



# THEORIE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

## 1 - MAGNETISME

A la fin de la leçon précédente, nous vous avons annoncé que dans cette leçon, nous examinerions le troisième et dernier type de composants fondamentaux des circuits radioélectriques, c'est-à-dire les *BOBINAGES* ; comme cet élément met en jeu non seulement des phénomènes électriques, mais aussi des phénomènes magnétiques, il est nécessaire de donner en préliminaire quelques notions sur le magnétisme, qui décrit ces phénomènes.

Nous verrons comment les phénomènes magnétiques sont étroitement liés aux phénomènes électriques et nous en viendrons ainsi à examiner un aspect tout à fait nouveau et très important de l'électricité.

Le terme "magnétisme" vient du nom d'un minéral, la magnétite, qui a la propriété d'attirer des morceaux de fer ; la connaissance de cette propriété de la magnétite remonte au philosophe grec *Thalès*, qui, comme nous l'avons déjà vu, a découvert l'électrisation de l'ambre.

Avant tout on doit noter que seuls quelques métaux, en plus du fer, sont attirés par la magnétite, tandis que tous les autres ne réagissent pas.

On a donc fait une distinction des substances du point de vue magnétique, en appelant *FERROMAGNETIQUES* les matières qui, comme le fer et l'acier sont attirées par la magnétite, et *PARAMAGNETIQUES* ou *DIA-MAGNETIQUES* les autres matières, comme par exemple, le cuivre, l'aluminium, le laiton.

Les matières ferromagnétiques, quand elles sont en contact avec la magnétite, ont elles aussi la propriété d'attirer à leur tour d'autres corps ferromagnétiques ; on dit qu'elles s'aimantent.

Alors que le fer doux perd cette propriété quand il est éloigné de la magnétite, l'acier conserve l'aimantation même quand il n'est plus en contact avec ce minéral.

A cause de cette particularité, l'acier est utilisé pour la construction des *AIMANTS PERMANENTS*, qui sont aussi couramment appelés *AIMANTS* ; dans la pratique, pourtant, l'acier utilisé pour la construction des aimants est aimanté non pas par contact avec la magnétite, mais d'une façon

différente, que je vous expliquerai plus tard.

Les aimants permettent de faire facilement des expériences pour étudier les phénomènes magnétiques, qui sous de multiples aspects sont semblables aux phénomènes électriques, comme nous allons le voir.

L'anglais *Gilbert* s'intéressa à ces études ; nous avons déjà parlé de lui à propos de l'électrostatique ; *Gilbert* introduisit entre autres, le terme de *POLE MAGNETIQUE* ; puisqu'un aimant attire des morceaux de fer surtout à ses deux extrémités, *Gilbert* appela pôles magnétiques ces extrémités où se manifeste le magnétisme.

On peut constater que les deux pôles d'un aimant sont différents car, en suspendant une fine aiguille aimantée à un fil, comme sur la *figure 1 - a*, un des pôles se tourne toujours vers le pôle nord de la Terre et l'autre toujours vers le pôle sud.

On a distingué les deux pôles différents en appelant *POLE NORD* de l'aimant l'extrémité de l'aiguille qui se dirige vers le nord et *POLE SUD* de l'aimant l'extrémité opposée.

Une fois qu'on a distingué les deux pôles d'un aimant, on peut constater que les pôles de deux aimants différents s'attirent ou se repoussent selon une loi analogue à celle qu'on a déjà vue pour les charges électriques positives et négatives.

En effet, *deux pôles de même nom* (c'est-à-dire deux pôles nord ou deux pôles sud) *se repoussent*, tandis que *deux pôles de noms différents* (c'est-à-dire un pôle nord et un pôle sud) *s'attirent*.

On peut vérifier ceci expérimentalement en approchant les extrémités des deux petits barreaux aimantés, comme sur la *figure 1 - b*, sur lesquelles les pôles nord sont repérés par la lettre N, et les pôles sud par la lettre S.

Une autre analogie avec l'électrostatique est donnée par la possibilité d'aimanter un corps par induction, c'est-à-dire simplement en l'approchant d'un aimant, sans le mettre en contact avec lui ; dans ce cas aussi sur l'extrémité du corps la plus proche de l'aimant, apparaît un pôle de nom différent de celui du pôle magnétique le plus proche, tandis qu'à l'autre extrémité on a un pôle du même nom, comme on le voit sur la *figure 2*.

Ceci explique pourquoi un aimant attire les corps ferromagnétiques : les pôles les plus proches de l'aimant et du corps aimanté par induction ont toujours un nom différent et par conséquent s'attirent, en accord avec la

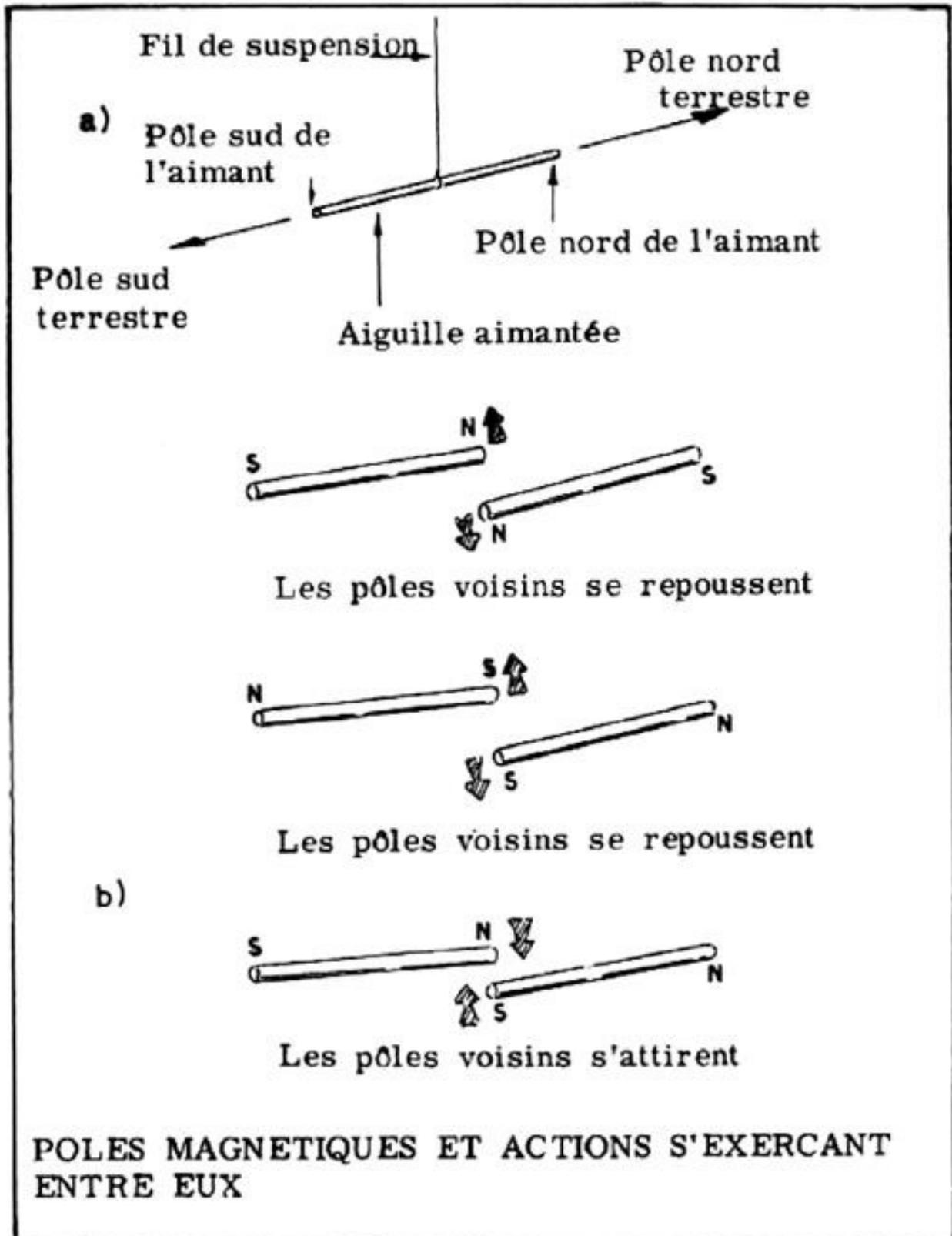


Figure 1

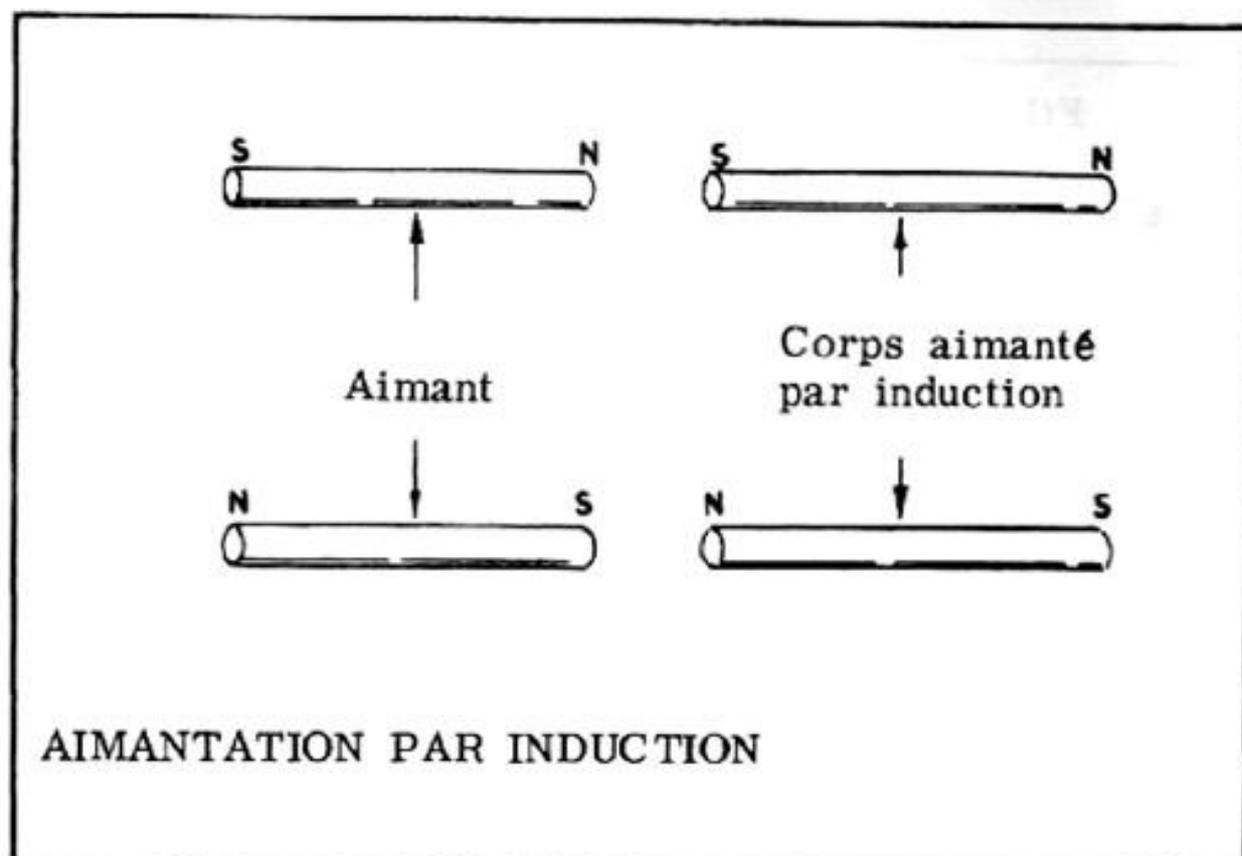


Figure 2

loi vue précédemment.

Puisqu'un aimant est en mesure d'exercer une force sur des corps ferromagnétiques placés à une certaine distance, il est intéressant de déterminer la zone de l'espace où cette force agit.

Dans ce but on peut utiliser une aiguille aimantée comme celle de la *figure 1 - a*, mais très petite, de façon à pouvoir la placer facilement en différents points de l'espace autour de l'aimant.

En tous les points où l'aimant fait sentir sa force d'attraction, ses pôles attirent les pôles de nom différent de l'aiguille, qui se dispose donc de façon à ce que chacun de ses pôles se trouve le plus près possible du pôle de l'aimant qui l'attire.

