



# THEORIE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

## 1 - INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

Dans cette leçon, nous allons étudier l'induction du point de vue de l'énergie, mais il nous faut auparavant examiner quelques phénomènes très importants, auxquels l'inductance donne lieu : il s'agit des phénomènes d'**INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE** qui furent découverts par l'anglais *Michel Faraday*, dont nous avons déjà parlé à propos de l'étude des ions.

### 1 - 1 - FORCES ELECTROMOTRICES INDUITES

Nous pouvons comprendre en quoi consiste le phénomène de l'induction électromagnétique si nous nous référons à la *figure 1*, où sont dessinées une bobine parcourue par un courant, avec les lignes d'induction qu'elle produit, et une spire que l'on peut déplacer par rapport à la bobine.

Si l'on déplace la spire de façon à la porter, par exemple, de la position de la *figure 1 - a* à celle de la *figure 1 - b*, on constate que, tant que la spire bouge, il existe entre ses extrémités une différence de potentiel, c'est-à-dire une tension, comme entre les pôles d'une pile : c'est en cela que consiste le phénomène d'*induction électromagnétique*.

Puisque la spire constitue un circuit ouvert, aucun courant ne peut la parcourir, de même qu'une pile ne peut pas fournir de courant quand son circuit est ouvert.

Si nous nous souvenons que la tension donnée par une pile quand elle ne fournit pas de courant a été appelée force électromotrice (que l'on indique en abrégé par f. e. m.), nous pouvons appeler de la même façon la tension présente entre les extrémités de la spire, puisque, dans ce cas, nous avons aussi une tension sans circulation de courant. Plus précisément, nous disons que *dans la spire il se produit une f. e. m. induite*, ainsi appelée parce qu'elle a été obtenue par induction électromagnétique.

