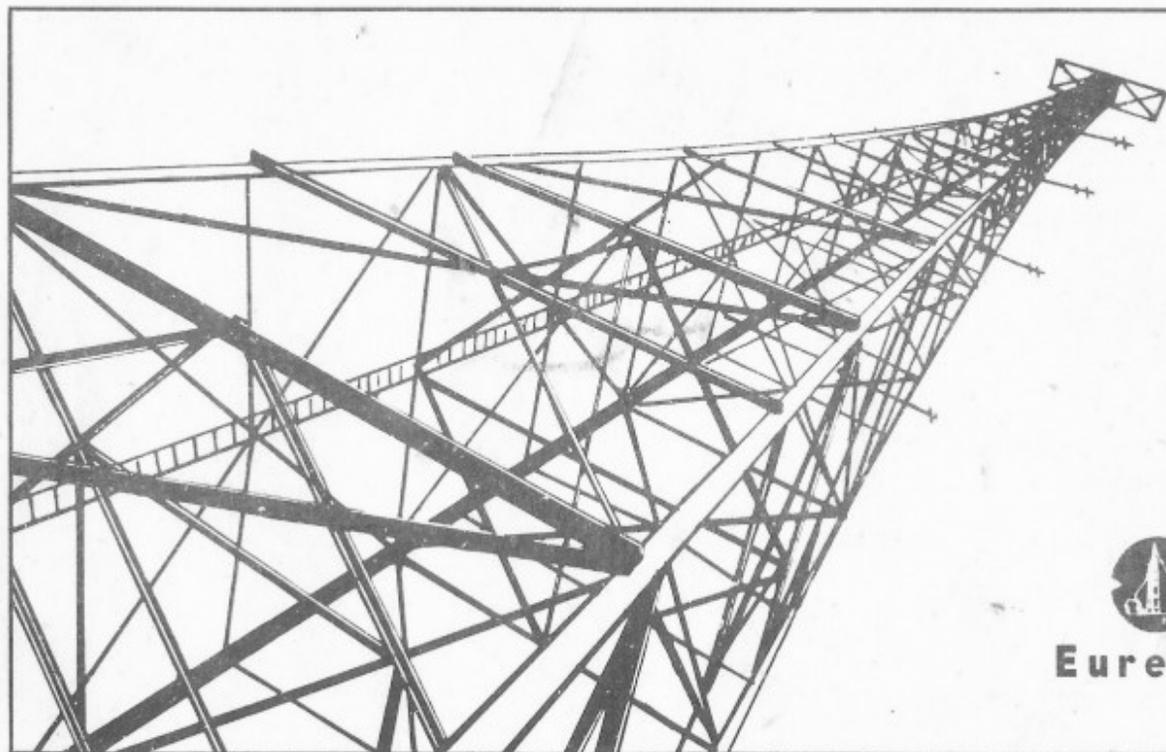


# PRELIMINAIRE



4



Eurelec-

COURS DE RADIO PAR CORRESPONDANCE

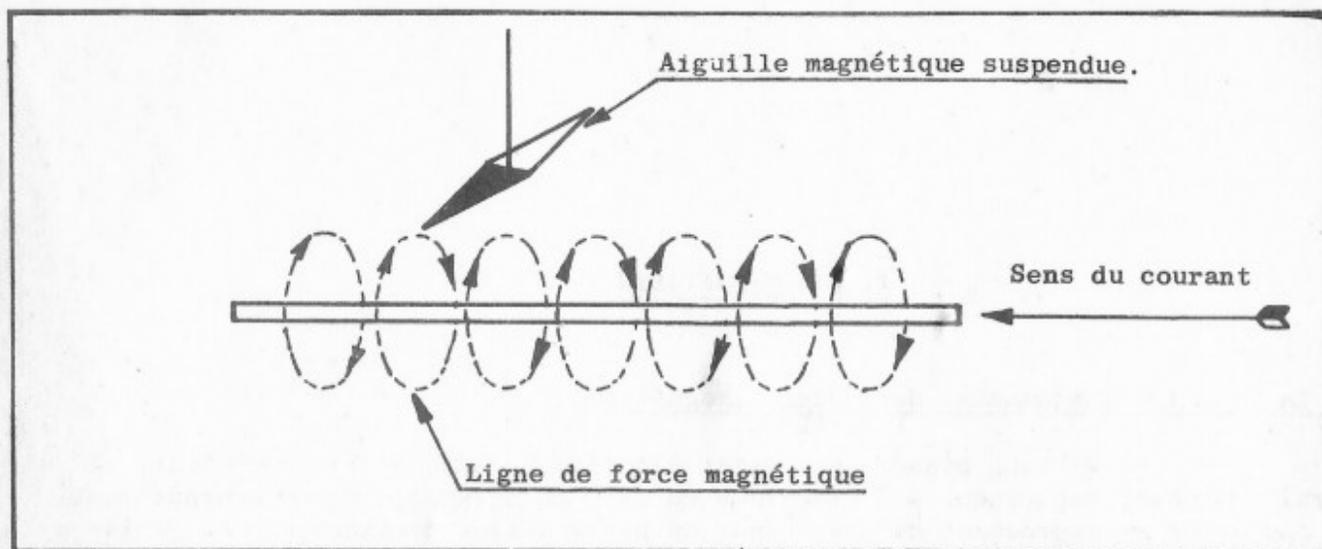
- ELECTROMAGNETISME -

1.1- Le principe fondamental de l'Electromagnétisme.

En faisant passer un courant électrique dans un fil conducteur, il apparaît un champ magnétique à l'extérieur du fil. La naissance de ce courant peut être démontrée en approchant du conducteur un petit aimant permanent ayant la liberté de tourner sur lui-même, comme par exemple l'aiguille de la boussole (Fig. 1-).

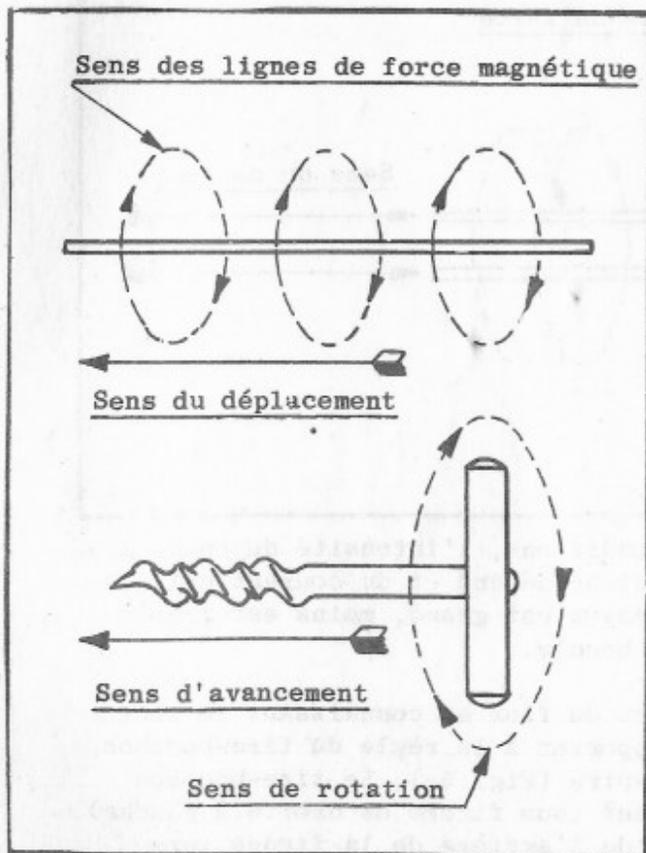
L'intensité du champ ainsi produit dépend principalement de l'intensité du courant qui passe dans le fil, et la direction des lignes de force dépend du sens dans lequel circule le courant le long du fil.

La façon la plus simple pour reconnaître la direction des lignes de forces consiste à repérer le sens de rotation d'un tire-bouchon qui tourne de telle sorte que sa vis avance dans le même sens que le courant.



- Fig. 1 -

La Fig. 2- représente le fil conducteur et le champ magnétique qui l'entoure ; en dessous, on a fait figurer le tire-bouchon et son sens de rotation. Cette règle simple sera très utile par la suite pour déterminer la polarité des électroaimants, et il est nécessaire de se la rappeler : le tire-bouchon avançant dans le même sens que le courant (donc en vissant), son sens de rotation est celui des lignes de force.