Sur la *figure 3 - a* on peut voir les positions prises par l'aiguille aimantée selon le point où elle est placée et on peut constater que ces positions sont alignées selon une direction déterminée, le long de laquelle on peut tracer une ligne continue : sur la *figure 3 - b* on voit justement quelques unes de

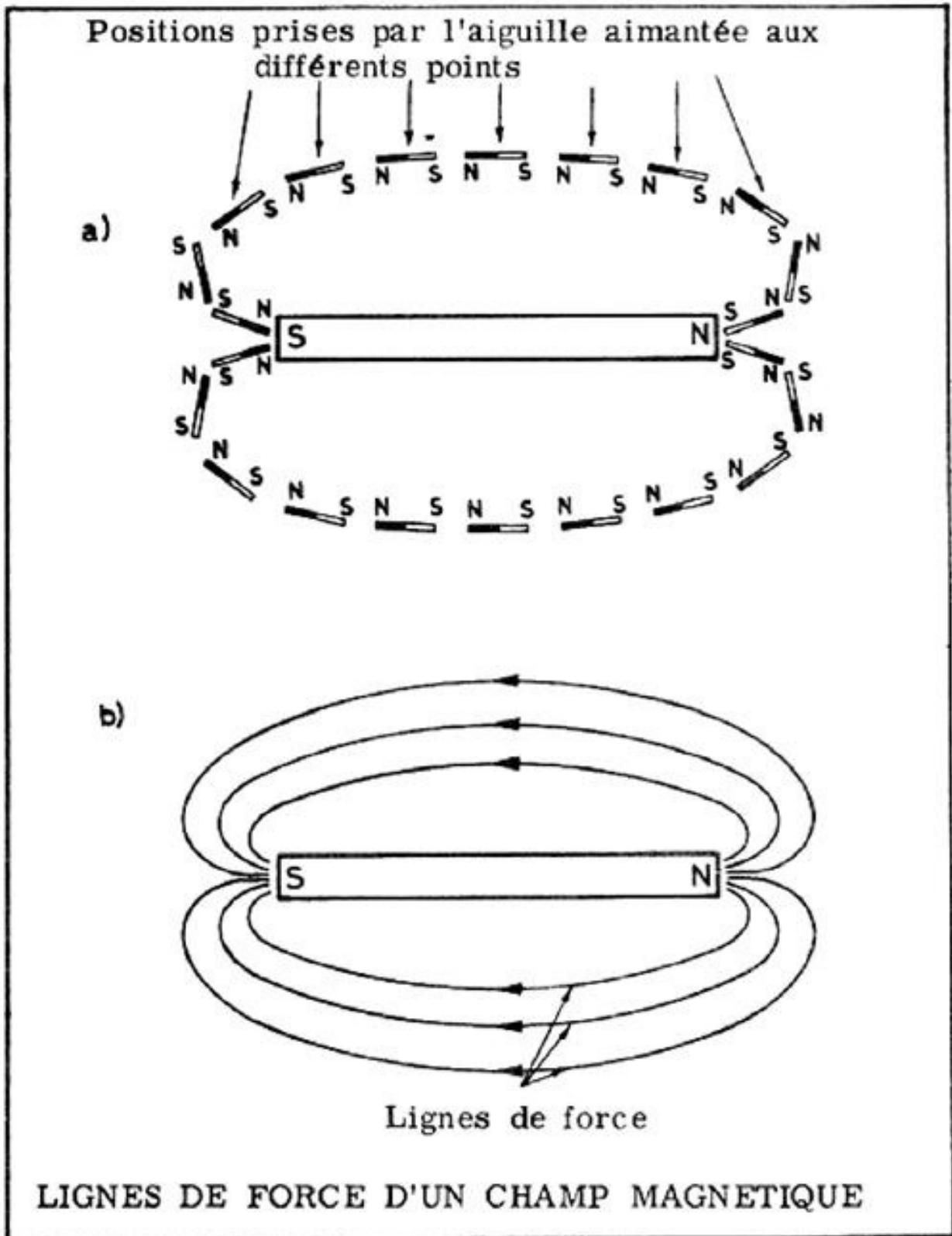


Figure 3

ces lignes tracées d'après les positions prises par l'aiguille aux différents points de l'espace autour de l'aimant.

Ces lignes sont appelées des *LIGNES DE FORCE* car elles indiquent comment est dirigée la force de l'aimant qui agit sur les pôles de l'aiguille.

Pour des motifs que nous verrons plus tard, il faut donner une orientation déterminée aux lignes de force, c'est-à-dire qu'il faut les considérer comme se dirigeant d'un pôle vers l'autre ; on a décidé d'abord d'adopter le sens du pôle nord vers le pôle sud, que l'on indique sur chaque ligne comme on l'a fait sur la figure 3 - b ; nous pouvons donc dire que les lignes de force d'un aimant partent de son pôle nord et aboutissent sur son pôle sud.

Comme dans le cas du champ électrique, l'ensemble des lignes de force forme la zone de l'espace où la force d'attraction de l'aimant agit, et où on dit qu'il y a un *CHAMP DE FORCE MAGNETIQUE* ou plus brièvement un *CHAMP MAGNETIQUE*.

L'allure des lignes de force du champ magnétique est différente de celle qu'on a vue pour les lignes de force du champ électrique, mais ceci est

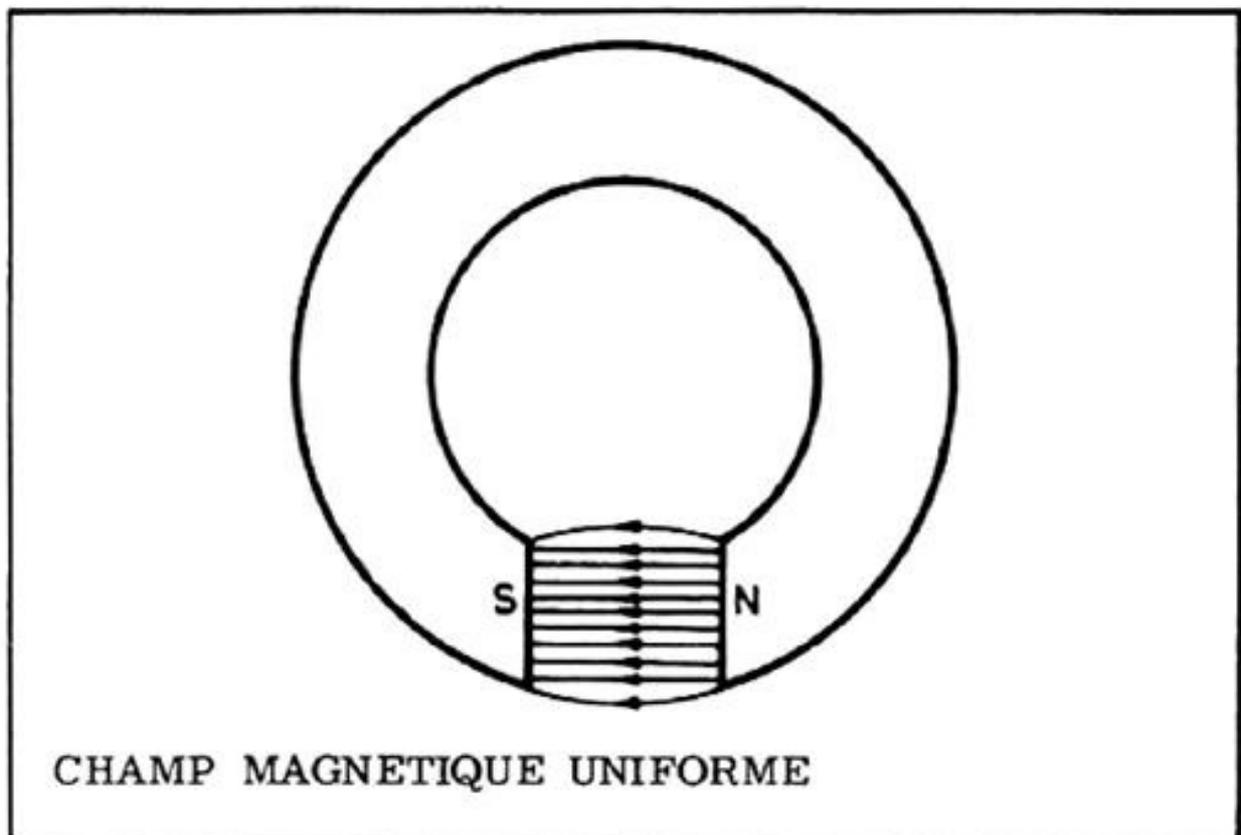


Figure 4

dû au fait que les pôles de l'aimant ne sont pas disposés l'un en face de l'autre comme les armatures du condensateur ; si on pliait l'aimant de façon à mettre ses pôles l'un en face de l'autre, comme sur la *figure 4*, les lignes de force auraient une allure semblable à celle que nous avons vue pour le champ électrique.

Le champ magnétique représenté sur la *figure 4* est dit *UNIFORME*, car toutes ses lignes de force sont parallèles entre elles, au moins dans une certaine partie de l'espace.

Il faut faire une remarque très importante ; malgré les analogies que nous avons vues, le magnétisme diffère de l'électricité par un point fondamental : tandis que nous pouvons avoir un corps chargé d'électricité entièrement positive ou entièrement négative, *il est impossible d'obtenir un aimant qui ne présente qu'un pôle nord ou qu'un pôle sud (figure 5 - a)*. On pourrait penser qu'en coupant au milieu un aimant, on peut séparer ses pôles ; mais on obtient deux autres pôles aux nouvelles extrémités ainsi créés (*figure 5-b*) et ainsi de suite si on continue à diviser ultérieurement les nouveaux aimants ; on obtient toujours d'autres aimants qui possèdent deux pôles (*figure 5 - c*), un Nord et un Sud.

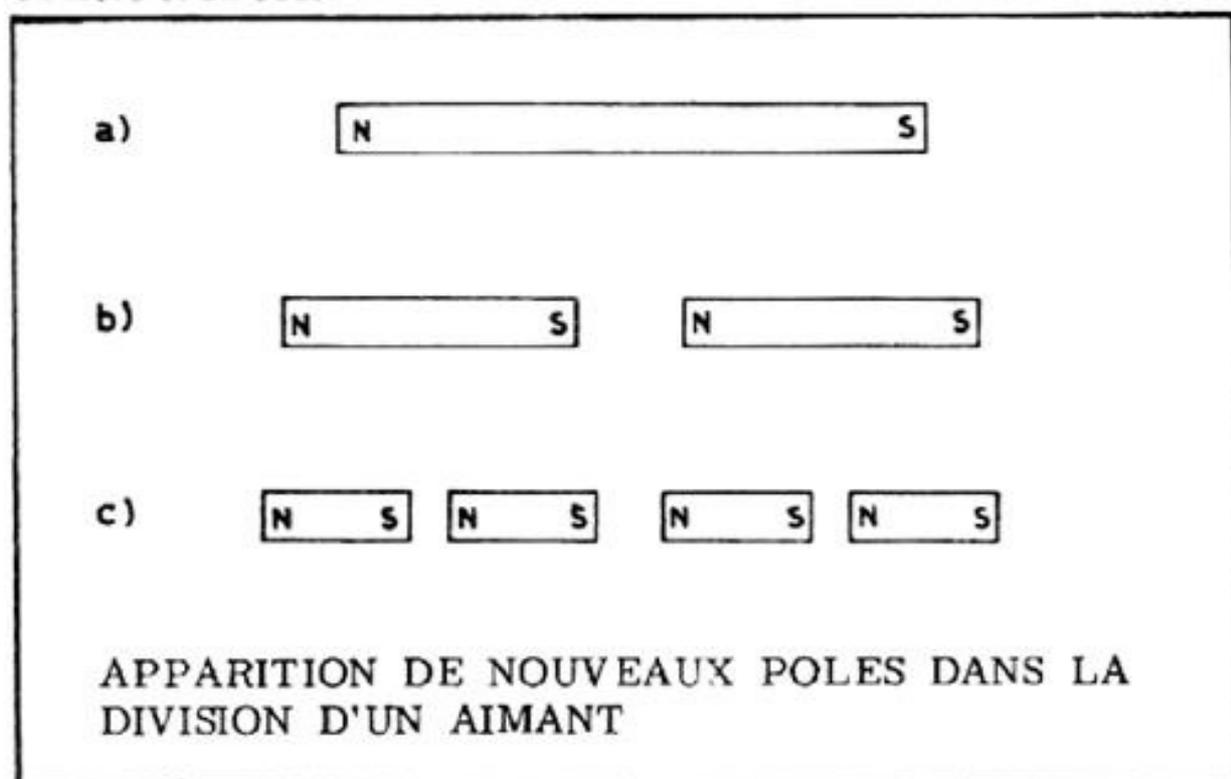


Figure 5

On peut donc penser que, s'il était possible de diviser un aimant en parties très petites, chacune de celles-ci constituerait encore un minuscule aimant.

L'allemand *Guillaume Wilhem Weber* (1804 - 1891) fit donc l'hypothèse que l'aimant pouvait être considéré comme un ensemble de très nombreux aimants très petits appelés *AIMANTS ELEMENTAIRES*, et il expliqua les différents phénomènes magnétiques en admettant que chacun de ces petits aimants peut tourner autour de son propre centre comme l'aiguille de la *figure 1 - a*.

On peut se demander comment ces petits aimants peuvent tourner, car, à la différence de l'aiguille, ils ne sont pas libres dans l'air mais qu'ils se trouvent dans un corps solide ; nous trouverons la réponse à cette question à la fin de la leçon, quand nous verrons la véritable nature de ces petits aimants.

Dans un morceau de matière ferromagnétique qui n'est pas aimantée, c'est-à-dire qui est *DESAIMANTEE*, on doit imaginer que les petits aimants élémentaires sont orientés au hasard dans toutes les directions, comme sur la *figure 6 - a*, où sont dessinés quelques uns de ces petits aimants dont le pôle nord est dessiné en noir.

A cause des directions différentes de ces petits aimants, leurs actions ne s'ajoutent pas de façon concordante, et la matière paraît désaimantée.

