 30 fois moins cher que les vues sur verre en couleur.
Elles conviennent à tous les établissements d'instruction et d'éducation.
Elles passent dans tous les appareils même les meilleurs marché.

PRIX d'une leçon avec livret explicatif: 3 Francs.

PRIX du livret séparé: 0 fr. 25

378. Courants alternatifs.

I. — COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES.

Vue : Représentation hydraulique.

Il est facile de se rendre compte de ce que sont les courants alternatifs au moyen de 2 vases réunis par un tuyau flexible.

Si l'un d'eux reste fixe et que l'on élève l'autre il se produit de ce vase un courant vers le vase fixe; si on l'abaisse on obtient un courant inverse du premier.

Le courant suit l'élévation de niveau de l'eau à la condition bien entendu que le tube ne présente pas une self, c'est-à-dire une longueur déterminant un retard du mouvement et que d'autre part il n'existe pas sur le trajet du tube une membrane élastique (capacité électrique) qui donnerait lieu aussi à des retards du courant.

Enfin, pour que le mouvement soit alternatif dans le sens mathématique du mot il faut en plus que la montée et la descente du vase s'effectue comme un mouvement pendulaire, c'est-à-dire que sa vitesse soit maxima lorsqu'il passe à sa disposition moyenne.

II. — COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES.

Vue : Rotation d'une spire dans un champ.

Examinons maintenant les courants induits qui se développent dans une spire tournant dans un champ uniforme autour d'un axe situé dans son plan et représentons à chaque instant l'intensité du courant par un graphique.

En répétant ce que nous avons dit lors de la théorie de la machine Gramme nous voyons que le courant est comme celui de la représentation hydraulique précédente, alternatif dans la spire.

Si l'on réunit chacune des deux extrémités de la spire à une bague en cuivre sur l'axe et frottée par un balai, le circuit extérieur aboutissant aux ballais sera parcouru par les courants alternatifs produits dans la spire.

Nous pouvons représenter à chaque instant son intensité par une courbe dont les x sont les temps, et les y les valeurs de l'intensité. Cette courbe a une allure particulière que l'on appelle sinusoïdale. Nous pourrions aussi représenter à chaque instant le voltage du courant par une courbe puisque si R est la résistance du circuit extérieur on a à chaque instant $E = R I$, il suffirait d'en augmenter les ordonnées

dans le rapport $\frac{E}{I} = R$.

Pour simplifier, on suppose $R = 1$ ohm, alors la même courbe représente l'intensité et le voltage dans un circuit de 1 ohm.

La concordance de E et de I suppose, bien entendu que le circuit extérieur de résistance R n'a ni self ni capacité.

Définitions: le temps mis par la spire pour effectuer un tour s'appelle période du mouvement.

La fréquence est le nombre de périodes par seconde.

On appelle alternance une 1/2 période, c'est-à-dire la durée pendant laquelle le courant parcourt la spire dans le même sens.

Remarque : A chaque instant, le courant débité parcourant un circuit de résistance R on a :

$$E = RI \text{ ou } EI = RI^2.$$

c'est-à-dire que toute la puissance électrique produite se transforme en chaleur.

III. — COURANTS ALTERNATIFS.

Vue : Bobines en quantité. — Voltage.

Supposons maintenant qu'au lieu d'une spire nous placions sur un anneau plusieurs spires. Dans chaque spire circule à chaque instant un courant alternatif, en réunissant les spires comme nous allons le montrer, nous obtiendrons finalement dans le circuit extérieur des courants alternatifs plus accusés qu'avec une spire. — Une telle machine s'appelle alternateur.

Supposons que sur l'anneau soient enroulées 120 spires reliées ensemble en quantité, c'est-à-dire toujours enroulées dans le même sens, et que les bobines A et G soient réunies aux deux bagues.

Dans la position de la figure les bobines du groupe $A B C D E F$ sont parcourues par un courant de même sens et le voltage de A étant par exemple 1 volt, celui de B 2 volts, C 3 volts, D donnera 3 volts, E 2 volts, F 1 volt. Total : 12 volts.

Entre les 2 balais il y a donc 12 volts.

Les bobines du groupe $G H I J K L$ donnent aussi 12 volts, donc entre les 2 balais la différence de voltage reste 12 volts.

Faisons tourner maintenant l'induit de $1/12^{\circ}$ de tours nous n'aurons plus que 10 volts parce que F passant à droite diminue le voltage du groupe $A B C D E F$ de 2 volts. Même remarque pour le voltage du 2^e groupe et ainsi de suite à chaque $1/12^{\circ}$ de tour, on aura les voltages successifs :

12, 10, 6, 0, — 6, — 10, — 12, — 10, — 6, 0, 6, 10, 12.