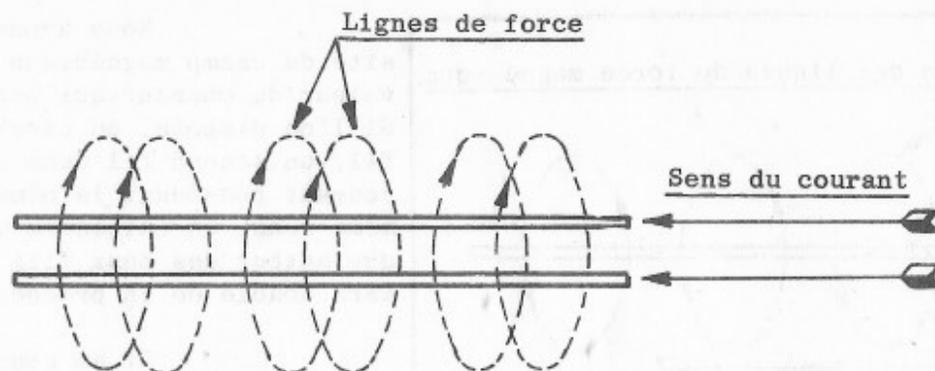


Nous avons dit que l'intensité du champ magnétique était liée à la valeur du courant qui passait dans le fil. Si l'on dispose, en parallèle à ce premier fil, un second fil dans lequel passe un courant possédant la même intensité et le même sens, on obtiendra un champ magnétique autour des deux fils dont la valeur sera double de la précédente (Fig. 3-).

Si au contraire, dans les deux fils ainsi placés passent deux courants ayant la même intensité mais de sens contraire, le champ magnétique total sera nul.

Ce phénomène pourra être contrôlé avec un aimant, comme nous l'avons dit précédemment.

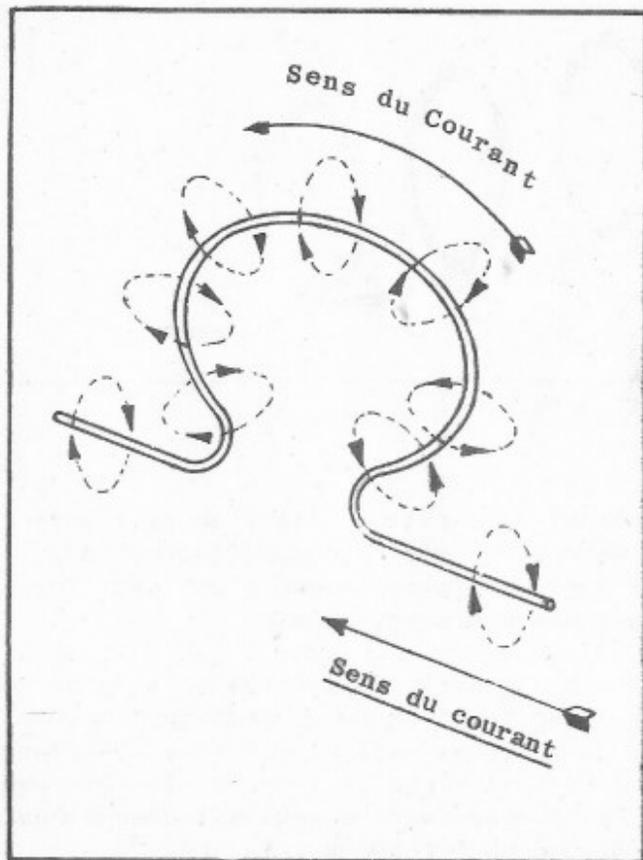
En disposant le fil conducteur en forme de boucle, c'est-à-dire de SPIRE, et en faisant passer le courant dans le fil, nous aurons l'apparition d'un champ magnétique comme dans les exemples ci-dessus (le sens des lignes de force magnétique



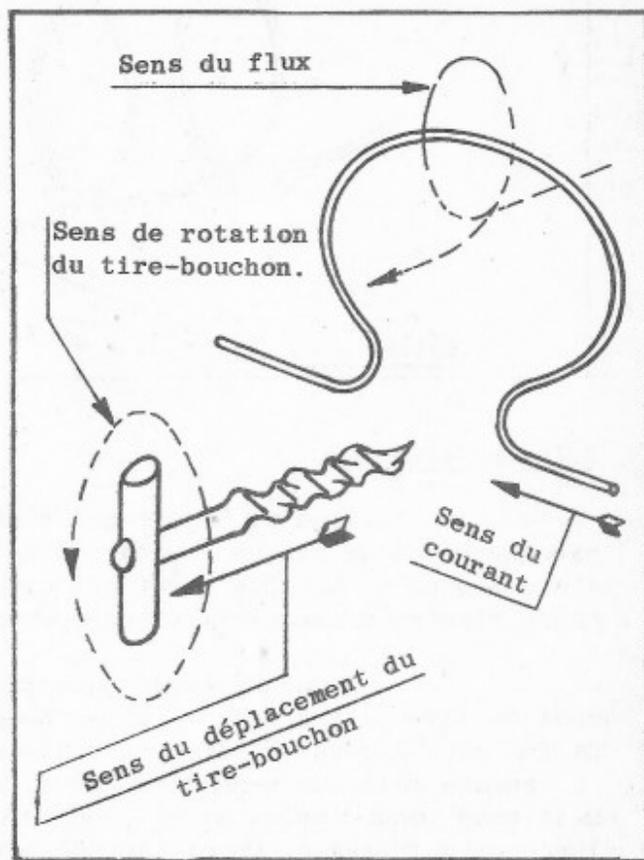
- Fig. 3 -

correspond au dessin de la Fig. 4-). Dans ces conditions, l'intensité du champ magnétique au centre du cercle formé par le conducteur dépend et du courant qui passe dans le fil, et du rayon du cercle. Plus ce rayon est grand, moins est grande l'intensité du champ magnétique au centre de la boucle.

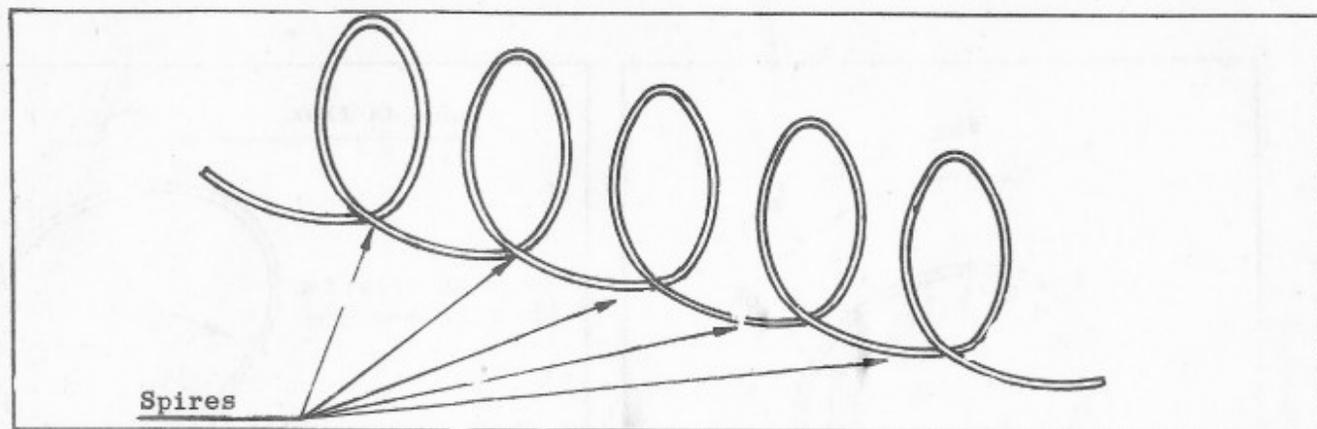
Pour déterminer le sens des lignes du flux en connaissant le sens du courant dans le fil, on peut à nouveau se rapporter à la règle du tire-bouchon en plaçant ce dernier perpendiculairement à la spire (Fig. 5-). Le tire-bouchon tourne dans le même sens que le passage du courant (sur figure de droite à gauche) : il se dévisse donc et se déplace par conséquent de l'arrière de la figure vers l'avant. Le sens de déplacement du tire-bouchon indiquera le sens du flux magnétique (Fig. 5-).



- Fig. 4 -



- Fig. 5 -

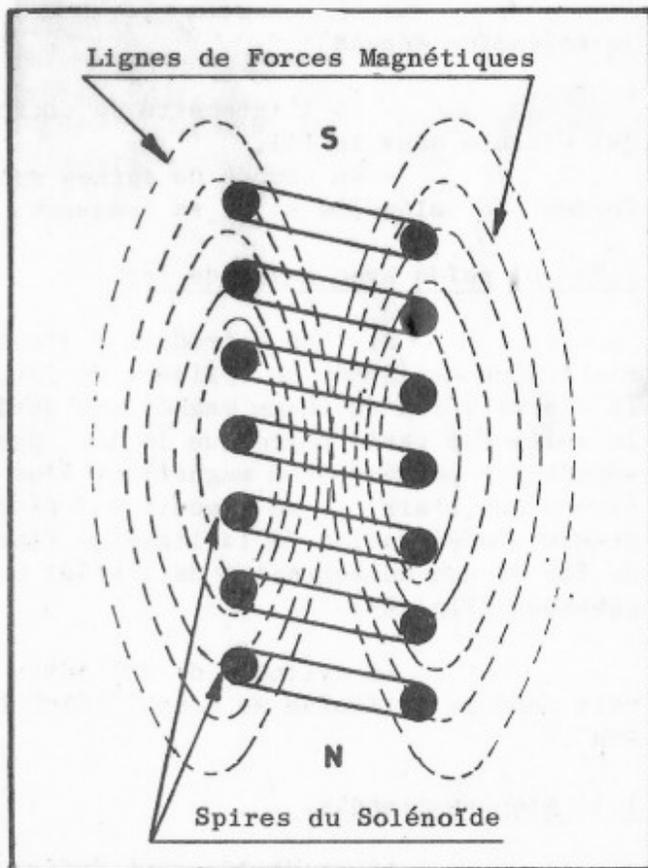


- Fig. 6 -

### 1.2- Le Solénoïde.

Nous avons dit qu'en disposant deux fils à côté l'un de l'autre, parcourus chacun par un courant dans le même sens, l'effet magnétique produit s'additionnait. Le même effet est obtenu avec des spires formées par deux conducteurs placés en parallèle et parcourus par des courants égaux.