Si on approche du morceau de matière ferromagnétique le pôle sud d'un aimant, celui-ci attire tous les pôles nord des petits aimants élémentaires, qui s'orientent donc de manière à avoir leurs pôles nord le plus près possible de l'aimant et leurs pôles sud le plus loin possible, comme sur la *figure 6 - b*.

Le contraire se produit si on approche le pôle nord d'un aimant, car dans ce cas les petits aimants s'orientent avec leurs pôles sud le plus près possible de l'aimant qui les attire, et avec leurs pôles nord le plus loin de celui-ci (*figure 6 - c*).

Dans les deux cas, à l'une des extrémités du morceau de matière on trouve alignés tous les pôles Nord des aimants élémentaires les plus rapprochés de cette extrémité, et à l'autre extrémité tous les pôles Sud. Les aimants élémentaires peuvent alors faire sentir leur action de façon cohérente, en créant un pôle Nord à une extrémité du barreau, et un pôle Sud à l'autre.

En plus de l'aimantation par induction, cette théorie expliqua aussi

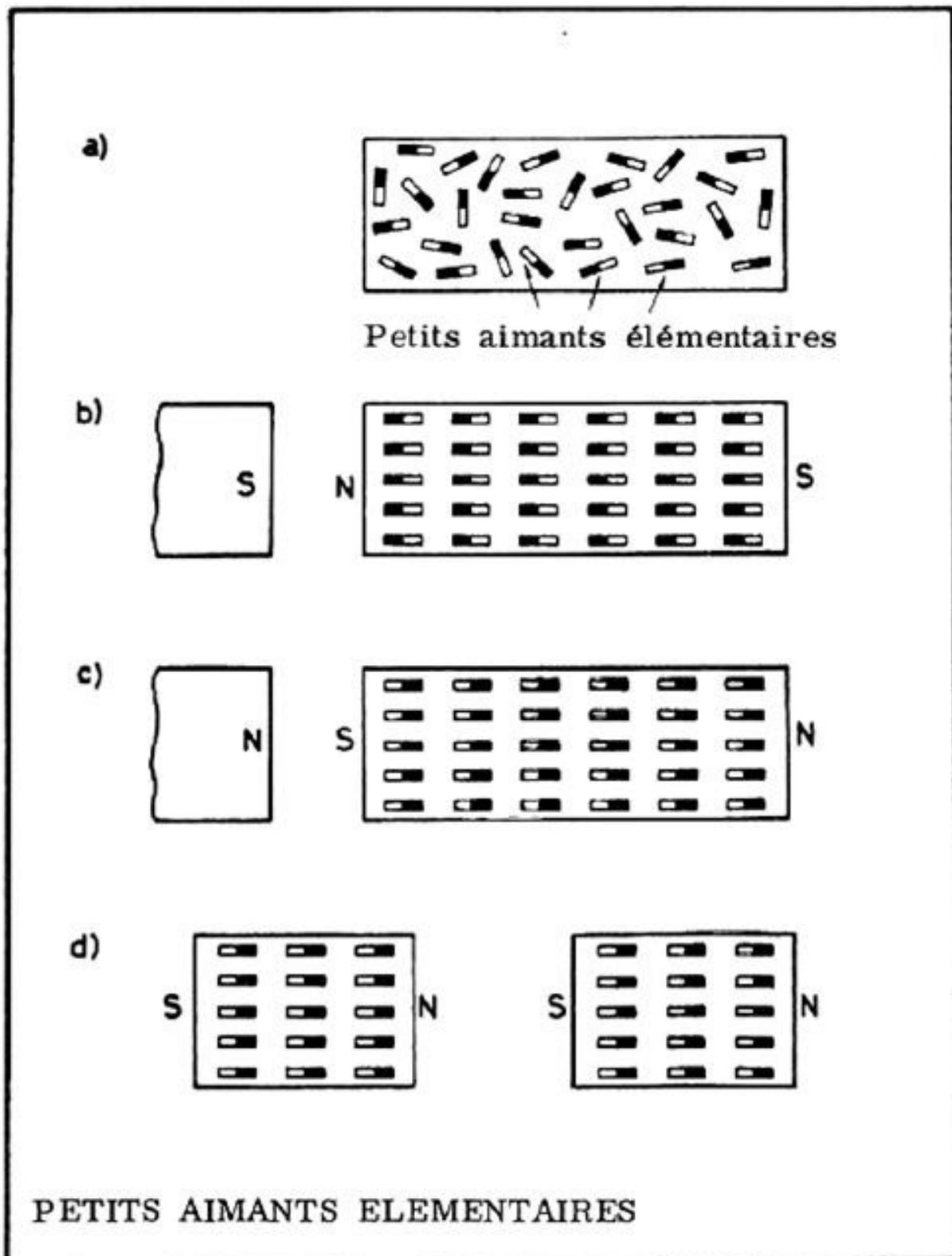


Figure 6

pourquoi le magnétisme se manifeste seulement aux extrémités d'un aimant : en effet tous les aimants élémentaires éloignés de ces extrémités ont leur pôle nord tout près du pôle sud d'un autre petit aimant, et ceci annule leurs actions respectives.

Ce n'est que quand on coupe l'aimant que les aimants élémentaires des extrémités peuvent faire sentir leur action et créer de nouveaux pôles, car dans ce cas les pôles nord de ceux qui se trouvent d'un côté du morceau coupé sont éloignés des pôles sud de ceux qui se trouvent de l'autre côté du morceau coupé, comme sur la *figure 6 - d*.

Nous avons ainsi constaté que tous les phénomènes magnétiques décrits précédemment peuvent être expliqués en imaginant que les corps ferromagnétiques sont constitués par des petits aimants élémentaires ; nous pourrions connaître la véritable nature de ces petits aimants, et donc du magnétisme, quand nous aurons vu quel lien il y a entre les phénomènes magnétiques et les phénomènes électriques.

## 2 - ELECTROMAGNETISME

L'étude des liens qui existent entre les phénomènes électriques et magnétiques est l'objet de l'électromagnétisme, dont les bases théoriques furent posées quand on découvrit que l'électricité et le magnétisme n'étaient pas indépendants.

### 2 - 1 - EFFET MAGNETIQUE DU COURANT

La découverte de l'interdépendance entre l'électricité et le magnétisme est due au professeur danois *Christian Oersted* (1777 - 1851), grâce à l'expérience de la *figure 7*.

*En suspendant une aiguille aimantée parallèlement à un conducteur électrique (figure 7 - a), on constate que, quand un courant électrique parcourt ce conducteur, l'aiguille tourne de manière à se placer perpendiculairement au conducteur (figure 7 - b).*

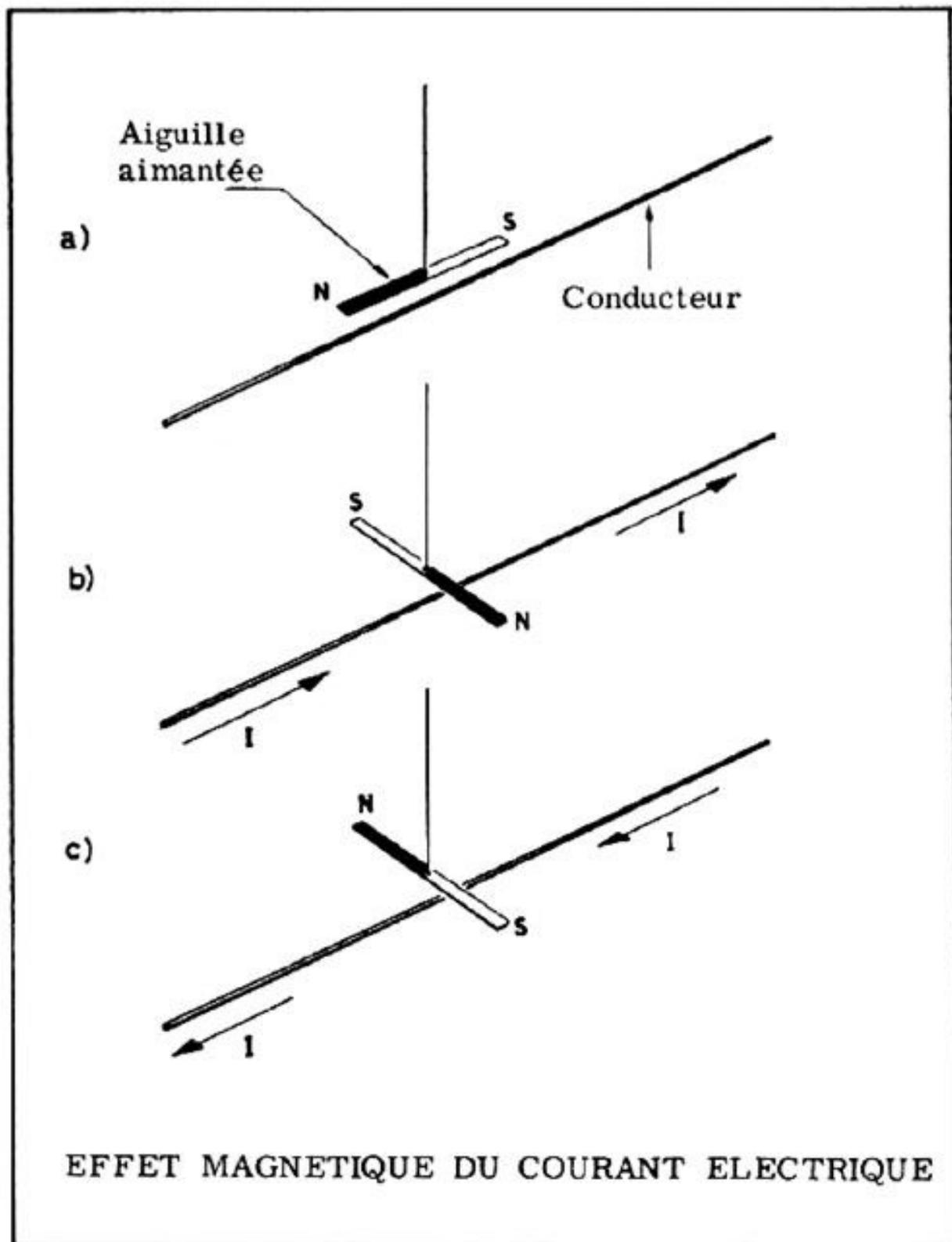


Figure 7

Le professeur français *André Marie Ampère* (1775 - 1836) découvrit que *le sens dans lequel tourne l'aiguille aimantée dépend du sens du courant qui parcourt le conducteur.*

Quand le courant traverse le conducteur de gauche à droite, comme sur la *figure 7 - b*, le pôle nord de l'aiguille tourne d'un certain côté du conducteur ; quand au contraire le courant traverse le conducteur de droite à gauche, comme sur la *figure 7 - c*, c'est-à-dire quand il circule en sens contraire, le pôle nord de l'aiguille tourne de l'autre côté du conducteur.

Ces expériences démontrent donc que le courant électrique agit d'une façon bien déterminée sur une aiguille aimantée ; nous savons d'autre part, d'après ce qui a été dit précédemment sur le magnétisme, qu'une aiguille aimantée se place toujours selon les lignes de force d'un champ magnétique, comme on l'a vu par exemple sur la *figure 3 - a*.

Donc, si l'aiguille tourne sous l'effet du courant électrique, nous devons penser qu'elle suit, dans ce cas encore, les lignes de force d'un champ magnétique, qui doit nécessairement être créé par le courant qui parcourt le conducteur.

*Nous pouvons donc attribuer au courant électrique un EFFET MAGNETIQUE qui consiste dans la production d'un champ magnétique autour des conducteurs qu'il traverse.*

Pour déterminer l'allure des lignes de force dans ce champ, on peut placer une petite aiguille aimantée en divers points autour du conducteur (il est commode que le conducteur soit vertical, puisque l'aiguille lui est perpendiculaire).

On constate ainsi que les positions prises par l'aiguille en différents points placés à égale distance du conducteur décrivent approximativement un cercle qui a pour centre le conducteur lui-même, comme on le voit sur la *figure 8 - a* ; on s'aperçoit donc que les lignes de force sont circulaires et qu'on peut les dessiner comme sur la *figure 8 - b*.

On peut noter qu'en chaque point de l'espace, autour du conducteur, il passe une ligne de force ; cependant, pour ne pas compliquer le dessin, on ne trace qu'un nombre de lignes suffisant pour donner une idée assez précise du champ magnétique.