Maintenant, nous nous apercevons que l'induction de la f. e. m. dans

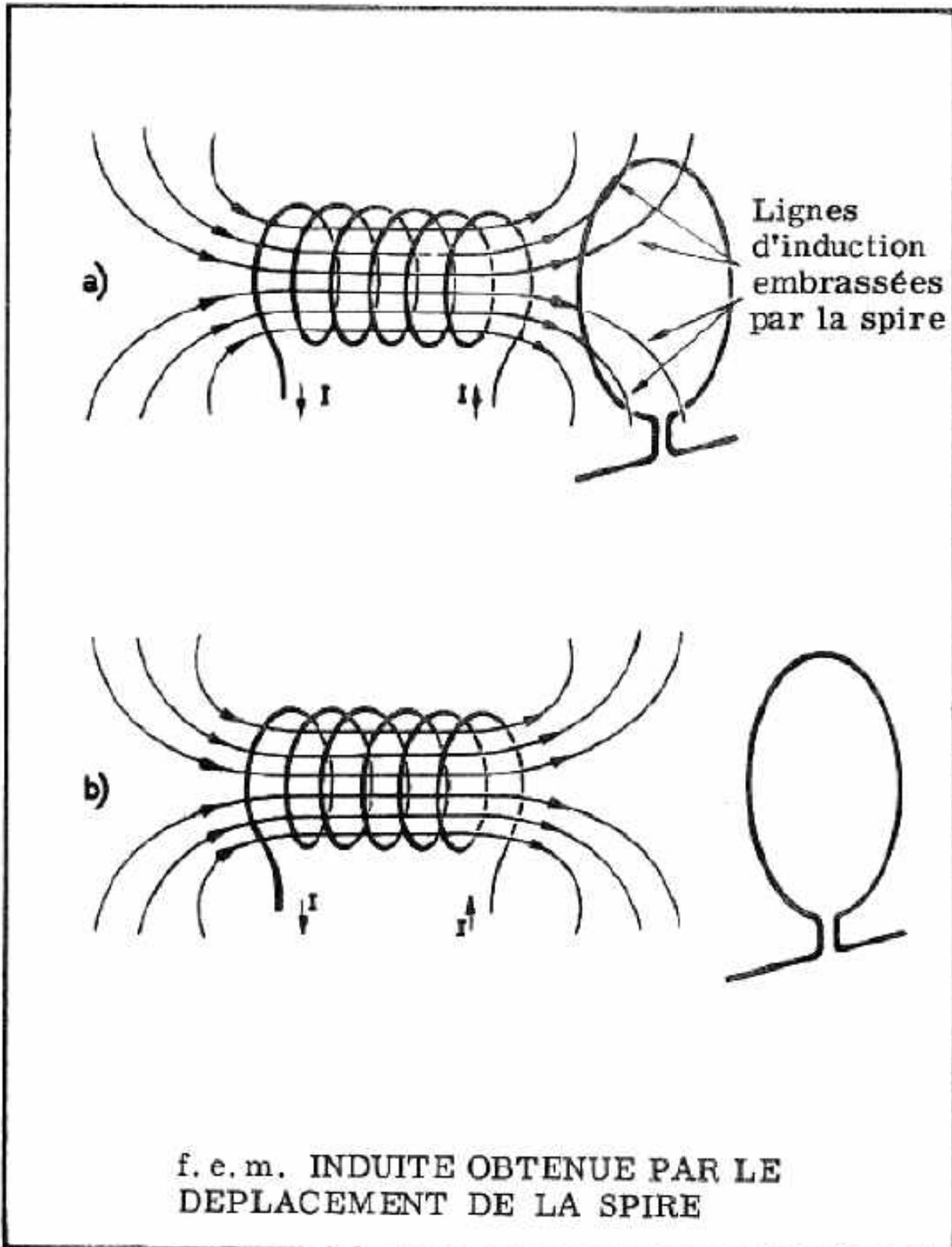


Figure 1

la spire est due non pas au déplacement de la spire, mais au fait que, à cause de ce déplacement, le flux d'induction embrassé par la spire a varié.

En effet, quand la spire se trouve dans la position de la *figure 1 - a*, quelques lignes d'induction (qui constituent une partie du flux produit par l'inducteur) sont embrassées, non seulement par la bobine, mais aussi par la spire.

Quand, au contraire, la spire est placée dans la position de la *figure 1 - b*, il n'y a pratiquement aucune ligne d'induction embrassée par elle : par conséquent le déplacement de la spire a réduit à zéro le flux qu'elle embrasse.

Le fait que la f. e. m. induite soit due à la variation du flux embrassé par la spire, et non au déplacement de celle-ci, est confirmé par l'expérience de la *figure 2*.

Si l'on place la spire dans la position de la *figure 2 - a* et qu'on la porte ensuite dans la position de la *figure 2 - b*, on n'obtient aucune f. e. m. induite dans la spire, car il y a bien un déplacement, mais il n'y a pas variation du flux embrassé. En effet, en étudiant la *figure 2*, on s'aperçoit que, quelle que soit la position que prenne la spire durant le déplacement, tout le flux d'induction produit par la bobine reste toujours embrassé par la spire.

Nous pouvons donc conclure que, *pour induire une f. e. m. dans une spire, il faut faire varier le flux d'induction embrassé par cette spire.*

Dans l'exemple de la *figure 1*, la variation du flux consiste en une diminution, mais on obtiendrait également une f. e. m. induite si cette variation consistait en une augmentation, comme cela se produirait si la spire était portée de la position de la *figure 1 - b* à la position de la *figure 1 - a*.

Après avoir établi que, quelle que soit la variation du flux embrassé par la spire, on obtient dans celle-ci une f. e. m. induite, on comprend pourquoi *n'importe quelle autre façon de faire varier le flux, et non pas seulement celle qui consiste à déplacer la spire, peut produire une f. e. m. induite.*

A cet égard, rappelons-nous que le flux d'induction produit par une bobine dépend du courant qui circule dans ses spires : par conséquent, si l'on fait varier le courant, le flux d'induction varie également, et si ce flux est embrassé entièrement ou en partie par une spire, sa variation entraînera l'induction d'une f. e. m. dans cette même spire.