Le champ magnétique produit s'ajoutera, pourvu que le sens du courant de circulation soit le même. Nous pouvons aussi disposer plusieurs spires de fil côte à côte et faire en sorte que le champ magnétique s'ajoute. Un résultat encore meilleur peut être obtenu si l'on fait circuler toujours le même courant dans chaque spire et si l'on forme les spires avec un seul fil conducteur de longueur suffisante. On obtient de cette façon un SOLENOÏDE (Fig. 6-).



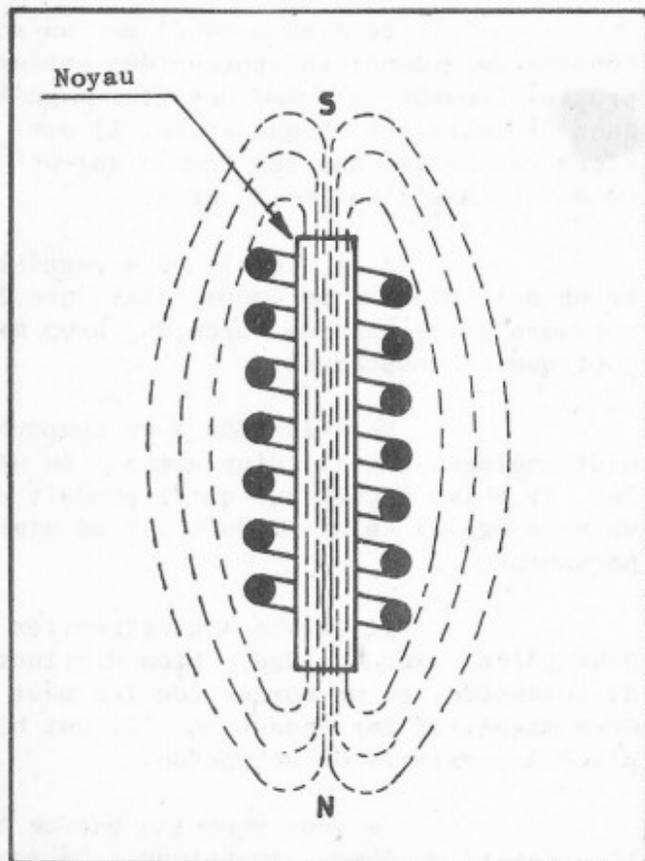
Le flux produit par un solénoïde de dimensions appropriées est approximativement la somme des flux magnétiques produits par chaque spire. Il est alors nécessaire que les spires soient très voisines l'une de l'autre.

A la Fig. 7- on a représenté un solénoïde vu en coupe, ainsi que le parcours des lignes de force du champ magnétique correspondant.

Un solénoïde a un comportement analogue à celui d'un aimant. En effet, le champ magnétique qu'il produit est en gros égal à celui produit par un aimant permanent.

Il existe aux extrémités deux pôles : Nord et Sud - bien distincts du solénoïde, et un morceau de fer peut être magnétisé par induction s'il est bien placé à proximité du solénoïde.

Je vous rappelle encore que l'intensité du champ magnétique créé par



- Fig. 8 -

le solénoïde dépend :

- de l'intensité du courant qui circule dans le fil.
- du nombre de spires qui forment le solénoïde et de sa longueur.

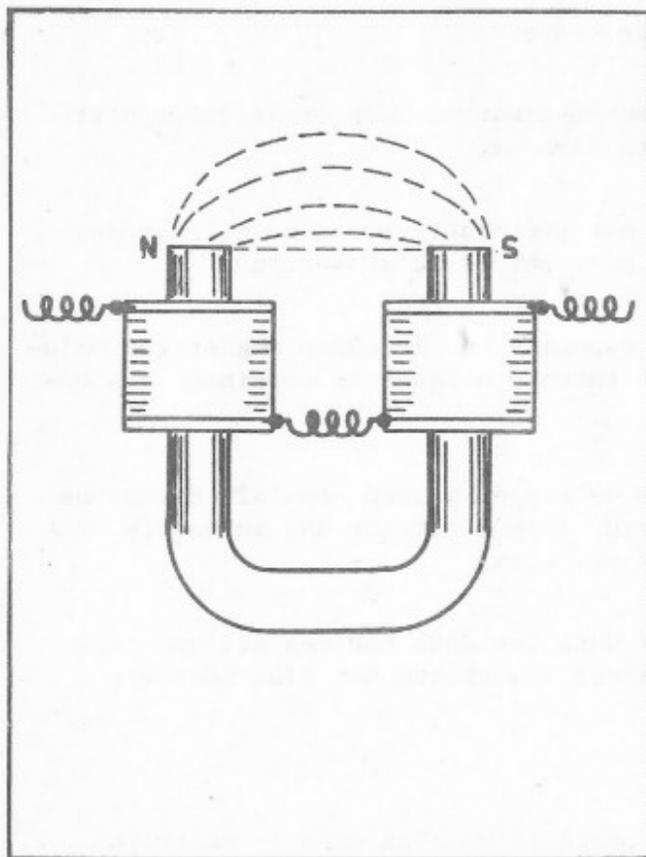
### 1.3- Solénoïde avec noyau de fer.

Si l'on introduit à l'intérieur d'un solénoïde un cylindre de fer, la distribution du champ magnétique dans le solénoïde varie parce que le fer, possédant une perméabilité magnétique plus élevée que l'air, il se produit une plus grande concentration de la ligne du flux du fer et une augmentation de l'effet magnétique (Fig. 8-).

Le cylindre de fer introduit dans le solénoïde se nomme "NOYAU DE FER".

### 1.4- Electro-aimants.

Le solénoïde avec noyau de fer, décrit ci-dessus, peut être employé



avantageusement à la place des aimants permanents normaux.

En effet, il est possible d'en faire varier l'action magnétisante en réglant opportunément l'intensité du courant qui circule dans le fil.

Pour cette raison, on nomme "ELECTRO-AIMANT" ce dispositif formé d'un solénoïde avec noyau de fer, dont la mission est de fournir une action magnétique réglable. Ces électro-aimants sont employés à mille usages divers, en commençant par la sonnette électrique ordinaire, les électro-aimants porteurs, les commandes à distance, le télégraphe et le téléphone.

La forme et la dimension sont diverses, suivant l'emploi, et le matériau utilisé pour sa construction est également différent. Pourtant, en règle générale, la forme préférée est celle qui apparaît sur la Fig. 9- et le matériau employé de préférence est le fer doux, parce qu'il se magnétise facilement et ne conserve pas

- Fig. 9 -

la magnétisation lorsque le courant magnétiseur cesse.

On peut également, pour ces électro-aimants, mesurer la force d'attraction en kilogrammes, comme dans les aimants normaux.

La forme indiquée à la Fig. 9- est préférable parce qu'elle permet d'utiliser les deux pôles de l'électro-aimant pour obtenir l'attraction.

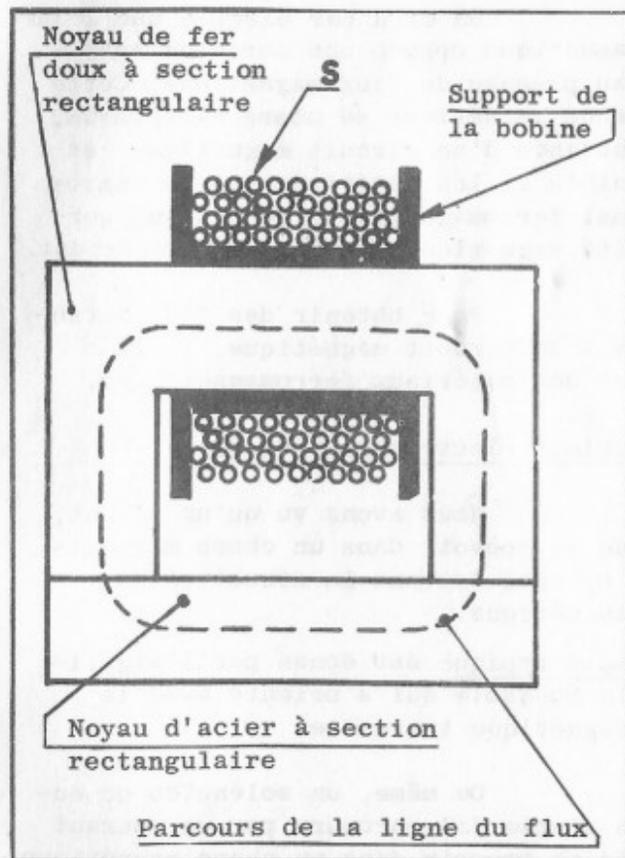
En outre, on a une plus grande capacité car le champ magnétique existant entre les deux pôles est particulièrement intense à cause du voisinage des pôles eux-mêmes.