Remarquez sur la *figure 8 - a* que les pôles de l'aiguille peuvent se trouver dans deux positions opposées, selon le sens dans lequel le courant

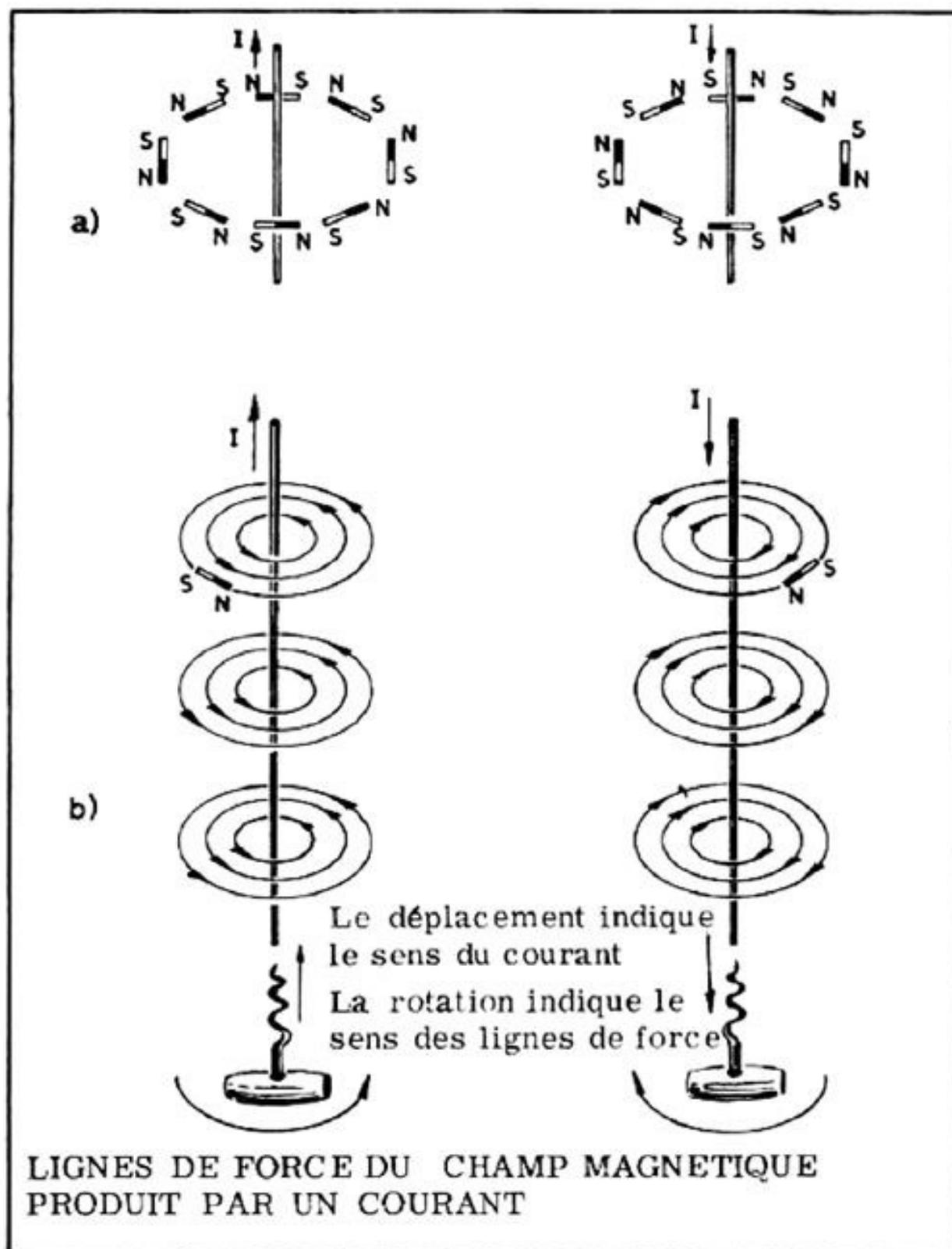


Figure 8

traverse le conducteur : on comprend donc la nécessité, dont on a déjà parlé précédemment, d'attribuer un sens aux lignes de force.

Comme on le voit sur la *figure 8 - b*, on leur attribue un sens tel que, en partant du pôle nord de l'aiguille aimantée et en suivant les lignes dans ce sens, on arrive au pôle sud de la même aiguille après avoir accompli un tour complet autour du conducteur.

Nous voyons que *le sens des lignes de force dépend du sens de circulation du courant*, qui conventionnellement est dirigé des points au potentiel le plus haut vers les points au potentiel le plus bas.

D'après le sens du courant on peut déterminer le sens des lignes de force au moyen de la règle de Maxwell ; appelée aussi *REGLE DU TIRE-BOUCHON*.

Selon cette règle, on doit imaginer que l'on place un tire-bouchon dans la direction du conducteur et qu'on le fait tourner de façon à ce qu'il avance dans le même sens que le courant : le sens dans lequel le tire-bouchon doit tourner pour avancer dans le même sens que le courant indique le sens des lignes de force du champ magnétique.

Pour vérifier l'exactitude de cette règle, on peut étudier les deux exemples d'application de la *figure 8 - b*.

## 2 - 2 - LA BOBINE

Après avoir étudié le champ magnétique produit par un courant qui parcourt un conducteur rectiligne, nous allons passer à l'étude de la bobine.

Imaginons d'abord qu'on prenne un conducteur rectiligne comme celui de la *figure 8* et qu'on le replie pour lui donner une forme circulaire comme sur la *figure 9* : le conducteur ainsi replié constitue une *SPIRE*.

Les lignes de force du champ magnétique produit par le courant qui parcourt la spire sont représentées sur la *figure 9* ; ces lignes sont encore circulaires mais, le conducteur ayant été replié, leur centre n'est plus sur le conducteur mais il est reporté à l'extérieur de la spire.

En imaginant que les lignes de force sont des anneaux, on voit que tous les anneaux sont enfilés sur la spire, qu'on peut considérer aussi comme un anneau : la spire et les lignes de force sont donc liées entre elles comme les anneaux d'une chaîne, et on dit pour cela que les lignes de force sont en-

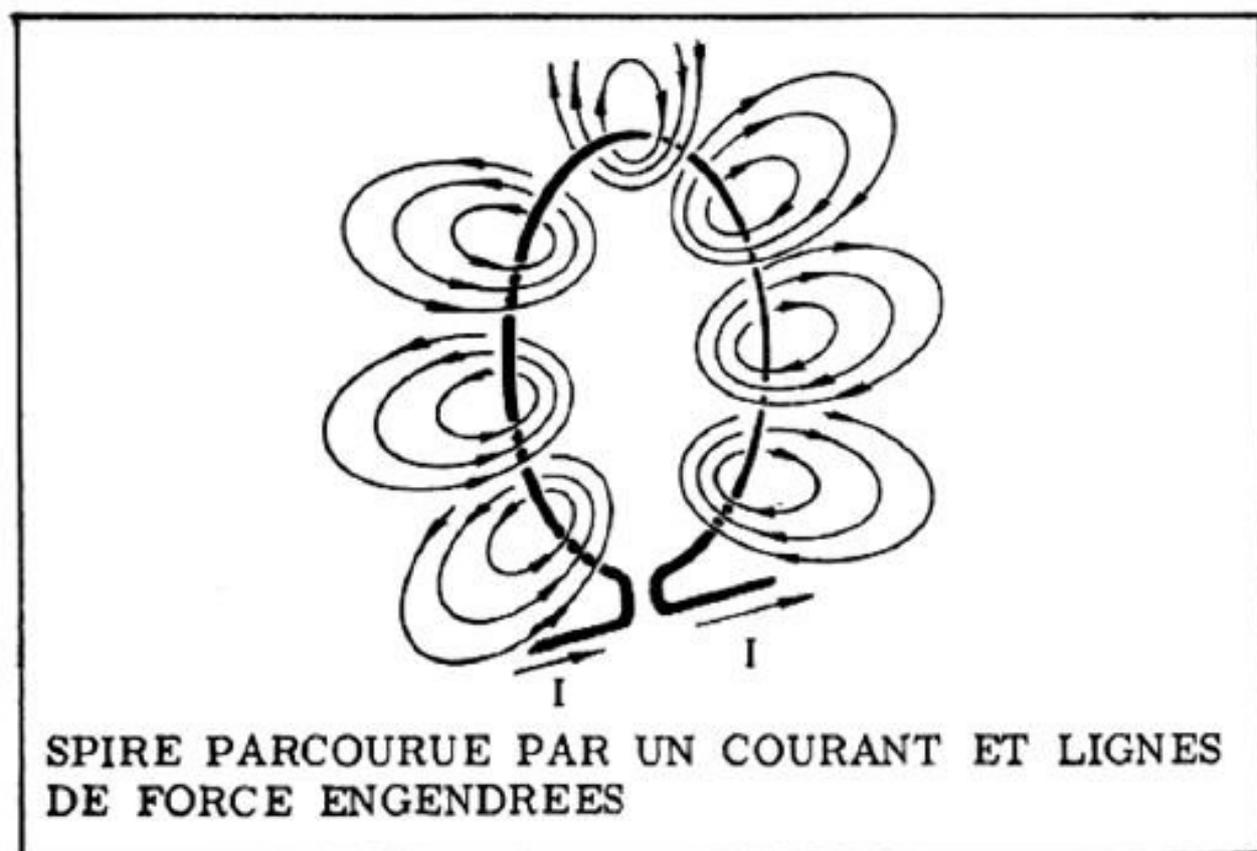


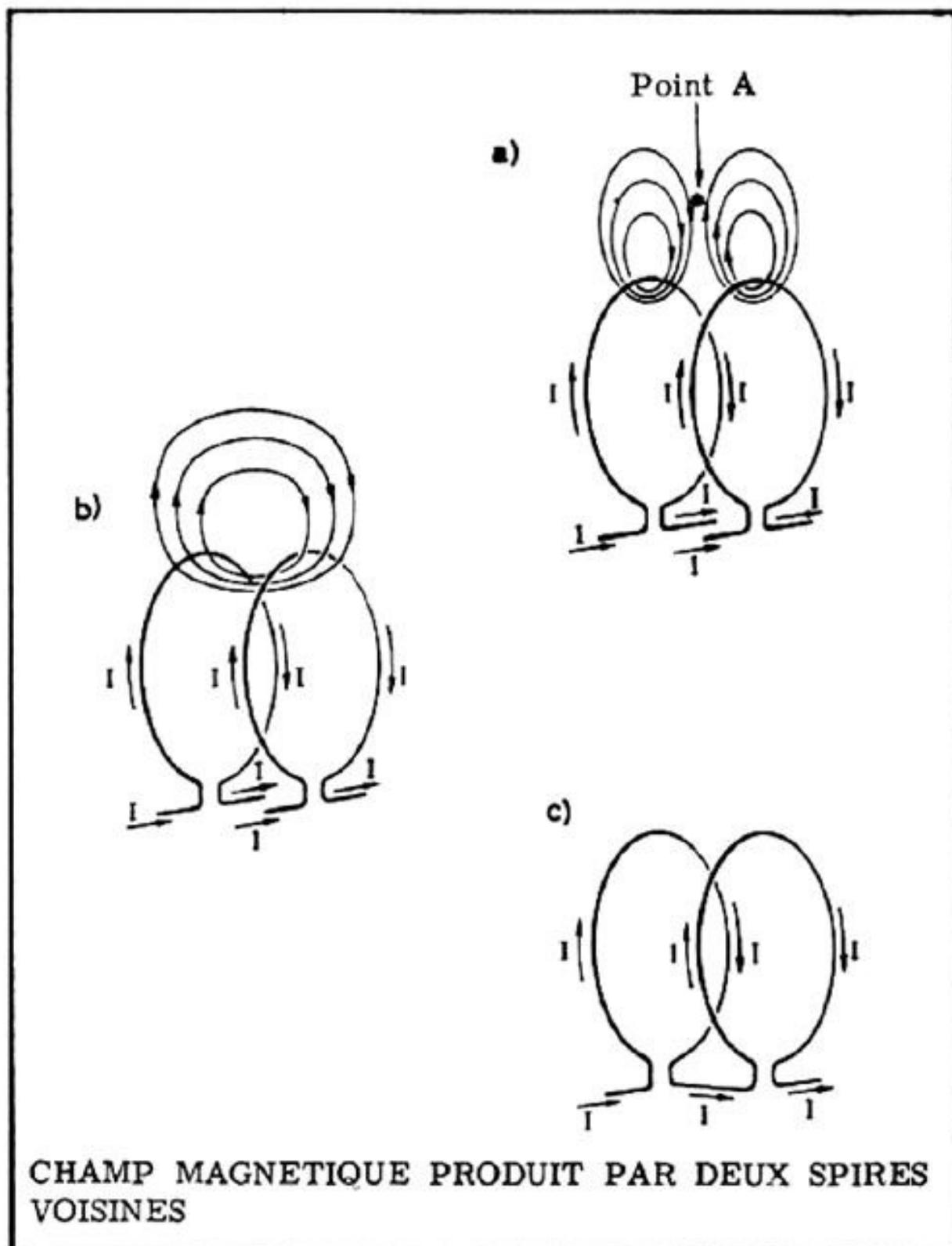
Figure 9

chaînées à la spire, ou qu'elles embrassent la spire.

La spire constitue le type le plus simple de bobine. Les bobines sont formées généralement de plusieurs spires réunies ; étudions donc ce qui se passe quand, près de la spire dont on vient de parler, on met une deuxième spire parcourue, elle aussi dans le même sens par le même courant  $I$ , comme sur la *figure 10 - a*.

Chacune des spires produit son propre champ magnétique, dont on a indiqué quelques lignes de force sur la *figure 10 - a* au voisinage de la partie supérieure des spires.

On peut voir de cette façon qu'au point  $A$  indiqué et qu'aux points voisins de celui-ci les lignes de force d'une spire sont dirigées en sens contraire de celles de l'autre spire ; donc en ces points le champ magnétique est nul car les effets produits par les lignes de force dirigées dans un sens sont annulées par les effets produits par les lignes de force dirigées en sens contraire.