IV. — ALTERNATEUR.

Vue : Bobines en tension. — Voltage.

La moitié des bobines est enroulée en sens inverse de l'autre, le voltage est donc double du voltage dont les bobines sont en quantité. A chaque $1/12^{\circ}$ de tour on aurait :

24, 20, 12, 0, — 12 — 20 — 24 — 20 — 12, 0, 12, 20 — 24.

V. — MESURE DES COURANTS ALTERNATIFS,

Vue : Intensité efficace. — Voltage efficace.

L'intensité et le voltage d'un courant alternatif variant à chaque instant, il n'est pas possible de définir l'intensité et le voltage absolu d'un courant alternatif ; mais les courants alternatifs comme les courants continus peuvent alimenter les lampes électriques puisque à chaque instant le courant se transforme en chaleur dans le circuit extérieur, il suffit que les oscillations soient assez rapides pour que les fila-

ments n'aient pas le temps de se refroidir, ce qui a lieu lorsque leur nombre des périodes dépasse 20 par seconde.

On a donc convenu d'appeler *intensité efficace*, et *voltage efficace* d'un courant alternatif, l'intensité et le voltage d'un courant continu qui produirait les mêmes effets calorifiques que le courant alternatif considéré.

Pour mesurer l'intensité efficace d'un courant alternatif on se sert donc d'ampèremètres et de voltmètres thermiques.

On établit mathématiquement et cela n'est pas difficile (classe de mathématiques) qu'entre l'intensité maxima réelle et l'intensité efficace d'un courant alternatif quelconque on a toujours l'égalité

$$\text{et de même } \begin{aligned} I(f) &= I_M \sqrt{2} \text{ ou } I_M \times 1.41 \\ E(f) &= E_M \sqrt{2} \text{ ou } E_M \times 1.41. \end{aligned}$$

L'intensité efficace et le voltage efficace sont donc toujours des fractions fixes de l'intensité du voltage maxima produits par l'alternateur.

VI. — F. E. M. ALTERNATIVE SUR SELF.

Vue : Représentation hydraulique.

Pour définir les courants alternatifs nous avons supposé que le tube reliant les 2 vases était sans self ni capacité, mais souvent, en pratique un alternateur débite sur un transformateur formé de bobines d'induction, les bobines présentent toujours une self Examinons les phénomènes qui se produisent dans ce cas, nous servant toujours de la représentation hydraulique.

Rappelons-nous bien que un tube hydraulique sans self est un tube gros et long.

Pendant la montée le courant est en retard sur la pression et quand le vase est à son niveau supérieur I n'est pas maximum, il n'est maximum qu'à la descente. En passant à la position moyenne I n'est pas nul bien que E soit nul et finalement le minimum de I aura lieu lorsque le vase remontera, l'écart entre son niveau inférieur et le minimum de I est plus grand qu'entre le niveau supérieur et le maximum de I . Au bout de quelques périodes un régime s'établira dans lequel le courant de A vers B atteindra un maximum et un minimum fixes avec des retards fixes sur l'instant des passages supérieur et inférieur du vase A .

Le retard de I sur E ne peut cependant jamais dépasser $1/4$ de période, car le courant vers B qui existe quand A redescend ne peut s'augmenter après le passage de A au niveau 0 puisqu'alors la $f e m$ agit sur lui à contre sens, donc si A redescendant trouvait le niveau au 0, ce dernier ne monterait plus il redescendrait avec le vase, le retard serait alors de $1/4$ de période.

En résumé :

Quand un courant alternatif se produit sur self il y a avance de la $f e m$ sur l'intensité, réduction de l'intensité, c'est-à-dire dans le circuit une sorte de résistance apparente que l'on appelle **impédance**.

VII. — PUISSANCE APPARENTE ET PUISSANCE RÉELLE D'UN ALTERNATEUR.

Vue : Facteur de puissance.

La comparaison hydraulique précédente nous montre bien que jamais pour un alternateur débitant sur self le voltage n'est maximum en même temps que l'intensité.

Bien mieux, le courant est souvent dirigé en sens inverse de la $f e m$ agissante.

Lorsque **E** et **I** sont de même sens, l'alternateur fournit bien du travail au circuit extérieur puisque c'est le cas général des génératrices, mais si **E** et **I** sont de sens contraire, c'est une puissance contraire à celle du générateur qui se développe et ce dernier marche comme moteur.

Il est facile de se rendre compte de ce phénomène en le comparant à ce qui se passe dans la marche d'un moteur à gaz.

Pendant 1 temps le moteur marche comme producteur d'énergie, pendant les 3 autres temps, c'est grâce au volant qu'il expulse les gaz brûlés, aspire le mélange, puis le comprime, pendant ces 3 temps c'est le volant qui est la vraie génératrice.