Il est à noter que le solénoïde de magnétisation apparaît divisé en deux parties, une pour chaque extrémité du noyau, afin d'obtenir une intensité plus élevée du champ magnétique vers les extrémités polaires.

Il est important que le courant dans les deux bobines ait une bonne direction pour créer le flux total représentant l'addition des flux partiels créés par chaque bobine.

#### 1.5- Circuit magnétique.

On nomme CIRCUIT MAGNETIQUE le parcours du flux dans le matériau "ferromagnétique" et dans l'air.



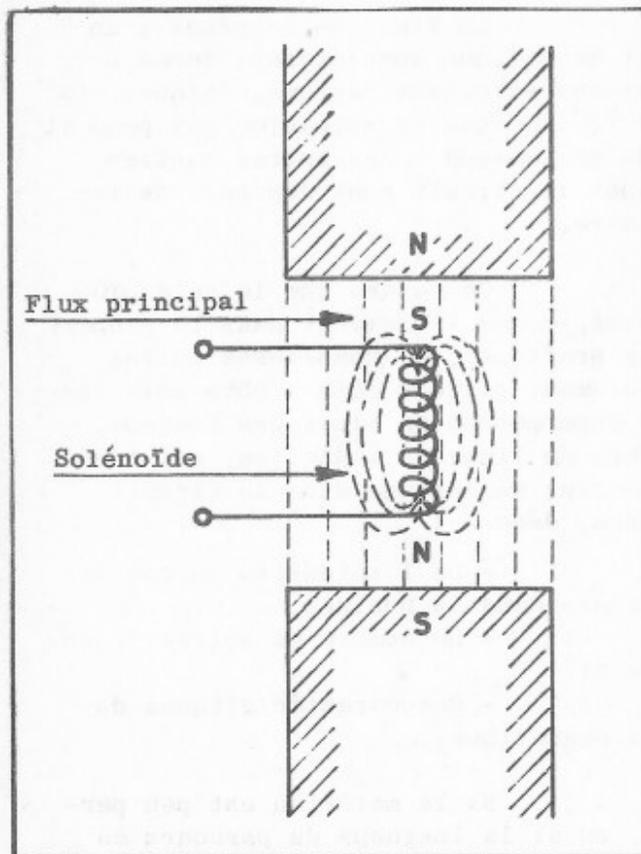
- Fig. 10 -

La Fig. 10- représente un circuit magnétique complètement fermé à travers des matériaux ferromagnétiques. La lettre "S" indique le solénoïde qui produit le flux magnétique ; les autres parties composant le circuit sont repérées de façon claire.

On notera que le solénoïde est formé, comme il advient dans la plupart des cas pratiques, de nombreuses spires non seulement placées côte à côte mais également superposées en plusieurs couches. Le nombre de lignes d'induction, qui forment le flux magnétique dans le circuit considéré, dépend :

- De l'intensité du courant qui circule dans la bobine.
- Du nombre de spires du solénoïde et,
- Des caractéristiques du circuit magnétique.

Si le matériau est peu perméable, ou si la longueur du parcours du flux est considérable, le nombre de lignes d'induction sera faible et vice versa.



- Fig. 11 -

On dira par exemple que le circuit magnétique oppose une certaine résistance au passage du flux magnétique. Cette résistance magnétique se nomme **RELUCTANCE**. La réluctance d'un circuit magnétique est très faible si les matériaux qui le composent sont ferromagnétiques ou ont une perméabilité magnétique élevée, et inversement.

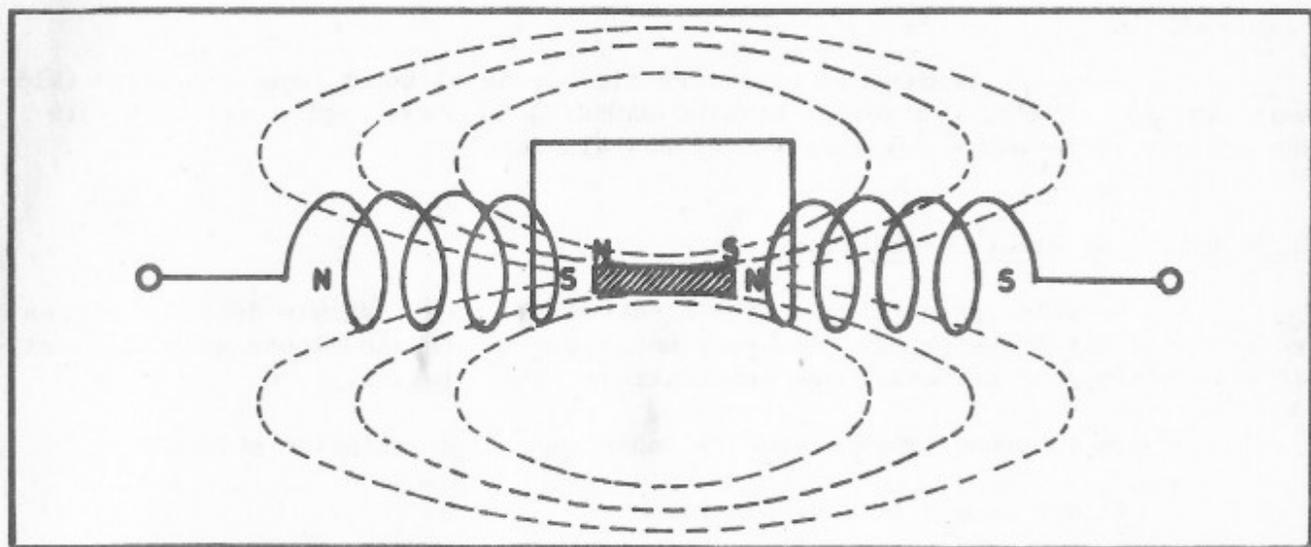
Pour obtenir des flux intenses, dans un circuit magnétique, il faut utiliser des matériaux ferromagnétiques.

#### 1.6- Actions électromagnétiques.

Nous avons vu qu'un aimant, libre de se mouvoir dans un champ magnétique, s'oriente suivant la direction du champ magnétique.

Un exemple typique est donné par l'aiguille de la boussole qui s'oriente avec le champ magnétique terrestre.

De même, un solénoïde ou encore un simple fil parcouru par un courant libre de se mouvoir dans un champ magnétique,



- Fig. 12 -

s'oriente de façon à ce que les polarités produites soient contraires à celles du champ principal dans lequel il est plongé (Fig. 11-).

La force qui détermine l'orientation du solénoïde peut être utilisée convenablement. Il y a, en effet, plusieurs applications pratiques basées sur ce principe. On peut, par exemple, obtenir le déplacement d'un élément mobile qui est un aimant permanent sous l'effet du champ magnétique créé par un solénoïde fixe (Fig. 12-).

Dans le premier cas considéré (la boussole) comme dans le second (élément mobile), il s'agit d'action ELECTRO-MAGNETIQUE, c'est-à-dire de l'ensemble des actions réciproques des courants et des aimants.

### 1.7- Induction électromagnétique.

Le principe de l'induction électromagnétique a permis de réaliser des générateurs qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique, en quantité suffisante pour permettre des applications industrielles.