CHAMP MAGNETIQUE PRODUIT PAR DEUX SPIRES VOISINES

Figure 10

Dans la pratique, aux points considérés les lignes de force s'annulent réciproquement et se modifient donc, en prenant l'allure indiquée sur la *figure 10 - b* : comme on le voit, chaque ligne de force produite par une spire s'unit à une ligne correspondante produite par l'autre spire, et donne naissance à une seule ligne de force qui embrasse les deux spires à la fois.

Ceci démontre que deux spires voisines produisent non pas deux champs magnétiques distincts, mais un seul champ, puisque les lignes de force sont à cheval sur les deux spires à la fois.

Au lieu de faire parcourir les deux spires par deux courants de même intensité mais distincts, c'est-à-dire fournis par deux générateurs différents, on peut envoyer le même courant dans les deux spires, en les reliant en série comme sur la *figure 10 - c*.

De cette façon le courant, après avoir parcouru la première spire, parcourt la seconde : donc chaque spire est encore parcourue par le même courant, comme dans le cas de la *figure 10 - b*.

Chaque spire apporte sa contribution à la production du champ magnétique, qui dépend donc du nombre de spires parcourues successivement par le même courant ; donc *le champ magnétique produit par une bobine est d'autant plus intense que le nombre de ses spires est plus grand*.

Examinons, par exemple, les deux bobines de la *figure 11* ; la première (*figure 11 - a*) a cinq spires, tandis que la seconde (*figure 11 - b*) en a vingt cinq, c'est-à-dire cinq fois plus que la première.

En envoyant dans les deux bobines des courants de même intensité, la seconde produit un champ cinq fois plus grand que la première.

Pour obtenir que la première bobine produise un champ égal au champ produit par la seconde, il faudrait lui envoyer un courant cinq fois plus intense que celui qui parcourt la deuxième bobine.

On comprend alors pourquoi le champ magnétique produit par une bobine dépend à la fois du nombre de spires et du courant qui la parcourt ; nous pouvons dire plus précisément que *le champ magnétique dépend du produit du nombre de spires par le courant*.

A ce produit on donne le nom de *FORCE MAGNETOMOTRICE* ou de *TENSION MAGNETIQUE*, en utilisant des termes semblables à ceux de force électromotrice et de tension électrique pour des raisons que nous verrons plus tard.

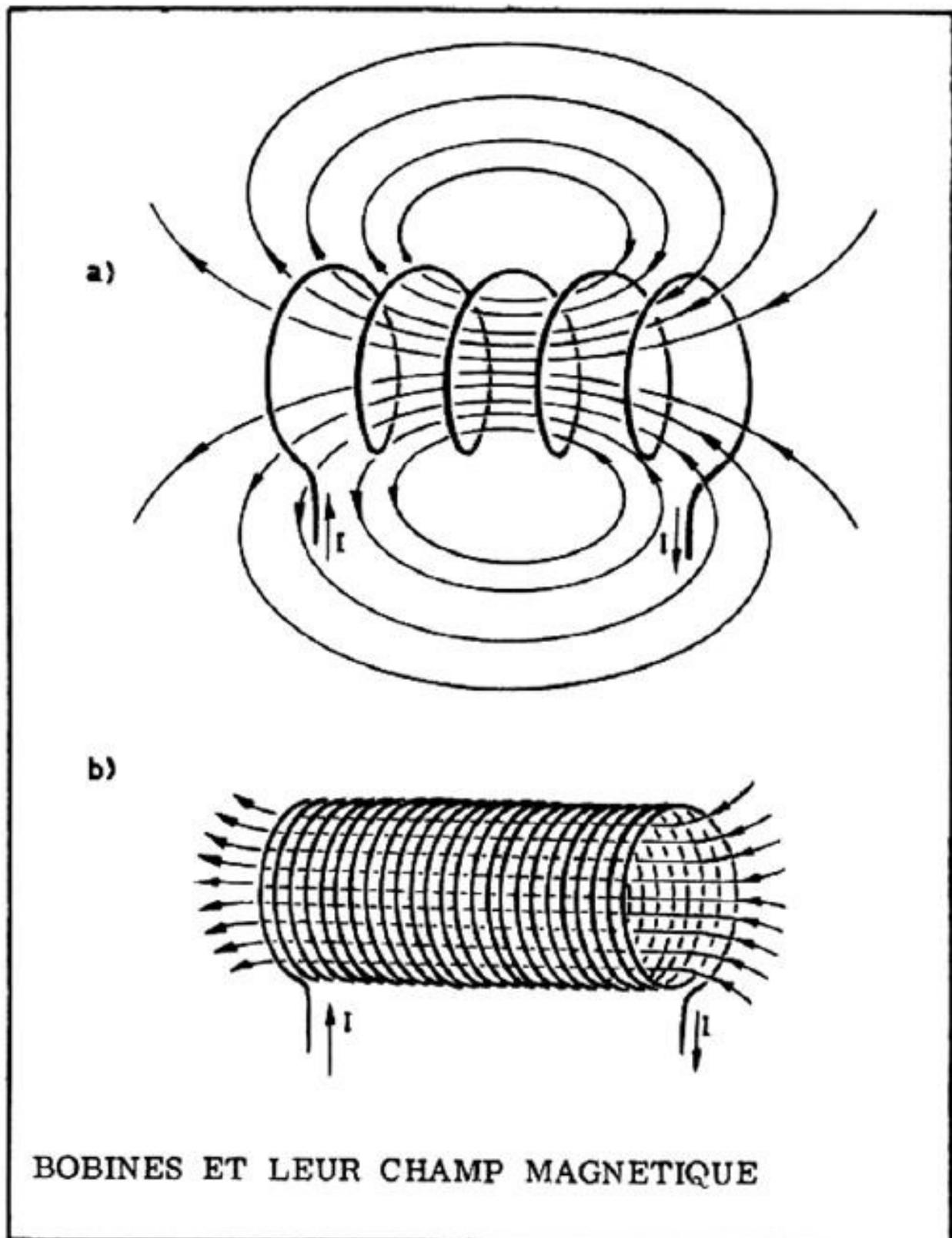


Figure 11

Puisqu'on obtient la force magnétomotrice en multipliant le courant par le nombre de spires qu'il parcourt, l'unité de mesure de la force magnétomotrice est donc l'AMPERETOUR.

Donc une bobine est constituée par un conducteur enroulé de façon à obtenir un certain nombre de spires plus ou moins rapprochées, comme sur la figure 11 ; généralement le conducteur est enroulé autour d'un support cylindrique en matière isolante, qui a pour but de soutenir les spires en les maintenant dans la position voulue.

L'ensemble constitué par le conducteur et par le support s'appelle la *BOBINE* ; le conducteur enroulé sur le support est aussi appelé *ENROULEMENT* de la bobine.

La raison pour laquelle on enroule ainsi un conducteur en forme de bobine apparaît clairement quand on examine l'allure des lignes de force sur la figure 11, qui montrent que toutes les lignes passent à l'intérieur de la bobine. Il en résulte qu'en enroulant le conducteur, on peut obtenir que les lignes de force se concentrent à l'intérieur de la bobine, ce qui crée un champ magnétique beaucoup plus intense qu'à l'extérieur, où les mêmes lignes se

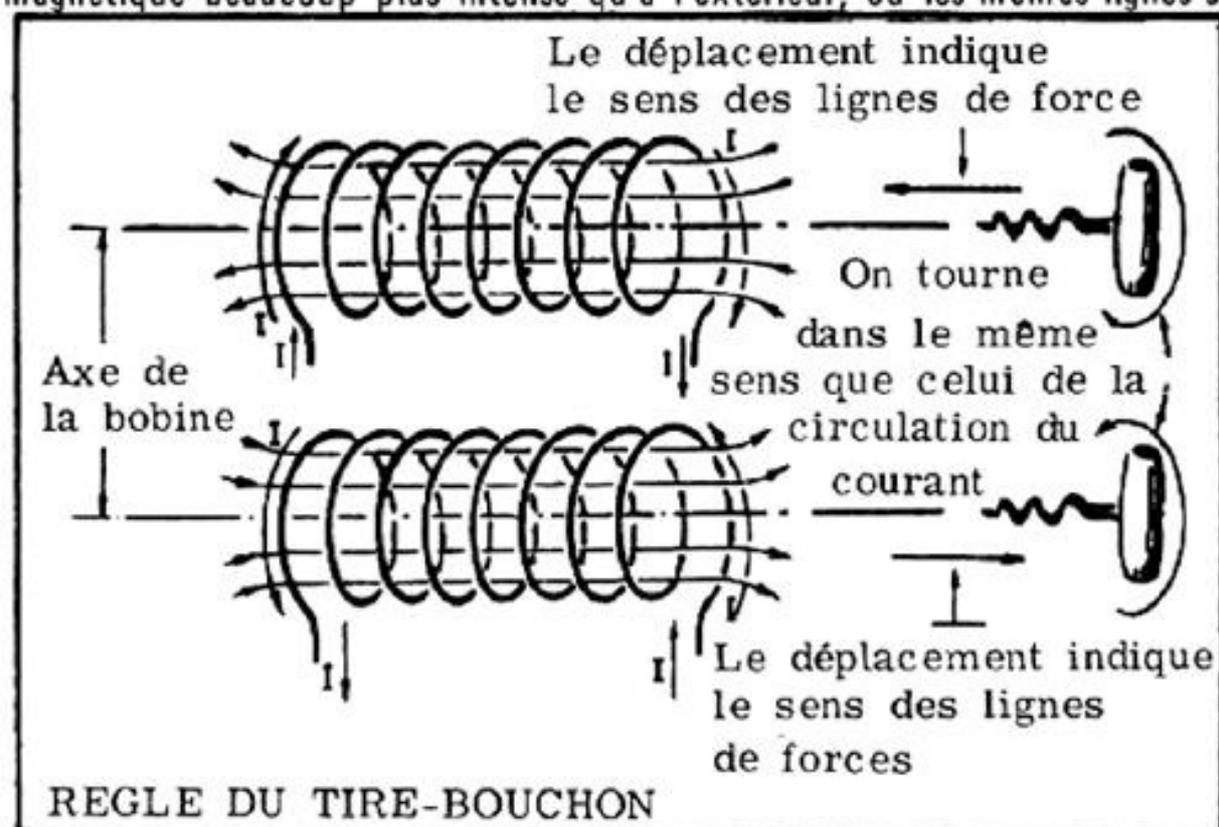


Figure 12

distribuent dans un espace beaucoup plus étendu.

Notons aussi que quand les spires sont très rapprochées, comme sur la *figure 11 - b*, les lignes de force à l'intérieur de la bobine sont pratiquement parallèles entre elles, créant ainsi un champ magnétique uniforme analogue à celui que nous avons étudié sur la *figure 4*.

Donc, en enroulant convenablement un conducteur, on peut obtenir qu'à l'intérieur de l'enroulement les lignes de force du champ magnétique aient une allure déterminée.

Dans ce cas encore, on peut déterminer le sens des lignes de force d'après le sens de circulation du courant, en se souvenant de la règle du tire-bouchon, mais en l'appliquant d'une façon différente de celle que l'on a vue pour le conducteur rectiligne.

D'après la *figure 12*, maintenant on doit imaginer que l'on place le tire-bouchon selon l'axe de la bobine et qu'on le fait tourner dans le même sens que celui dans lequel va le courant qui circule dans les spires : le sens dans lequel se déplace le tire-bouchon indique le sens des lignes de force à l'intérieur de la bobine.

### 2 - 3 - FLUX D'INDUCTION

Nous avons vu comment on obtient un champ magnétique en envoyant le courant électrique dans une bobine ; nous devons maintenant voir comment on utilise le champ magnétique ainsi produit.

Examinons ce qui se produit quand on introduit un morceau d'une matière ferromagnétique à l'intérieur d'une bobine, comme sur la *figure 13 - a* (la matière ferromagnétique est appelée *NOYAU* de la bobine).

D'après ce qu'on a dit à propos du magnétisme, nous savons qu'on peut considérer la matière ferromagnétique comme constituée par des petits aimants élémentaires, qui se comportent comme de minuscules petites aiguilles aimantées et s'orientent selon les lignes de force d'un champ magnétique. Donc quand la bobine est parcourue par le courant et produit un champ magnétique, les petits aimants élémentaires du noyau s'orientent selon les lignes de force du champ, de façon à ce que, en suivant ces lignes, on rencontre d'abord le pôle sud puis le pôle nord de chaque aimant, comme sur la *figure 13 - a*.