Dans les alternateurs, ce qui fait volant, c'est le champ magnétique développé par la self autour du courant ; pendant que **E** et **I** sont de même sens ce champ croît et lorsque **E** et **I** sont de sens inverse il diminue, restituant une puissance qui maintient l'allure de l'alternateur.

Ces variations de champ produisent des vibrations de l'air ambiant qui se traduisent par un ronflement caractéristique des alternateurs simples.

Conclusion : Il suit de ces observations que la puissance d'un alternateur n'est pas le produit $E(f) I(f)$: pour obtenir la puissance réelle il faut tenir compte du décalage de **I** sur **E** et multiplier le produit $E(f) I(f)$ par un facteur qu'on appelle facteur de puissance.

$$W = K E I.$$

Remarque I. — $K = 1$ si le circuit extérieur ne contient pas de self, c'est le cas où l'alternateur débite sur un circuit de lampes à incandescence, car ces lampes absorbant tout le courant le transforment en chaleur et forme un circuit faiblement inductif : sur un tel circuit il n'y a pas de self, **E** et **I** sont en concordance de phases.

Remarque II. — Lorsque le circuit extérieur ne comporte qu'une grande self, le décalage atteint $1/4$ de période et alors $K = 0$ et $W = 0$. Cela semble paradoxal qu'une intensité efficace et un voltage efficace souvent très élevés donnent un travail nul et cela est pourtant conforme à la logique.

Pendant le premier quart de période le courant est contraire à la $f e m$ pendant le $1/4$ suivant il est de même sens pendant le 3^e quart, de sens inverse pendant le 4^e de même sens. Dans les périodes où **E** et **I** sont de même sens ils produisent un champ magnétique qui restitue son énergie dans les périodes où **E** et **I** repassent par les mêmes valeurs mais en sens inverse.

Remarque III. — Lorsque le circuit extérieur comporte une résistance et une self, le décalage n'est jamais $1/4$ de période, car une partie de la puissance, lorsque **E** et **I** sont de même sens est absorbée par le circuit.

La puissance des alternateurs ne peut se mesurer exactement qu'au moyen de wattmètres à moins qu'on ne connaisse à l'avance le facteur de puissance de la machine et correspondant au circuit considéré en général 0,8 ou 0,9.

VIII. — F. E. M. SUR CAPACITÉ.

Vue : Représentation hydraulique.

Plaçons sur le tube reliant les 2 vases 1 membrane élastique et comme précédemment élevons et abaissons le vase **A**. — Pendant l'élévation, le courant de **A** vers **B** va en diminuant et il est 0 lorsque **A** est à son niveau supérieur. Quand **A** descend, la membrane se dégonfle et le courant de **B** vers **A** sera maximum quand **A** sera au niveau moyen — et ainsi desuite, c'est-à-dire que le courant est en retard sur la $f e m$ d'un quart de période si le tube est assez gros pour ne pas gêner le gonflement ou le dégonflement de la membrane et de moins de $1/4$ de période si le tube est assez fin, c'est-à-dire s'il offre une certaine résistance.

Si la capacité n'existait pas entre **A** et **B**, le mouvement de **A** déterminerait un courant alternatif qui serait évidemment *plus intense que le courant sur capacité*, donc une capacité offre aussi une résistance apparente, mais cette résistance n'est pas infinie comme celle d'un condensateur chargé avec une machine statique, elle est au contraire d'autant plus petite que l'élasticité et la minceur de la membrane sont plus grandes, c'est-à-dire que la capacité est plus considérable.

Enfin si les oscillations sont fréquentes, la résistance apparente de la capacité diminue évidemment encore.

IX. — F. E. M. SUR CAPACITÉ ET SUR SELF EN SÉRIE.

Vue : Représentation hydraulique.

Une self et une capacité placées sur un courant alternatif présentent donc des propriétés exactement contraires.

Examinons ce qui se passerait si nous plaçons en série sur un courant alternatif une self et une capacité. Nous pouvons le comprendre facilement toujours au moyen de la représentation de l'hydraulique.

Nos deux vases sont reliés par un tuyau gros et long (self) et nous plaçons sur le trajet une membrane élastique (capacité) en la précédant d'un robinet.

A étant élevé, ouvrons le robinet, il se formera un courant oscillatoire tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre et dont le régime dépendra de la différence de niveau dans **A** et **B**, du tuyau et de la membrane.

Pendant que le liquide effectue ces oscillations, imprimons au vase **A** un mouvement de manière qu'en montant il renforce le courant de **A** vers **B** et en redescendant de **B** vers **A**.

L'amplitude des oscillations va augmenter graduellement absolument comme celle d'un écolier qui, sur une balançoire accentue ses oscillations en élevant et en abaissant alternativement son corps en concordance avec le mouvement de la balançoire.