Ce cas est illustré sur la *figure 3 - a*, où le flux produit par une bobine

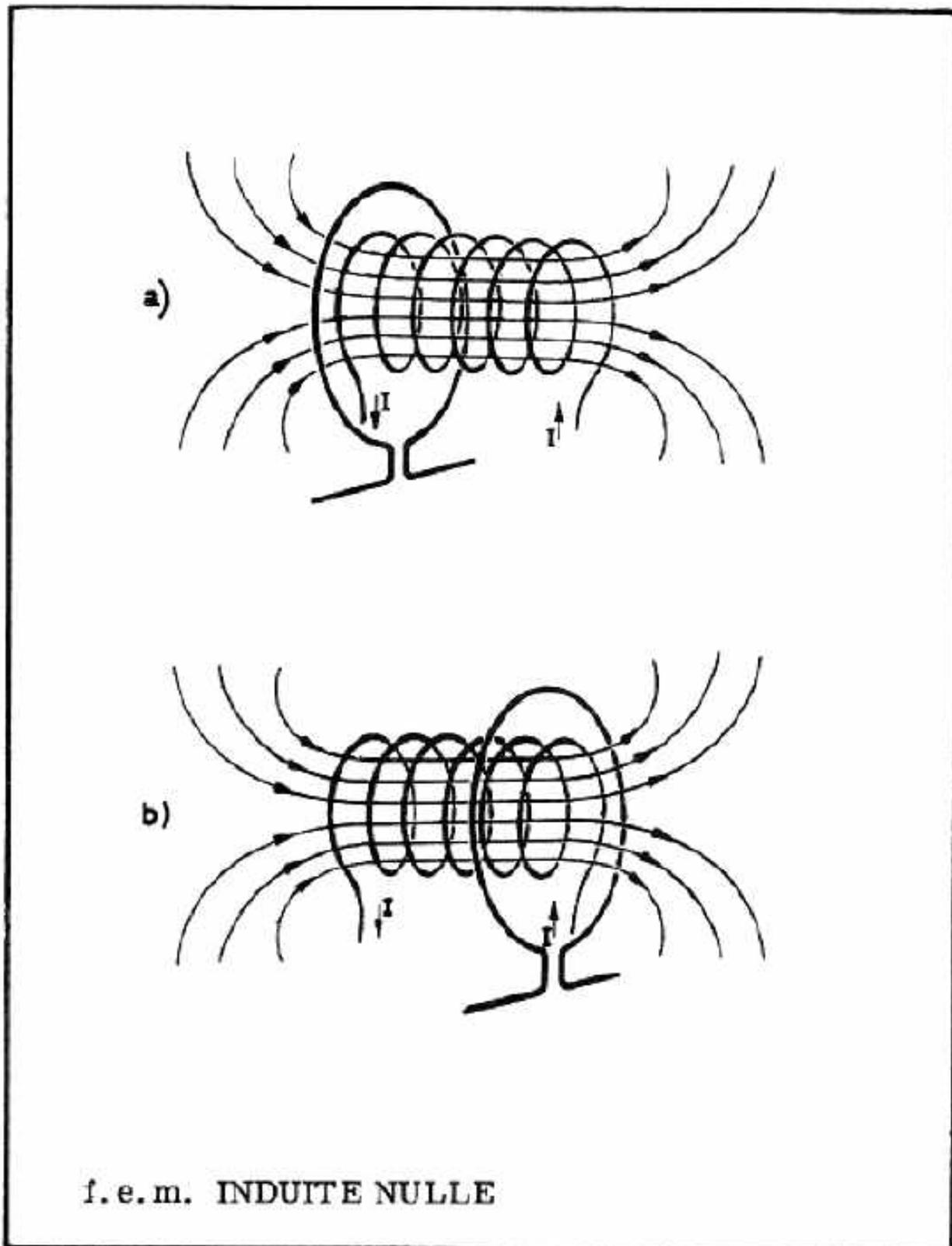


Figure 2

parcourue par le courant est embrassé par les deux spires indiquées par A et par B.