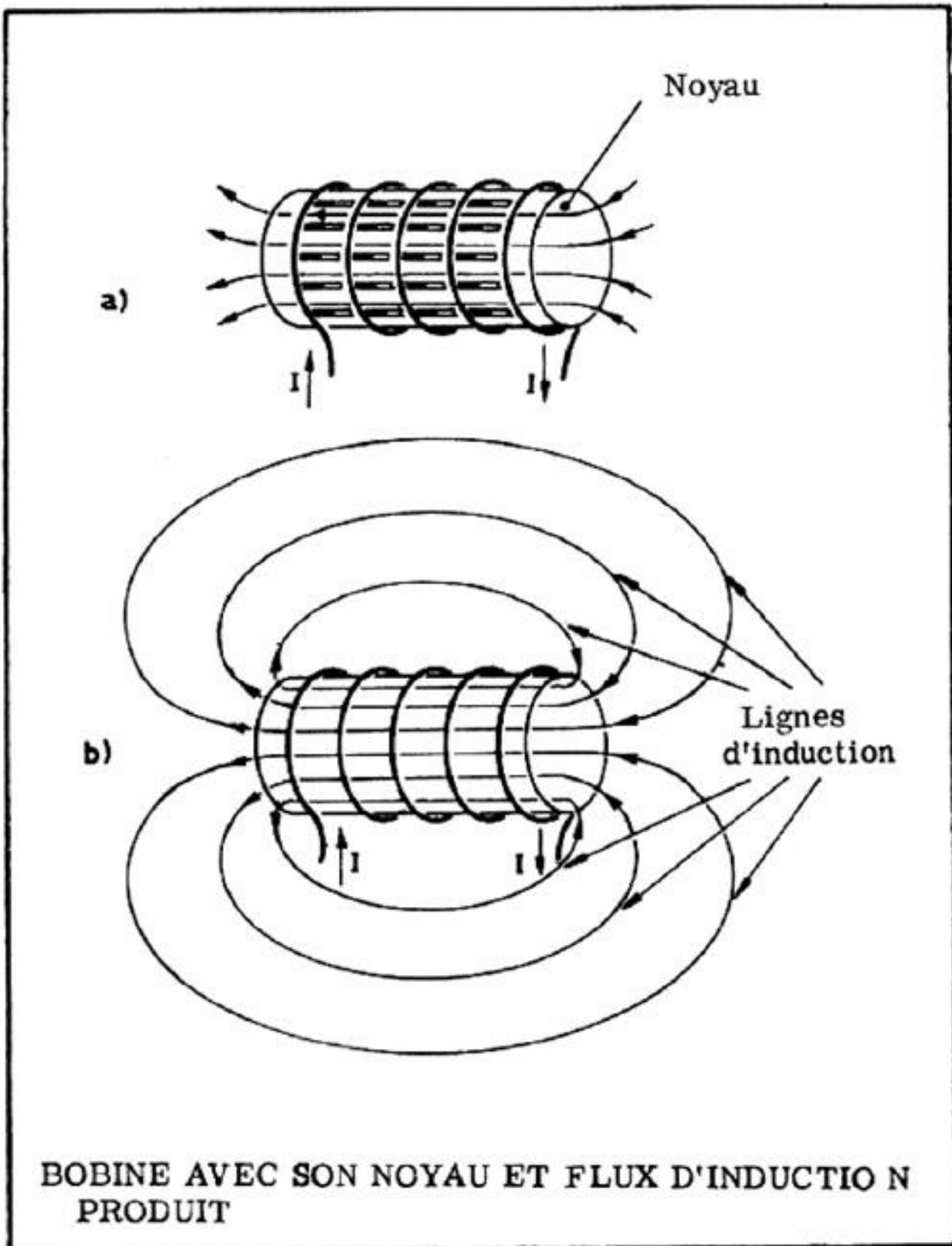


Figure 13

Donc, le noyau s'aimante par induction et devient un véritable aimant, qui possède un pôle nord et un pôle sud à ses extrémités.

Si le noyau est en acier, il conserve son aimantation même quand le courant cesse de parcourir la bobine, car une partie de ses petits aimants élémentaires reste dans la position prise sous l'effet du champ : de cette façon on obtient donc un aimant permanent.

Si au contraire le noyau est en fer doux, il s'aimante et se désaimante suivant que le courant parcourt ou non la bobine. Les noyaux en fer doux sont utilisés pour les *ELECTRO-AIMANTS*, qui ne peuvent ainsi exercer leur force d'attraction que quand leur bobine est parcourue par le courant.

Comme le noyau s'aimante, il produit à son tour son propre champ magnétique, qui s'ajoute à celui qui a été produit par la bobine et le renforce.

Ce qu'il faut noter c'est que le champ produit par le noyau peut être quelques centaines de fois supérieur au champ produit par la bobine ; avec l'emploi du noyau on peut donc obtenir un champ intense, en faisant parcourir la bobine par un courant relativement modeste ; ou autrement dit, si on voulait obtenir le même champ de la bobine sans noyau, il faudrait lui envoyer un courant cent fois plus intense que celui qui est nécessaire pour la bobine munie d'un noyau.

Pour déterminer l'allure des lignes de force du champ produit par la bobine avec noyau, on peut procéder comme on l'a déjà fait précédemment, c'est-à-dire en déplaçant autour de cet élément une petite aiguille aimantée.

L'allure de ces lignes de force est indiquée sur la *figure 13 - b*, où l'on voit que les lignes sont tracées même à l'intérieur du noyau : on peut imaginer en effet qu'on a utilisé une aiguille assez petite pour pouvoir l'introduire entre les petits aimants élémentaires du noyau en y faisant une petite fente.

Notons maintenant que sur l'aiguille aimantée agit non seulement la force du champ produit par la bobine, mais aussi la force du champ produit par le noyau aimanté par induction.

Les lignes de force déterminées de cette façon dépendent donc aussi de l'aimantation par induction subie par le noyau ; et même, elles sont dues en grande partie au noyau, car, comme on l'a dit, celui-ci crée un champ beaucoup plus intense que celui qui est produit par la bobine et il agit donc sur l'aiguille aimantée beaucoup plus énergiquement que l'enroulement.

C'est pour cela que *les lignes de force sont aussi appelées LIGNES D'INDUCTION*, justement pour rappeler qu'elles indiquent la direction dans laquelle agit, non seulement la force du champ produit par l'enroulement, mais aussi la force due à l'aimantation du noyau par induction.

L'ensemble de toutes les lignes d'induction constitue le *FLUX D'INDUCTION* produit par la bobine ; nous pouvons donc considérer une bobine munie d'un noyau comme un élément qui a la propriété de produire un flux d'induction quand ses spires sont parcourues par le courant.

La même propriété de produire un flux d'induction peut être attribuée à une bobine sans noyau, si nous considérons les lignes de force de cette bobine comme des lignes d'induction, c'est-à-dire si nous imaginons que, de même que la bobine à noyau produit un flux d'induction en aimantant le noyau (ou bien la matière qui se trouve à l'intérieur), de même que la bobine sans noyau produit un flux d'induction en aimantant la matière qui se trouve à l'intérieur, c'est-à-dire l'air.

Naturellement, dans ce dernier cas, comme il n'y a pas l'aimantation du noyau, le flux d'induction est inférieur ; nous pouvons donc dire que le *flux d'induction dépend de la matière qui se trouve à l'intérieur de la bobine*.

Nous en sommes venus ainsi à considérer la bobine d'un autre point de vue, c'est-à-dire non plus comme un élément capable d'exercer une force d'attraction sur les matières ferromagnétiques, mais comme un élément capable d'aimanter par induction la matière qui se trouve à l'intérieur, en donnant lieu à un flux d'induction qui dépend du matériau employé.

Il faut étudier la bobine de ce nouveau point de vue car, comme nous le verrons dans la prochaine leçon, les propriétés électriques de la bobine dépendent de son flux d'induction, et plus précisément du flux embrassé par les spires, c'est-à-dire du fait que les lignes d'induction qui constituent ce flux sont entourées dans leur ensemble par le courant qui parcourt les spires (comme on le voit, par exemple, sur la *figure 13 - b*).

*Le flux d'induction se mesure en WEBER*, unité de mesure ainsi appelée du nom du savant allemand déjà cité.

Pour produire un flux d'induction il faut faire circuler un courant dans les spires d'une bobine, ou bien créer une force magnétomotrice qui, comme nous l'avons vu précédemment, est donnée par le produit du nombre de spires par le courant.

*Nous pouvons donc attribuer à la tension magnétique la cause de la production du flux d'induction, de même que dans les leçons précédentes nous avons attribué à la tension électrique la cause de la production du courant dans un circuit. C'est pour cela qu'on a appelé le produit du nombre de spires par le courant la tension magnétique, terme analogue à celui de tension électrique.*

#### 2 - 4 - L'INDUCTANCE ELECTRIQUE ET SON CALCUL

De tout ce qui a été dit dans le paragraphe précédent, retenons que *chaque bobine peut être caractérisée par son aptitude à fournir un flux quand ses spires sont parcourues par le courant, de même que chaque condensateur est caractérisé d'après son aptitude à accumuler des charges électriques sur ses armatures quand une tension lui est appliquée.*

Cette aptitude, dans le cas du condensateur a été appelée capacité électrique ; pour la bobine elle est appelée *INDUCTANCE ELECTRIQUE* ; *une bobine est donc caractérisée par la valeur de son inductance, de même qu'une résistance est caractérisée par la valeur de sa résistance et un condensateur par la valeur de sa capacité.*

Nous nous souvenons que pour le condensateur la capacité est donnée par la quantité d'électricité présente sur l'une ou sur l'autre de ses armatures, on lui applique la tension de 1 V et que, pour un condensateur déterminé, la capacité s'obtient en divisant la quantité d'électricité par la tension.

De la même façon, nous pouvons dire que, *l'inductance d'une bobine est donnée par le flux embrassé par ses spires quand celles-ci sont parcourues par un courant de 1 A ; dans ce cas aussi, pour une bobine déterminée, l'inductance s'obtient en divisant le flux embrassé par le courant.*

En mesurant le flux en webers et le courant en ampères, *l'inductance est mesurée en weber/ampère (weber par ampère) ; à cette unité de mesure on a donné le nom de HENRY, pour rappeler le professeur américain Joseph Henry (1797 - 1878) à qui on doit d'importantes études sur les phénomènes électromagnétiques.*

Dans de nombreux cas le henry est une unité de mesure trop grande pour les bobines utilisées normalement ; c'est pourquoi on a recours au *MILLIHENRY, qui vaut un millième de henry, ou bien au MICROHENRY, qui vaut un millionième de henry.*

Entre le condensateur et la bobine il y a d'autres analogies, qu'il faut mettre en évidence, car elles sont utiles pour nous orienter dans le calcul de l'inductance, dont nous nous occuperons maintenant.

En appliquant une tension aux armatures du condensateur, la matière placée entre ses armatures (c'est-à-dire le diélectrique) se polarise électriquement, et à ses extrémités apparaissent un pôle positif et un pôle négatif.

De la même façon, en faisant circuler un courant dans les spires d'une bobine, la matière qui se trouve à l'intérieur s'aimante, ou bien se polarise magnétiquement, et à ses extrémités apparaissent un pôle nord et un pôle sud.

Donc, de même que la capacité d'un condensateur dépend du diélectrique de même l'inductance d'une bobine dépend de la matière qui se trouve à l'intérieur ; en effet nous avons déjà vu qu'une bobine pourvue d'un noyau ferromagnétique produit un flux d'induction plus grand que celui que produit la même bobine, parcourue par le même courant, mais dépourvue de noyau.

Dans le cas du condensateur on a tenu compte de l'influence du diélectrique sur la capacité grâce à la constante diélectrique absolue ( $\epsilon$ ) ; pour le condensateur à air cette constante a été appelée constante diélectrique de l'air ( $\epsilon_0$ ) ; pour un diélectrique solide, on a introduit la constante diélectrique relative à l'air ( $\epsilon_r$ ) qui, multipliée par celle de l'air ( $\epsilon_0$ ) donne la constante diélectrique absolue du diélectrique solide ( $\epsilon = \epsilon_r \times \epsilon_0$ ).

De la même façon on tient compte de la matière placée à l'intérieur d'une bobine car elle a une influence sur son inductance ; dans ce cas on considère la *PERMEABILITE MAGNETIQUE ABSOLUE* de la matière, qu'on indique par la lettre grecque  $\mu$  (on lit "mu") et qu'on mesure en *HENRY PAR METRE*, de même que la constante diélectrique absolue se mesure en farad par mètre.

Pour une bobine sans noyau et qui est donc remplie d'air on a la *PERMEABILITE DE L'AIR* (ou du vide), qu'on indique par  $\mu_0$  et dont la valeur est de 1,256 microhenry par mètre.

Pour une bobine avec noyau, on a introduit la *PERMEABILITE RELATIVE A L'AIR*, que l'on indique par  $\mu_r$  ; dans ce cas aussi, en multipliant la perméabilité de l'air par la perméabilité relative à l'air, c'est-à-dire  $\mu_0 \times \mu_r$ , on obtient la perméabilité absolue ( $\mu$ ).

Pour la signification de la perméabilité relative à l'air, il faut faire une observation très importante : dans le cas du condensateur, le diélectrique occupe l'espace entier compris entre les armatures, c'est-à-dire tout l'espace traversé par les lignes de force ; dans le cas de la bobine, au contraire, le noyau ne se trouve qu'à l'intérieur de cet élément et il n'occupe donc pas l'espace entier traversé par les lignes d'induction, car celle-ci, comme on le voit sur la *figure 13 - b*, passent aussi dans l'air à l'extérieur de la bobine.

Pour avoir une analogie complète avec le cas du condensateur il faudrait que le noyau de la bobine soit disposé aussi à l'extérieur, tout le long du parcours des lignes d'induction, qui de cette façon passeraient entièrement dans la matière ferromagnétique et non plus dans l'air.