C'est donc le phénomène de la résonance qui a lieu et qui souvent fait sauter les alternateurs lorsque, par mégarde, on le laisse se produire dans les circuits.

Pour l'éviter, il faut avoir soin de changer la capacité, alors les 2 effets se contrarient et le courant final à une amplitude faible, de même que notre écolier sur sa balançoire arrête son mouvement en élevant ou en abaissant son corps de n'importe quelle façon.

Lorsqu'il y a résonance, le décalage de **E** sur **I** devient nul, le décalage avant dû à la self est compensé par le décalage arrière de la capacité. L'adjonction d'une capacité peut donc rendre des services si par suite, par exemple d'une grande self un courant intense ne pouvait passer dans une ligne, il suffirait d'y adjoindre en série une capacité convenable. Cette adjonction de capacité sur self s'emploie couramment sur les lignes transportant à haut voltage (30,000 — 50,000 volts) l'énergie à grande distance.

X. — F. E. M. SUR CAPACITÉ ET SELF EN DÉRIVATION.

Vue : Installation.

Il nous reste enfin un cas à examiner, c'est la disposition d'une **f. e. m.** sur capacité et sur self en dérivation.

Chaque dérivation se comporte comme si elle était seule, chacune d'elle est donc parcourue par un courant, l'un en retard sur la **f e m**, l'autre en avance et si retard et avance sont de $1/4$ de période chacun, la différence entre les deux courants sera *une demi période*. A leur jonction on aura deux courants de sens inverse et le courant résultant sera la différence des 2 courants.

Et si la capacité et la self sont telles que l'intensité des 2 courants à leur jonction ait la même valeur en grandeur, le courant résultant sera nul.

Cette singularité se met bien en évidence en branchant sur le circuit d'un alternateur une capacité et une self variables en dérivation. En réglant convenablement le rapport de la self et de la capacité,

des ampérémètres pourront accuser des intensités efficaces élevées sur les dérivations et une intensité efficace nulle sur le circuit de l'alternateur.

XI. — COURANTS DIPHASÉS.

Vue : Schema de l'enroulement des bobines.

Qu'est-ce qu'un courant diphasé ?

Supposez sur un anneau 2 systèmes de bobines, chaque système aboutissant à 2 bagues absolument comme s'il était seul : pendant que l'anneau tournera vous obtiendrez dans chaque système de bobines un courant alternatif simple, qui débitera dans le circuit extérieur par les balais de ses bagues.

Quel est l'avantage de cette solution ?

C'est qu'elle permet de transporter à distance des courants alternatifs qui restent constamment décalés exactement de la même quantité et permettent comme nous le verrons, d'alimenter des moteurs électriques spéciaux que l'on appelle moteurs à champ tournant.

La distribution d'un alternateur diphasé s'effectue donc au moyen de 4 fils.

XII. — COURANTS TRIPHASÉS.

Vue : Schema de l'enroulement des bobines.

Au lieu de 2 systèmes de bobines mettons-en 3, donc 6 bagues, 6 balais, 6 fils de distribution ? Non pas, 3 seulement d'où une énorme économie de cuivre et voici pourquoi. Traçons les courbes d'intensité du courant dans chacun des systèmes de bobines, elles sont décalées chacune l'une sur l'autre de $1/3$ de période. Ces courbes expriment aussi la variation de la **f e m** dans chaque bobine si le circuit était un ohm puisque $E = R I$ à chaque instant.

Mais chose curieuse en chaque point :

$$E^1 + E^2 + E^3 = 0$$

$$\text{ou } I^1 + I^2 + I^3 = 0$$

Alors au lieu d'utiliser 6 fils, on réunit les bouts commençants des 3 groupes des bobines qui forment un point neutre et les 3 autres bouts à 3 bagues seulement qui par 3 balais distribuent le courant par 3 fils de ligne.

Outre la mise en marche de moteurs à champ tournants, les courants triphasés permettent d'être utilisés pour l'éclairage. On les transporte à haut voltage et comme nous le verrons, on abaisse ensuite leur pression à 110 volts pour l'éclairage : en prenant une dérivation sur 2 fils seulement les courants qui passent dans la dérivation allument les lampes comme le courant continu.

EN COURS D'ÉDITION

ZOOLOGIE : 30 leçons.

BOTANIQUE : 30 leçons.

GÉOLOGIE : 20 leçons.

PALÉONTOLOGIE : 10 leçons.

COSMOGRAPHIE : 10 leçons.

HYGIÈNE : 10 leçons.

COURS D'HISTOIRE GÉNÉRALE

Nota. — Se tenir au courant des nouvelles séries qui paraissent à raison de deux par semaine.

Demander nos 4 leçons sur les Etats-Unis. — Géographie économique. — Histoire — La vie américaine — En Pulmann Car.