Quand on interrompt le courant qui parcourt la bobine, on annule le flux d'induction produit par cette bobine et embrassé par les deux spires, comme on le voit sur la *figure 3 - b*. Le flux embrassé par les deux spires a donc varié de la même façon que sur la *figure 1*, à cause du déplacement de la spire, et dans ce cas on obtient donc aussi une f. e. m. induite dans les deux spires.

Le même phénomène se produit non seulement quand on interrompt le courant, et donc quand le flux diminue en passant d'une valeur déterminée à la valeur zéro, mais aussi quand on envoie le courant dans les spires de la bobine, car le flux varie évidemment, dans ce cas, en passant de la valeur zéro à une valeur déterminée.

En conclusion, nous voyons qu'on peut faire varier le flux embrassé par une spire de deux façons : en déplaçant la spire, ou bien en faisant varier le courant qui produit le flux.

Pour le moment, seule la variation du flux due à la variation du courant nous intéresse, car ce cas se produit dans de nombreux circuits électroniques. Dorénavant nous nous limiterons donc à l'étude des f.e.m. obtenues par la variation du courant.

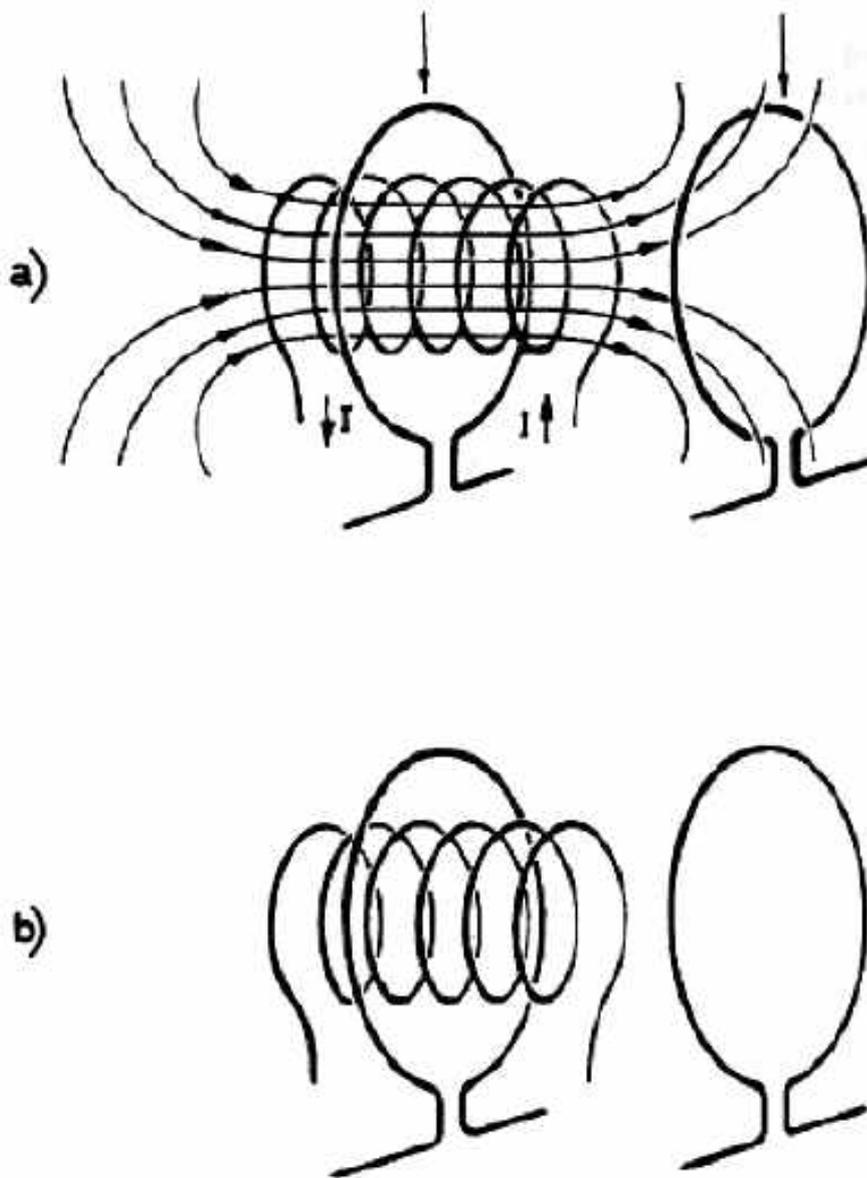
## 1-1- LES LOIS DE L'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

Pour utiliser les phénomènes d'induction, il est nécessaire de savoir de quels facteurs dépend la f. e. m. induite, et en particulier la valeur de cette f. e. m.