Dans ce cas le noyau est dit *FERME*, parce que les lignes d'induction se ferment complètement dans le noyau sans traverser l'air ; au contraire, le noyau de la *figure 13 - b* est dit *OUVERT*, parce que les lignes d'induction ne s'y ferment pas complètement, mais qu'elles traversent aussi l'air.

Ce n'est que dans le cas où le flux d'induction est entièrement dans la matière ferromagnétique d'un noyau fermé qu'on peut dire, comme pour le condensateur, que la perméabilité relative à l'air indique de combien de fois l'inductance de la bobine augmente quand on la munit du noyau.

Quand au contraire le noyau est du type ouvert, comme la *figure 13*, et qu'on a donc un flux d'induction en partie dans la matière ferromagnétique et en partie dans l'air, l'augmentation de l'inductance est inférieure à celle indiquée par la perméabilité relative à l'air.

Dans cette leçon nous nous limiterons au calcul de l'inductance d'une bobine sans noyau, en renvoyant les calculs relatifs aux bobines avec noyau au moment où nous en rencontrerons les applications pratiques. Voyons donc de quels éléments dépend l'inductance d'une bobine sans noyau.

D'abord l'inductance dépend de la section des spires qui constituent la bobine ; cette section est donnée par la superficie limitée par le conducteur, comme on le voit pour une seule spire sur la *figure 14*, où cette superficie est hachurée.

Il est évident que plus la section de la spire est grande, plus le flux d'induction qui la traverse en passant à l'intérieur est grand lui aussi : nous pouvons donc dire que l'inductance d'une bobine augmente avec la section de ses spires.

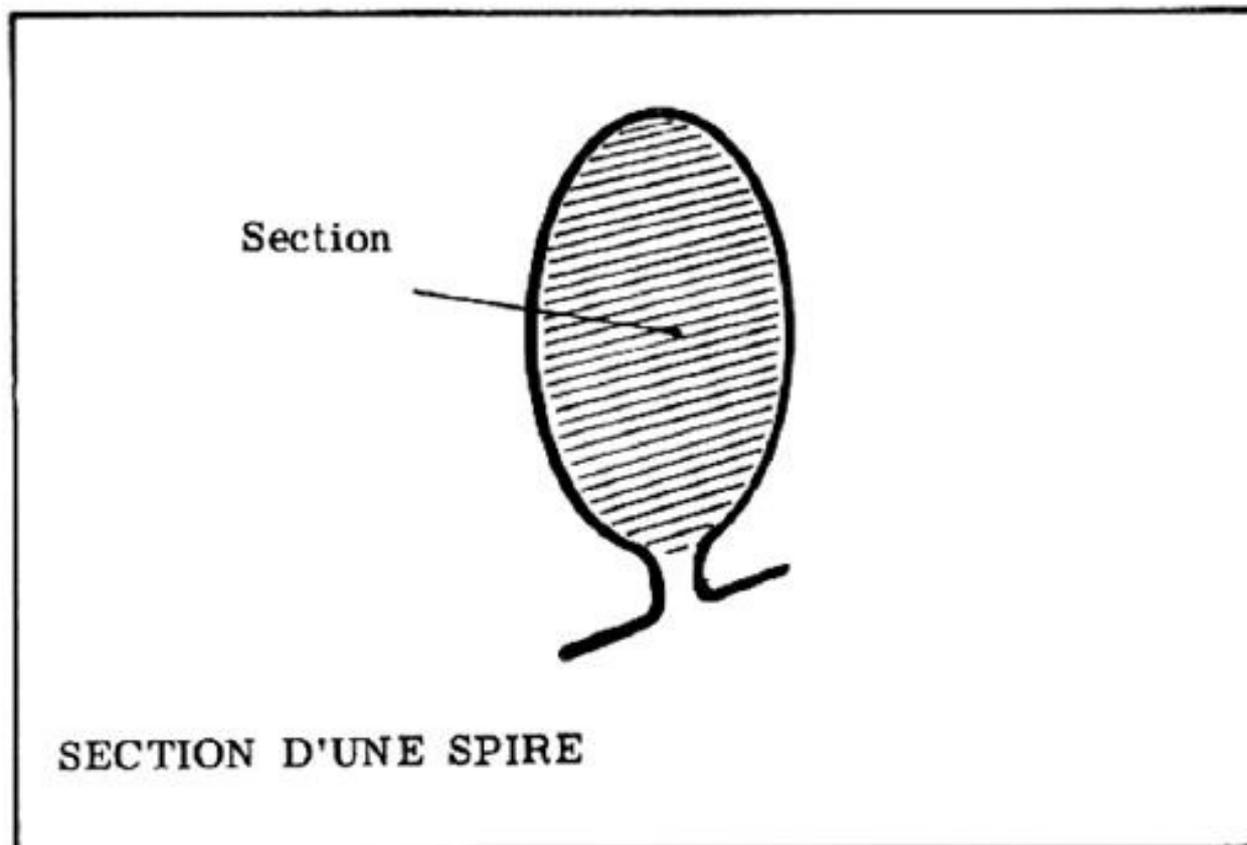


Figure 14

Ensuite, l'inductance dépend du carré du nombre de spires de la bobine. Pour nous rendre compte de ce fait, étudions la *figure 15*, sur laquelle sont représentées deux bobines, la première à une seule spire, la seconde à cinq.

En supposant que les deux bobines soient parcourues par le même courant, chacune des cinq spires de la deuxième produit un flux d'induction égal à celui qui est produit par la seule spire de la première : la deuxième bobine donne donc naissance à un flux cinq fois plus important que le flux de la première.

Nous constatons donc que le flux produit par une bobine peut être obtenu en multipliant le flux dû à une spire par le nombre de spires.

Souvenons-nous que, pour évaluer l'inductance, il faut considérer non seulement le flux produit par la bobine, mais aussi comment ce flux embrasse le courant qui le produit.

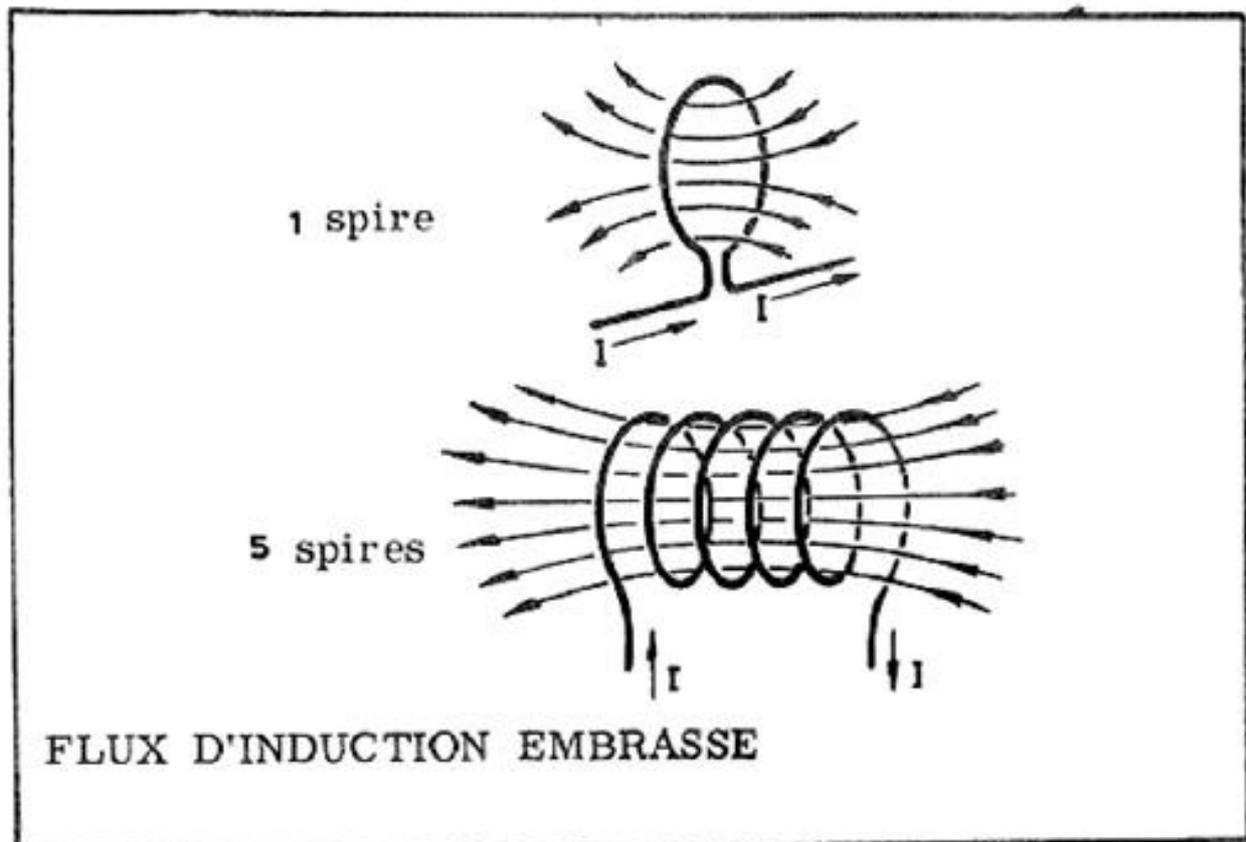


Figure 15

Nous observons sur la *figure 15* que le flux produit par la première bobine ne traverse qu'une seule spire parcourue par le courant, car le courant ne circule que dans une seule spire ; au contraire, le flux produit par la deuxième bobine traverse cinq spires parcourues par le même courant.

Pour évaluer le flux embrassé, il faut donc multiplier le flux produit par la bobine par le nombre de ses spires, qui indique combien de fois le flux traverse une spire parcourue par le courant qui le produit.

En conclusion, pour obtenir le flux embrassé par une bobine, il faut multiplier le flux produit par une seule spire par le nombre des spires de l'inducteur.

Puisque l'inductance est liée au flux embrassé, elle dépend effectivement, comme ce flux, du carré du nombre de spires ; plus précisément, *quand on augmente le nombre des spires d'une bobine son inductance augmente comme le carré de ce nombre.*

L'inductance dépend enfin d'un troisième élément, c'est-à-dire de la longueur de la bobine.

Pour voir comment cette longueur peut avoir une influence sur l'inductance, étudions la *figure 16*, représentant deux bobines qui ont le même nombre de spires, la même section, mais qui sont enroulées de façon à ce que la première ait une longueur (3 centimètres) deux fois plus petite que la seconde (6 centimètres).

Nous supposons que le même courant parcourt ces deux bobines ; puisque le nombre de spires est le même pour les deux, la tension magnétique est donc la même pour les deux.

On pourrait penser que ces deux bobines produisent le même flux embrassé et qu'elles ont la même inductance, du moment que précédemment nous avons attribué à la tension magnétique la cause de la production du flux.

En réalité, le flux d'induction dépend non seulement de la valeur de la tension magnétique (c'est-à-dire du nombre de spires par le courant) mais aussi de la façon dont cette tension est répartie le long de la bobine.

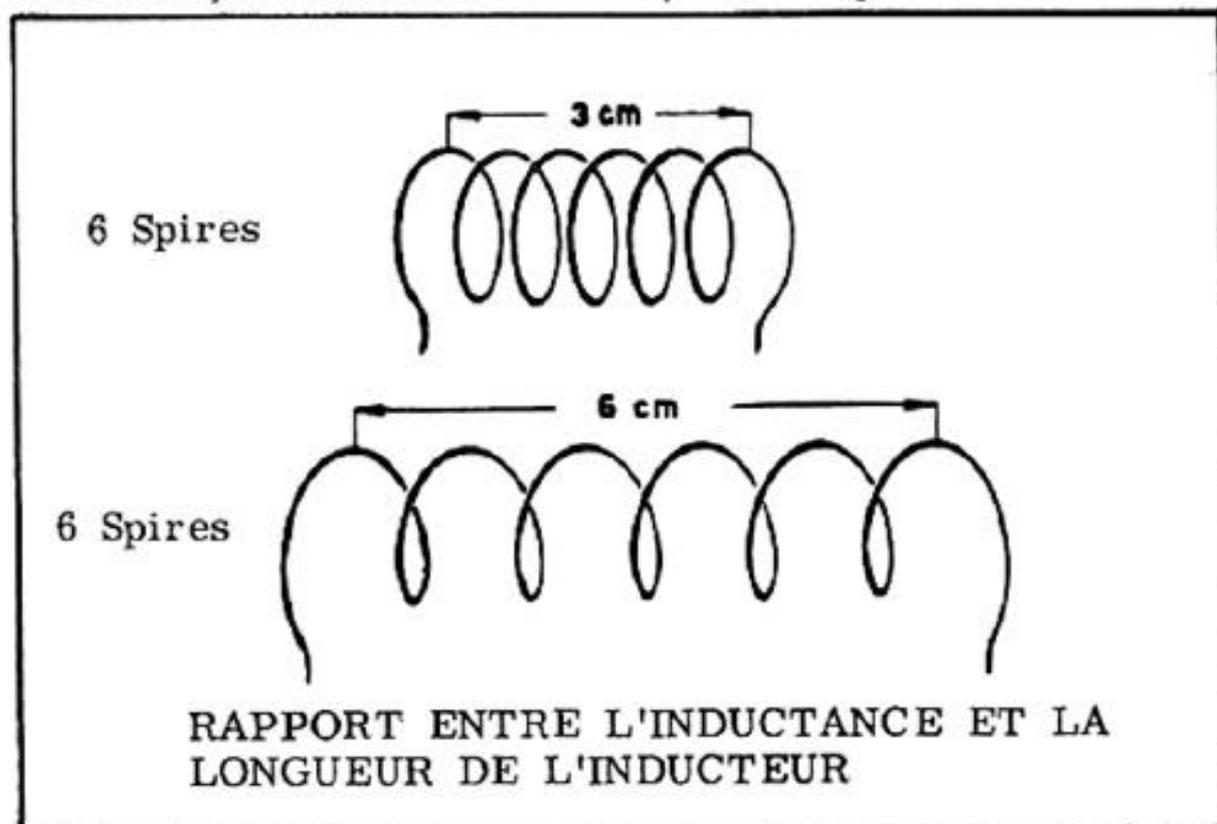


Figure 16

Nous constatons en effet sur la *figure 16*, que tandis que pour la première bobine il y a deux spires par centimètre de longueur, pour la deuxième bobine il n'y a qu'une spire par centimètre de longueur.