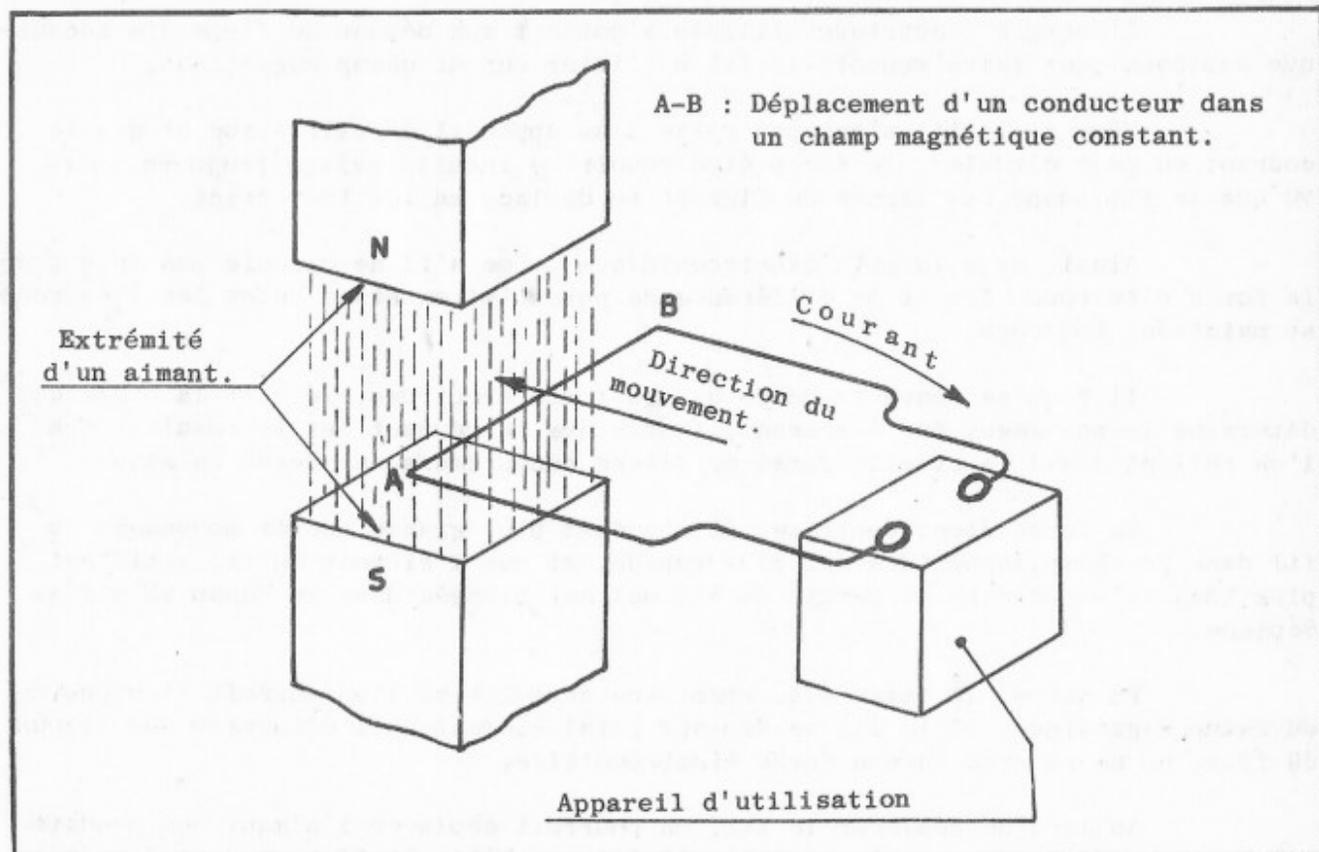
On comprend immédiatement l'importance de ce principe physique.

L'idée en est très simple :

- Si l'on plonge dans un champ magnétique constant un fil de matériau conducteur, et qu'on le déplace de façon à ce qu'il coupe, c'est-à-dire traverse les lignes de flux, il se crée dans le fil une force électromotrice (Fig. 13-).

Si les deux extrémités du fil sont reliées entre elles ou connectées à un appareil d'utilisation, la force électromotrice détermine un mouvement d'électrons et on aura un courant électrique.

Cette force électromotrice est analogue à celle qui se manifeste dans la pile, et se mesure de la même façon.



- Fig. 13 -

L'énergie électrique utilisée s'obtient aux dépens de l'énergie mécanique employée pour faire mouvoir le fil à l'intérieur du champ magnétique.

Même si le fil n'est pas relié à un appareil d'utilisation et que le courant ne peut circuler, la force électromotrice induite existe toujours pourvu que le fil coupe les lignes du flux et se déplace en les traversant.

Ainsi, dans la pile électrochimique, même s'il ne circule pas de courant la force électromotrice et la différence de potentiel existant entre les électrodes se maintient toujours.

Il faut se souvenir de ce que la force électromotrice est la cause qui détermine le mouvement des électrons, tandis que le courant est le résultat que l'on obtient quand le circuit formé de divers conducteurs est fermé en anneau.

La force électromotrice est d'autant plus grande que le mouvement du fil dans le champ magnétique est plus rapide, et que l'élément de fil actif est plus long, c'est-à-dire la partie du fil qui est plongée dans le champ et qui se déplace.

En outre, la force électromotrice augmente si l'on accroît l'intensité du champ magnétique. Si le fil se déplace parallèlement à la direction des lignes du flux, il ne se crée aucune force électromotrice.

Au lieu de déplacer le fil, on pourrait déplacer l'aimant qui produit le champ magnétique constant, et tenir le fil immobile. L'effet produit serait

parfaitement identique. L'important est qu'il y ait un mouvement relatif entre le fil et le champ magnétique ; mais même dans ce cas, il faut que les lignes du flux coupent le fil.

Naturellement, pour obtenir une force électromotrice plus élevée, on peut mettre plusieurs fils ensemble, reliés de façon convenable, ou, mieux encore, un solénoïde, ou bobine, formée de plusieurs spires de fil et pouvant se déplacer de façon adéquate.

#### 1.8- Générateurs électromagnétiques.

En exploitant le principe de l'induction électromagnétique, on peut construire des générateurs d'énergie électrique de grande utilité pratique. Le type le plus simple de générateur électromagnétique est celui schématisé Fig. 14-.

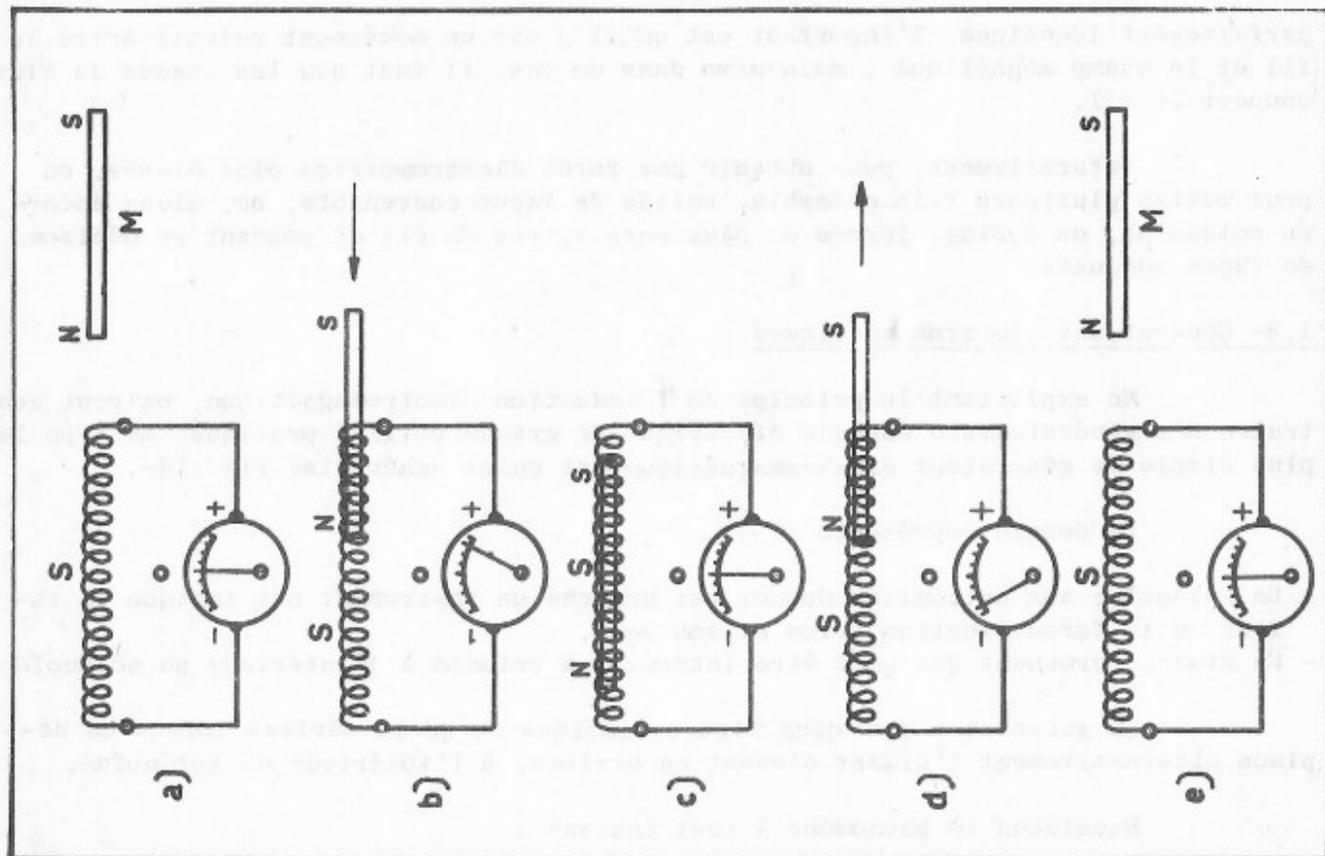
Le dessin représente :

- Un solénoïde aux extrémités duquel est branché un instrument qui indique la valeur de la force électromotrice et son sens.
- Un aimant permanent qui peut être introduit à volonté à l'intérieur du solénoïde

La succession des cinq figures indique ce qu'il advient lorsqu'on déplace alternativement l'aimant d'avant en arrière, à l'intérieur du solénoïde.