Dans ce but, étudions encore la *figure 3 - a* et observons que le flux produit par la bobine est entièrement embrassé par la spire A et en partie seulement par la spire B.

Donc, quand ce flux est annulé par l'interruption du courant, le flux embrassé par la spire A et qui se réduit à zéro est le flux entier produit par la bobine ; tandis que le flux embrassé par la spire B et qui se réduit à zéro, n'est qu'une partie de ce flux : on comprend donc pourquoi la variation du flux embrassé est plus grande pour la spire A que pour la spire B.

Rappelons-nous donc que la valeur de la f. e. m. induite dans une spi-



f.e.m. INDUITE OBTENUE PAR  
L'INTERRUPTION DU COURANT

Figure 3

re dépend de la variation du flux d'induction embrassé par cette spire, et qu'elle est d'autant plus grande que la variation est plus grande.

Nous nous apercevons maintenant que, de même que la *f. e. m.* est due à la variation du flux embrassé, de même dans une spire, il doit exister une *f. e. m.* induite pendant tout le temps durant lequel se produit cette variation.

Jusqu'à maintenant on a supposé que le flux produit par la bobine s'annulait quand on interrompait le courant, ce que l'on peut obtenir en coupant la liaison entre l'inducteur et la pile qui lui fournit le courant : de cette façon le flux varie très rapidement et il y a donc une *f. e. m.* induite, mais seulement pendant un temps très court.

Mais on peut faire varier le flux plus lentement, en reliant en série avec la pile un *RHEOSTAT*, c'est-à-dire une "résistance" qui, comme on le voit sur la *figure 4*, est muni d'un contact à coulisse appelé *curseur* permettant d'insérer dans le circuit une partie plus ou moins grande de sa résistance, et de faire varier en conséquence le courant que la pile fait circuler dans la bobine.

Quand le curseur est en contact avec le point A, comme sur la *figure 4 - a*, le courant ne traverse pas le rhéostat, et son intensité est donc maximum ; la bobine produit donc le flux d'induction maximum embrassé par la spire placée en face.

Quand, au contraire, le curseur est déplacé et posé entre les points A et B, comme sur la *figure 4 - b*, le courant doit traverser la longueur du rhéostat comprise entre le point A et le curseur et, par conséquent, son intensité est réduite, conformément à la loi d'Ohm. Le flux produit par la bobine et embrassé par la spire diminue également, ce que l'on a indiqué sur la *figure 4 - b* en dessinant moins de lignes d'induction.

Quand on met le curseur en contact avec le point B, comme sur la *figure 4 - c*, le rhéostat entier est inséré dans le circuit. Sur cette figure on n'a pas dessiné les lignes d'induction car on considère que le flux d'induction est annulé, si le rhéostat possède une résistance assez grande pour empêcher tout à fait la circulation du courant.

Nous voyons donc que, en déplaçant de A à B le curseur du rhéostat, le courant et le flux d'induction peuvent varier de la valeur maximum jusqu'à zéro.