Donc, pour chaque centimètre de longueur de la première, il y a une tension magnétique deux fois plus grande que pour chaque centimètre de longueur. Donc, le flux produit par la première est le double de celui produit par la seconde.

Nous concluons donc que le flux embrassé par les spires d'une bobine et que le flux d'inductance de celle-ci, dépendent de la longueur de la bobine, et plus précisément *que l'inductance augmente quand la longueur de la bobine diminue.*

Maintenant nous connaissons tous les éléments dont dépend la valeur de l'inductance, et nous pouvons donc voir comment on la calcule : en se souvenant comment on a procédé dans le cas analogue du condensateur, nous pouvons dire que *pour une bobine sans noyau on obtient l'inductance en multipliant la perméabilité de l'air par la section des spires et par le carré du nombre de spires, et en divisant le produit obtenu par la longueur de la bobine.*

Ce procédé de calcul de l'inductance n'est valable que quand toutes les lignes d'induction sont embrassées par toutes les spires de la bobine, comme on le voit, par exemple sur la *figure 11 - b.*

Quand les spires sont un peu distantes, il peut se produire que quelques lignes d'induction n'embrassent qu'un certain nombre de celles-ci et non toutes, comme sur la *figure 11 - a* ; dans ce cas le flux embrassé est inférieur et par conséquent l'inductance a une valeur inférieure à celle que l'on obtiendrait avec le procédé de calcul indiqué. Dans la pratique on tient compte de ce fait en corrigeant les résultats, comme nous le verrons dans les formulaires.

En conclusion de ce chapitre je vous présente dans le tableau de la *figure 17* les nouvelles grandeurs soit magnétiques, soit électriques introduites dans cette leçon, avec les unités de mesure correspondantes et les symboles relatifs.

Notez que le symbole de la tension magnétique est  $NI$ ,  $N$  indique le nombre de spires, et  $I$  indique le courant, car la tension magnétique s'obtient en multipliant le nombre de spires par le courant.

GRANDEURS MAGNETIQUES ET ELECTRIQUES	SYMBOLE	UNITE DE MESURE	SYMBOLE
Tension Magnétique	NI	Ampère-tour	At
Flux d'induction	$\Phi$	Weber	Wb
Inductance	L	Henry	H
Perméabilité magnétique absolue	$\mu$	Henry par mètre	H/m

Figure 17

Pour le flux d'induction on utilise comme symbole la lettre grecque  $\Phi$  (on lit "phi").

## B - NATURE DU MAGNETISME

Avant de conclure cette leçon, il faut encore parler brièvement de la véritable nature du magnétisme.

Précédemment, les propriétés magnétiques des matières ont été attribuées aux petits aimants élémentaires, imaginés comme des petites aiguilles aimantées, qui auraient la possibilité de tourner autour de leur propre centre; maintenant, après avoir étudié l'électromagnétisme, nous sommes en mesure de comprendre en quoi consistent vraiment ces petits aimants.

Nous avons vu en effet qu'une spire parcourue par un courant, pro-

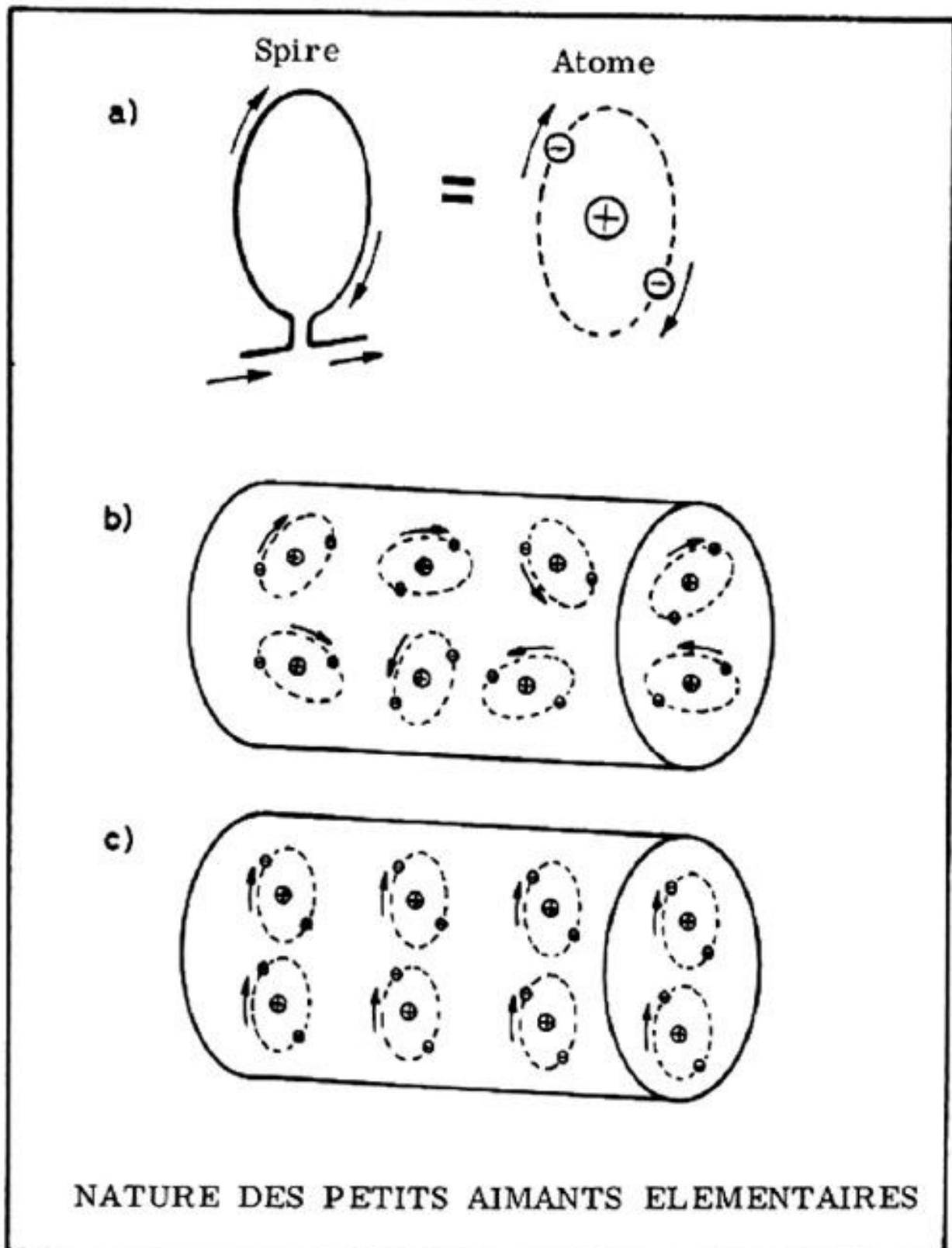


Figure 18

duit un champ magnétique, mais nous savons qu'un courant électrique est constitué par des électrons qui s'agitent le long d'un conducteur ; donc nous pouvons attribuer ce champ magnétique au fait que les électrons décrivent un cercle durant leur mouvement autour de la spire circulaire.

Si maintenant, nous nous rappelons la structure de l'atome, nous voyons que dans ce cas aussi, il y a des électrons qui tournent sur des orbites. Par conséquent, les électrons de l'atome produisent un champ magnétique. Nous pouvons donc considérer les atomes, ou plus précisément leurs orbites, comme de minuscules spires parcourues par le courant figure 18-a.

Cependant dans un morceau de matière ferromagnétique désaimantée les orbites sont en désordre (figure 18-b) et les champs magnétiques s'annulent.

Par contre dans un morceau de matière ferromagnétique aimanté, les orbites sont parallèles et les électrons tournent tous dans le même sens (figure 18-c).

De cette façon, les champs magnétiques dûs aux atomes sont tous dirigés dans le même sens et peuvent donc agir en concordance, en donnant lieu à la polarisation magnétique.

Notons, à ce point, que tous les phénomènes étudiés jusque là sont dûs aux électrons.

En effet, pour les conducteurs le courant électrique est dû au mouvement des électrons, pour les condensateurs la polarisation diélectrique est due au déplacement des orbites électroniques par rapport au noyau ; pour les aimants et les bobines la polarisation magnétique est due à la position particulière prise par ces mêmes orbites électroniques.

Comme on a déjà vu que le passage du courant électrique et la polarisation diélectrique produisent une dépense d'énergie électrique, il est facile de comprendre que, de même, la polarisation magnétique d'un noyau doit réclamer une énergie qui est fournie par la bobine ; de cet aspect de l'électromagnétisme nous nous occuperons dans la prochaine leçon, dans laquelle nous verrons aussi quels sont les emplois de la bobine dans les circuits radioélectriques.

.....

## NOTIONS A RETENIR

- Une bobine est caractérisée par la valeur de son **INDUCTANCE**.
- En mesurant le flux en weber et le courant en ampère, l'inductance est donnée en weber par ampère.

A cette unité de mesure on a donné le nom de **HENRY** (nom du professeur américain Joseph HENRY).

- Le **HENRY (H)** étant une unité relativement grande, on utilise plus couramment les sous-multiples, c'est-à-dire le **MILLIHENRY (mH)** (un millième de Henry) et le **MICROHENRY ( $\mu$ H)** (un millionième de Henry).
- Le symbole de l'**INDUCTANCE** est la lettre **L**.

**REMARQUE** : Dans le langage courant les techniciens utilisent souvent le mot **INDUCTANCE** ou **SELF** pour désigner un bobinage et par suite dans les schémas les bobinages sont souvent repérés par la lettre **L**. Cette pratique consiste donc à remplacer le nom du composant (bobine) par son effet (inductance).



## EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 6

- 1 - Quel est l'énoncé de la loi relative aux forces qui s'exercent entre deux pôles magnétiques ?
- 2 - En quoi consiste l'effet magnétique du courant électrique ?
- 3 - Comment calcule-t-on la tension magnétique ?
- 4 - Qu'est-ce qui constitue le flux d'induction ?
- 5 - Comment calcule-t-on l'inductance d'une bobine, quand on connaît le flux embrassé par ses spires, et le courant qui les parcourt ?
- 6 - Que considère-t-on pour tenir compte de l'influence qu'a sur l'inductance, la matière posée à l'intérieur d'une bobine ?
- 7 - Qu'est-ce qui indique la perméabilité relative à l'air d'une matière ferromagnétique ?
- 8 - Comment calcule-t-on l'inductance d'une bobine sans noyau, quand on connaît ses dimensions géométriques, et le nombre de ses spires ?



## REPNSES A L'EXERCICE SUR LA THEORIE 5

- 1 - Le condensateur est un élément conservateur de l'énergie, car il a la propriété d'emmagasiner l'énergie électrique.
- 2 - De l'énergie qu'une pile dépense pour charger un condensateur, il n'y a que la moitié qui est emmagasinée par le condensateur.
- 3 - On calcule l'énergie emmagasinée par un condensateur en multipliant la capacité par le carré de la tension et en divisant le produit par deux.
- 4 - La moitié de l'énergie qui n'est pas emmagasinée par un condensateur se dissipe, en se transformant en chaleur à l'intérieur de la pile, à cause de sa résistance intérieure.
- 5 - On peut dire que dans une zone déterminée de l'espace il y a un champ électrique quand dans toute cette zone agit une force qui détermine le déplacement des charges électriques.
- 6 - L'intensité du champ électrique qui existe dans le diélectrique d'un condensateur se calcule en divisant la tension qui existe entre les armatures par la distance entre elles.
- 7 - La tension de travail d'un condensateur indique la tension qu'on ne doit pas dépasser durant le fonctionnement pour ne pas endommager le condensateur avec une décharge.
- 8 - On détermine la capacité totale de deux ou plusieurs condensateurs en parallèle, en faisant la somme de leurs capacités.
- 9 - On détermine la capacité totale de deux ou plusieurs condensateurs en série qui ont la même capacité, en divisant la capacité d'un seul condensateur par le nombre des condensateurs.
- 10 - On détermine la capacité totale de deux condensateurs en série, en multipliant leurs capacités, et en divisant ce produit par leur somme.