Examinons le phénomène à tout instant :

a) Le solénoïde "S" et l'aimant "M" sont voisins, mais il n'existe aucun



- Fig. 14 -

mouvement relatif entre eux. Aux bornes du solénoïde, il ne se manifeste aucune force électromotrice.

b) L'aimant se déplace en entrant dans le solénoïde : à ce moment, les lignes de flux créées par l'aimant coupent les spires du solénoïde et, ainsi, par l'effet de l'induction électromagnétique, se crée une force électromotrice. L'instrument indique le sens et la valeur de la force électromotrice, et nous pouvons noter qu'elle augmente jusqu'à rejoindre un maximum, puis diminue pour retourner à la valeur nulle.

c) Maintenant, la valeur de la force électromotrice reste toujours nulle parce que l'aimant, bien qu'étant placé à l'intérieur du solénoïde, est immobile, et l'on n'obtient pas de variation du flux à travers les spires de la bobine.

d) En commençant le mouvement de sortie de l'aimant, on crée à nouveau une force électromotrice avec la même intensité que celle obtenue à l'aller, mais dans le sens opposé au précédent.

Ceci est clairement indiqué par l'instrument dont l'aiguille se déplace dans le sens contraire.

Dans ce déplacement de retour de l'aimant vers la position primitive, on obtient également une force électromotrice qui croît jusqu'à une valeur maximum et ensuite diminue jusqu'à zéro quand l'aimant est complètement en dehors de la bobine et à nouveau arrêté.

e) Dans cette position, l'aimant est arrêté et la force électromotrice est nulle. A partir de ce moment, on peut répéter tout ce qui a été fait précédemment, obtenant les mêmes effets parce que le CYCLE complet a été accompli.

Ce cycle peut se répéter plusieurs fois, et les variations de la force électromotrice se répéteront elles aussi toujours égales. La répétition du mouvement peut exister plusieurs fois par seconde.

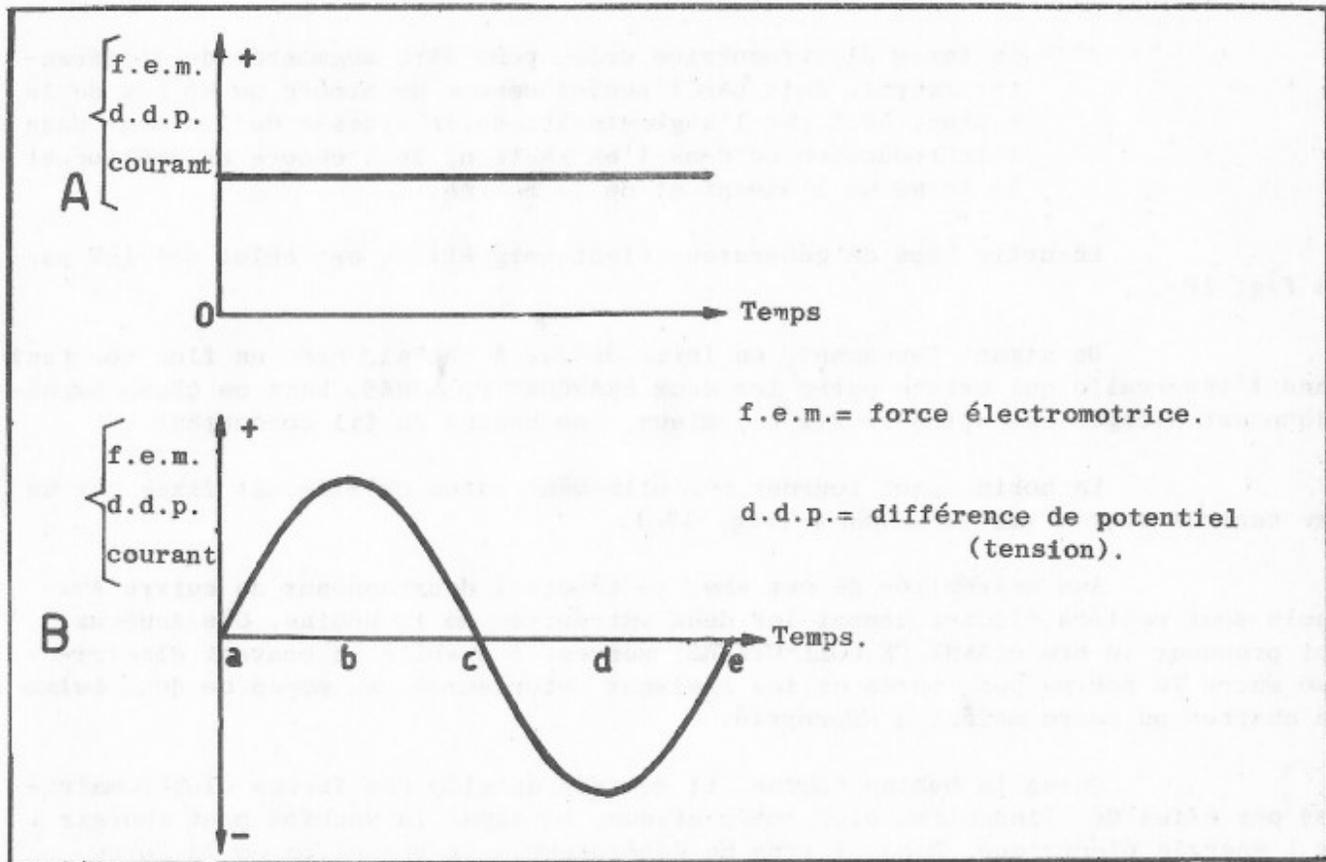
De l'examen de tels générateurs d'énergie électrique, on peut tirer les conclusions suivantes :

- 1°)- Ce générateur fournit une force électromotrice variable dans le temps.

Cette caractéristique le différencie de la pile qui, au contraire, fournit une force électromotrice constante dans le temps.

Si nous voulons représenter la marche des deux forces électromotrices au moyen d'un graphique, nous obtenons les représentations de la Fig. 15-. La ligne horizontale de la Fig. 15A- représente la force électromotrice constante (ou encore le courant déterminé par cette force électromotrice) tandis que la courbe de la Fig. 15B- représente la force électromotrice variable, créée par le dispositif décrit ci-dessus.

Ordinairement, cette courbe a une forme caractéristique bien déterminée qui est nommée SINUSOÏDE et le tracé de la courbe est SINUSOÏDAL. La forme de cette courbe est liée au mouvement de l'aimant.



- Fig. 15 -

2°)- La force électromotrice créée peut être augmentée de différentes façons, soit par l'accroissement du nombre de spires de la bobine, soit par l'augmentation de la vitesse de l'aimant dans l'introduction ou dans l'extraction, soit encore en améliorant la forme de l'aimant et de la bobine.