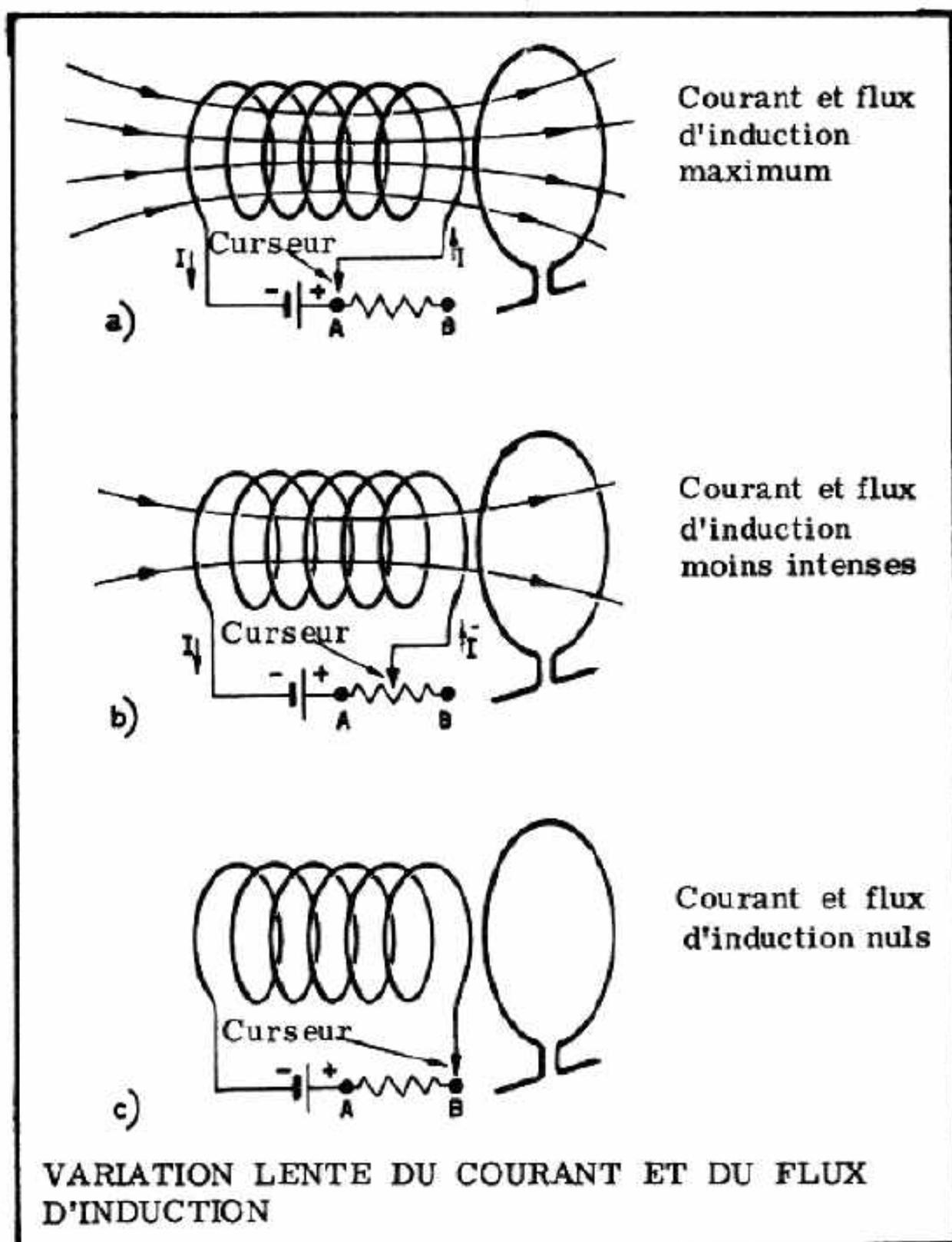


Figure 4

Supposons d'abord que l'on déplace le curseur entre ces deux points en une seconde et que, durant tout le temps pendant lequel le flux s'annule graduellement, la f. e. m. induite dans la spire ait la valeur de 2 V.

Supposons ensuite que l'on ramène le curseur en A et qu'on le déplace de nouveau jusqu'en B, mais en dix secondes cette fois.

De cette façon, tandis que, dans le premier cas, nous avons déterminé en une seconde la variation du flux entier, qui s'est annulé complètement, maintenant, dans le même temps de une seconde, nous ne déterminons plus que la variation d'un dixième de flux, puisque pour annuler le flux entier il faut dix secondes.