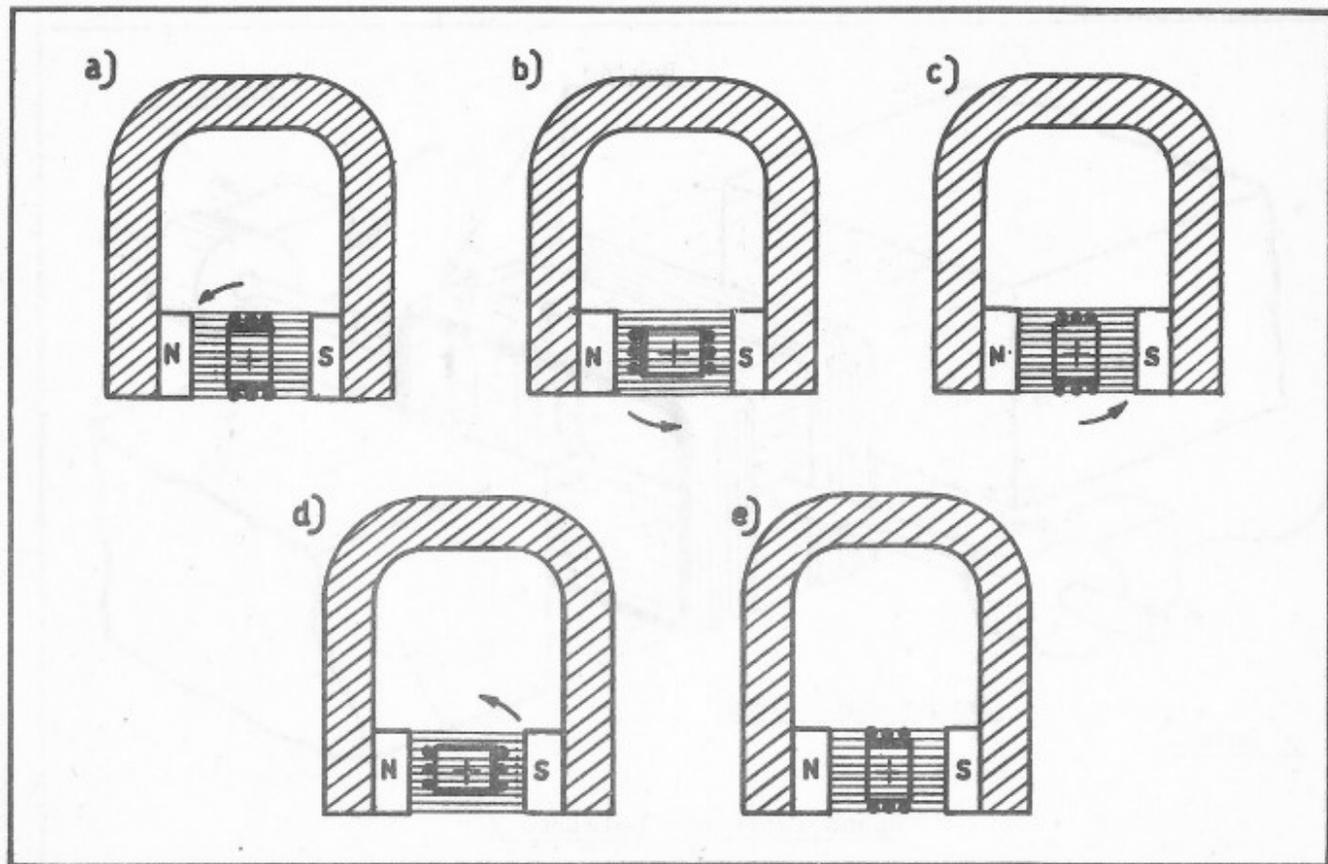
Un autre type de générateur électromagnétique est celui désigné par la Fig. 16-.

Un aimant permanent, en forme de fer à cheval, crée un flux constant dans l'intervalle qui existe entre les deux BRANCHES POLAIRES. Dans ce champ magnétique est plongée une spire de fil ou, mieux, une bobine de fil conducteur.

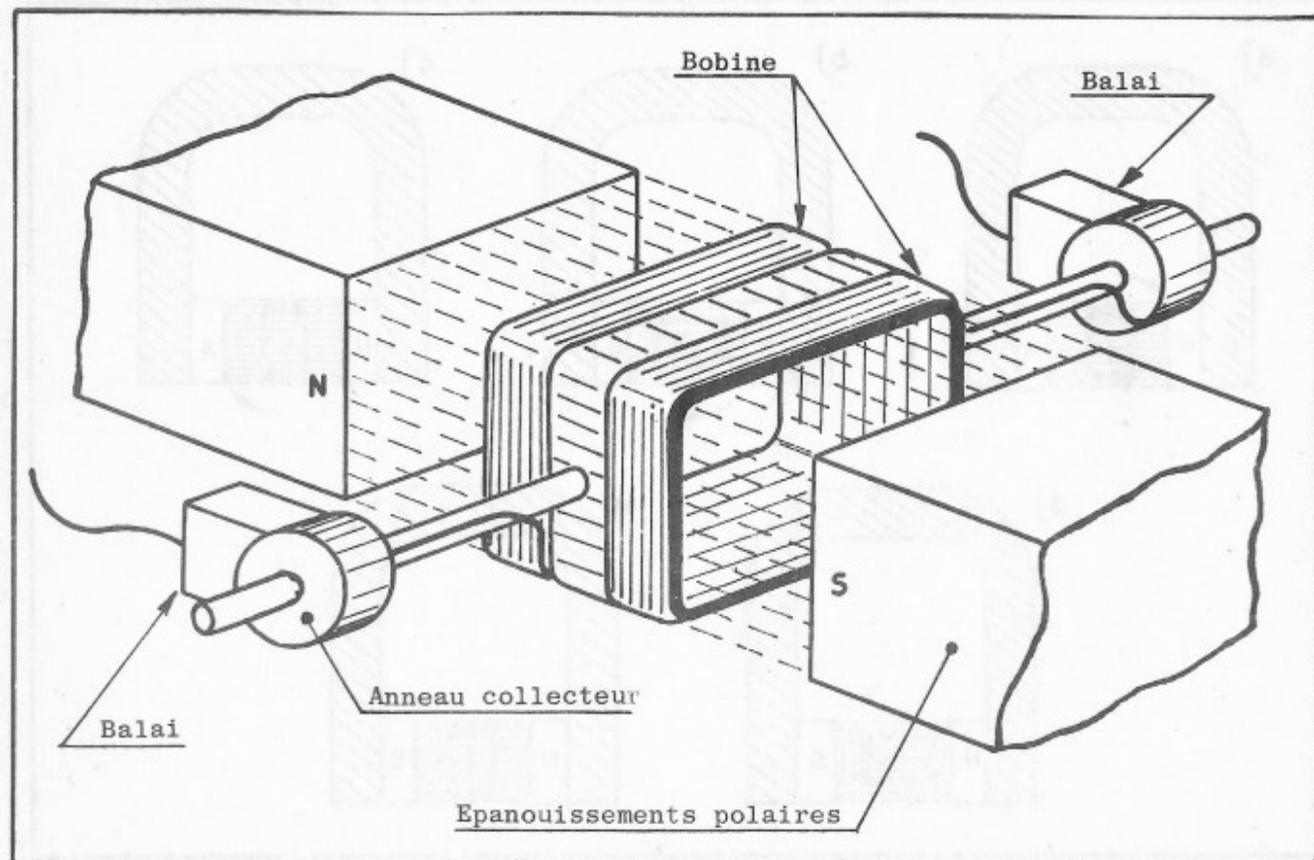
La bobine peut tourner sur elle-même parce qu'elle est fixée sur un axe central repéré par le signe + (Fig. 17-).

Aux extrémités de cet axe, se trouvent deux anneaux de cuivre auxquels sont reliées électriquement les deux extrémités de la bobine. Ces anneaux, qui prennent le nom d'ANNEAUX COLLECTEURS, servent à établir un contact électrique entre la bobine qui tourne et les liaisons extérieures, au moyen de deux balais en charbon ou autre matériau approprié.

Quand la bobine tourne, il se crée en elle des forces électromotrices par effet de l'induction électromagnétique, et ainsi la machine peut fournir de l'énergie électrique. Dans ce type de générateurs, la variation de la force électromotrice n'est pas constante dans le temps parce que, dans les positions "a",



- Fig. 16 -



- Fig. 17 -

"c", "e", de la Fig. 16-, les spires de la bobine se déplacent parallèlement aux lignes du flux (force électromotrice zéro) tandis que les positions "b" et "d" courent le maximum des lignes du flux et on obtient ainsi une force électromotrice induite.

Dans ce cas aussi, le graphique de la Fig. 15B- peut représenter la variation de la force électromotrice.

#### 1.9- Courant continu et courant alternatif.

Parlant des générateurs d'énergie électrique, nous avons vu qu'il existe plusieurs dispositifs pour créer l'énergie, et qu'elle peut être fournie par eux d'une façon constante et uniforme dans le temps (comme pour la pile et le couple thermoélectrique), ou encore de façon variable tant en amplitude qu'en sens (comme pour les générateurs électromagnétiques décrits ci-dessus).

Nous aurons ainsi des :

- 1)- Générateurs de force électromotrice continue, c'est-à-dire constante dans le temps (tant en amplitude qu'en sens).
- 2)- Générateurs de force électromotrice alternative, c'est-à-dire variable dans le temps (tant en amplitude qu'en sens). On dit justement ALTERNATIVE parce qu'à chaque demi-cycle de fonctionnement du générateur, le sens de la force électromotrice change (voir le dessin de la Fig. 15B-).

Les différences de potentiel utilisables aux bornes des générateurs sont, elles aussi, continues ou alternatives, parce qu'elles ne diffèrent des forces électromotrices que par les pertes propres aux générateurs.

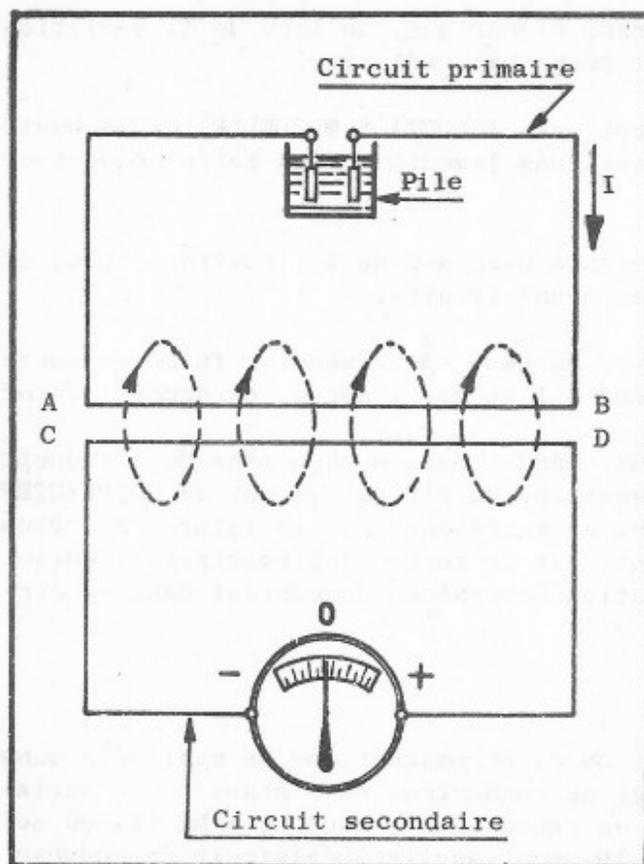
En conséquence, les courants qui circuleront dans les appareils d'utilisation seront continus ou alternatifs, ces courants étant déterminés par les différences de potentiel.

Il s'ensuit que toute l'étude de l'électricité peut être subdivisée en deux parties :

- Etude de l'énergie électrique distribuée et utilisée sous la FORME CONTINUE.
- Etude de l'énergie électrique distribuée et utilisée sous la FORME ALTERNATIVE.

Il n'existe pas, cependant, de séparation absolue entre les deux formes d'énergie électrique. Avec une certaine facilité, on peut convertir une forme dans l'autre et, en outre, pour certains emplois, une forme peut être utile plus que l'autre.

Même du point de vue physique, il n'existe pas de différences essentielles. Il est toujours question de mouvement d'électrons. Dans le cas du courant continu, ce sont les électrons qui se déplacent uniformément dans un sens déterminé. Dans le cas du courant alternatif, il est question d'électrons changeant périodiquement le sens de leur mouvement.



- Fig. 18 -

### 1.10- Induction Mutuelle.

Observons la Fig. 18-. Au moyen d'une pile, on fait circuler un courant dans le fil repéré "A-B". Un autre fil repéré "C-D" est placé tout près du premier fil et est relié à un instrument capable d'indiquer une force électromotrice.

Le champ électromagnétique créé par le courant qui circule dans le premier fil entoure aussi le second fil. Tant que le courant est constant, il n'arrive rien de particulier. Dès que le courant est interrompu sur le fil "A-B" (par exemple si on le débranche de la pile) on voit l'aiguille de l'instrument bouger rapidement et revenir à zéro.

Cela veut dire qu'à l'instant où apparaît une variation de courant le champ magnétique varie et, comme les lignes de flux coupent le second fil, on obtient une force électromotrice induite.

Dans le cas présent, l'induction est obtenue au moyen de la variation

d'un champ magnétique produit par le courant électrique, au lieu de la variation d'un champ magnétique généré par l'aimant permanent ordinaire.

Ce phénomène particulier est dit "INDUCTION MUTUELLE" et se manifeste dans tous les conducteurs placés aux environs immédiats d'un autre conducteur où se produisent des variations de flux.

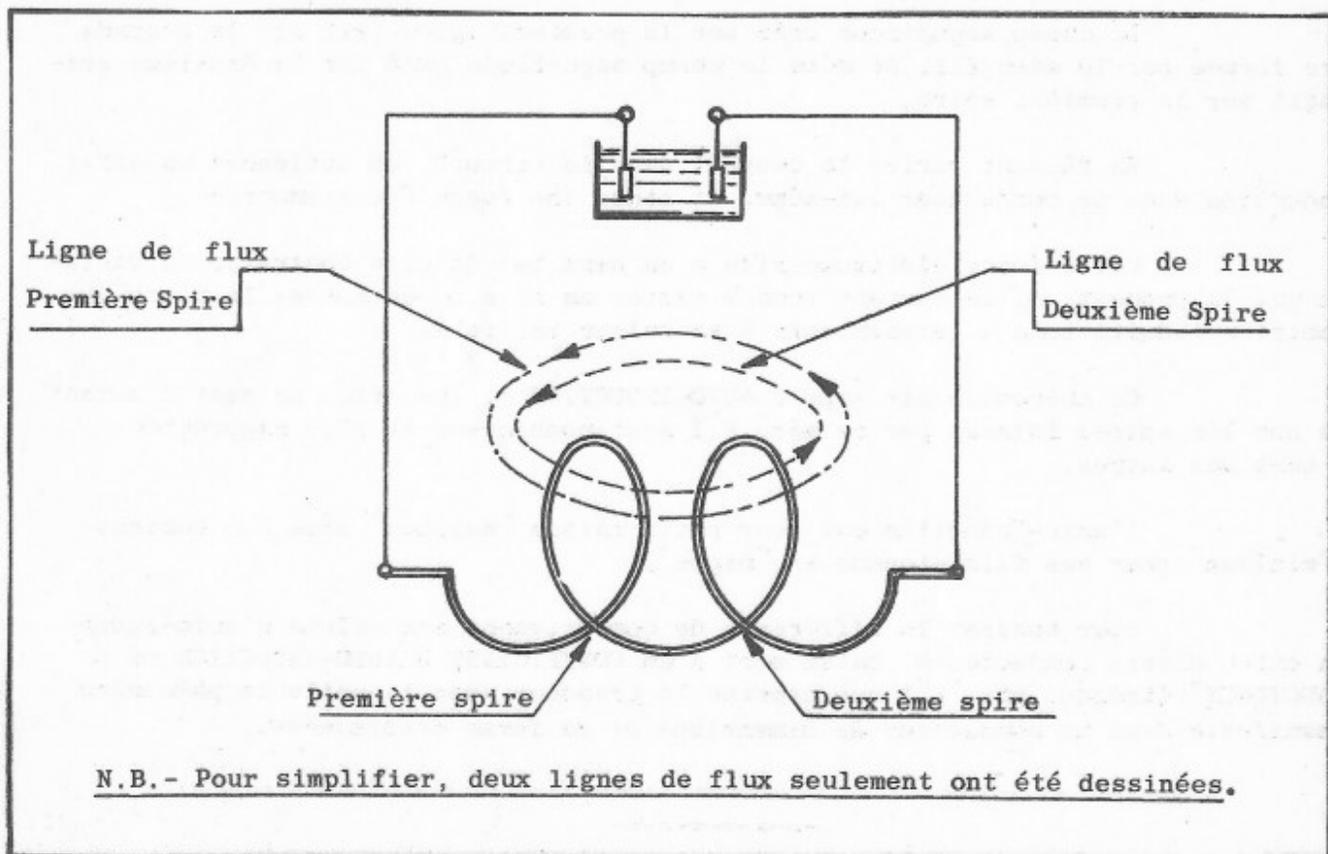
Plus longs sont les conducteurs placés dans les environs, plus grand est l'effet d'induction mutuelle entre les deux circuits.

Pour obtenir un effet élevé, on peut, par exemple, faire en sorte que les deux fils soient étroitement enroulés l'un sur l'autre, ou encore bobinés.

Pour indiquer qu'entre deux conducteurs le phénomène de l'induction mutuelle se manifeste d'une façon très sensible, on dit qu'ils ont un COEFFICIENT D'INDUCTION MUTUELLE ELEVE. Ce coefficient se représente par la lettre "M". Plus ce coefficient est élevé et plus importante est la force électromotrice induite dans le circuit SECONDAIRE pour une variation déterminée du courant dans le circuit PRIMAIRE.

#### 1.11- Auto-Induction.

Nous avons vu que l'induction électromagnétique se manifeste dans chaque fil qui se trouve dans le voisinage du conducteur où s'établit une variation de courant. Elle se manifeste aussi en conséquence, dans ce même fil où se produit la variation de courant. La Fig. 19- peut servir à éclaircir ce nouveau phénomène.



- Fig. 19 -

Le champ magnétique créé par la première spire agit sur la seconde spire formée par le même fil. De même le champ magnétique créé par la deuxième spire agit sur la première spire.

En faisant varier le courant dans le circuit, on obtiendra un effet d'induction dans le conducteur lui-même, et ainsi une force électromotrice.

Cette force électromotrice a un sens tel qu'elle contrarie la variation qui la produit. Si le courant tend à varier en plus ou en moins, la force électromotrice induite tend à le maintenir à sa valeur initiale.

Ce phénomène est appelé AUTO-INDUCTION et son effet se sent d'autant plus que les spires formées par le même fil sont nombreuses et plus rapprochées les unes des autres.

L'auto-induction est pour cette raison "maximum" dans les bobines et "minimum" pour des fils étendus en "nappe".

Pour mesurer la différence de comportement aux effets d'auto-induction entre divers conducteurs, on se sert d'un COEFFICIENT D'AUTO-INDUCTION ou "INDUCTANCE" (indiqué par "L") qui exprime la grandeur avec laquelle le phénomène se manifeste dans un conducteur de dimensions et de forme déterminées.

-----