Puisque la variation du flux durant une seconde est maintenant dix fois plus petite que la précédente, la f. e. m. induite dans la spire aura une valeur dix fois plus petite, soit de 0,2 V au lieu de 2 V. Il faut donc noter que la f. e. m. de 0,2 V est induite dans la spire pendant un temps de dix secondes, tandis que la f. e. m. de 2 V n'est induite que pendant un temps de une seconde.

Cet exemple nous permet de déduire que, pour une même variation du flux, la f. e. m. est d'autant plus grande que le temps mis par le flux pour varier est plus petit ; nous voyons donc que la f. e. m. induite dépend non seulement de la variation du flux, mais aussi du temps durant lequel cette variation se produit.

Après ces observations, il est facile de comprendre la loi énoncée par l'allemand *Ernest Neumann* (1798 - 1895) : *la f. e. m. induite dans une spire s'obtient en divisant la variation du flux par le temps durant lequel se produit cette variation.*

Si, à la place d'une seule spire, il y avait un enroulement constitué par plusieurs spires embrassant toutes le même flux, à la variation de ce flux correspondrait la même f. e. m. dans chaque spire. Puisque les spires de l'enroulement sont reliées en série entre elles, les f. e. m. induites dans chacune d'elles s'ajoutent, de même que s'ajoutent les f. e. m. de plusieurs piles reliées en série : *aux extrémités de l'enroulement on obtient donc une f. e. m. égale au produit de la f. e. m. induite dans une spire par le nombre de spires.*

Jusqu'à maintenant nous avons toujours supposé que la f. e. m. était induite dans une spire ouverte, dans laquelle ne peut donc circuler aucun

courant.

Etudions maintenant ce qui se passe quand la spire est reliée, par exemple, à un rhéostat, de manière à obtenir un circuit fermé : évidemment la f. e. m. induite dans la spire fera circuler dans ce circuit un courant qu'on appelle *COURANT INDUIT*.

Nous nous proposons maintenant de trouver le sens de circulation du courant induit.

Dans ce but nous pourrions nous servir de la *loi de Lenz*, ainsi appelée parce qu'elle fut énoncée par le physicien russe *Emile Lenz* (1804 - 1865). Selon cette loi, *le courant induit a un sens de circulation tel qu'il s'oppose à la cause qui l'a engendré.*

Pour trouver le sens de circulation du courant induit, nous devons donc chercher avant tout quelle est la cause qui l'a engendré, puis étudier comment ce courant peut s'opposer à cette cause.

Pour fixer les idées, référons-nous à l'exemple de la *figure 5*, où le flux d'induction est produit par une seule spire alimentée par une pile reliée en série avec un rhéostat, afin de pouvoir faire varier le courant comme on l'a déjà vu sur la *figure 4*. Puisque ce circuit a pour but de produire le flux d'induction, il est appelé *CIRCUIT INDUCTEUR*.

Une deuxième spire reliée à une résistance constitue au contraire le *CIRCUIT INDUIT*, car dans ce circuit la f. e. m. est induite et un courant induit circule.

Etudions d'abord le cas de la *figure 5 - a*, où le courant qui parcourt le circuit inducteur, que nous indiquons par  $I_1$ , diminue quand on déplace le curseur du rhéostat de A vers B pour augmenter la résistance du circuit.

Nous savons que, par suite de la diminution du courant  $I_1$ , le flux diminue : et puisque ce flux est également embrassé par le circuit induit, sa diminution induit dans ce dernier une f. e. m. qui fait circuler le courant induit indiqué en  $I_2$ .

En ce qui concerne le circuit induit, la cause qui a engendré le courant induit  $I_2$  est donc la diminution du flux embrassé par sa spire. C'est pourquoi, pour s'opposer à cette cause, comme le veut la loi de *Lenz*, le courant induit  $I_2$  doit circuler dans la spire dans un sens qui permette de combattre la diminution du flux embrassé par cette spire.



Pour comprendre comment ceci peut se produire, souvenons-nous que chaque spire parcourue par un courant produit un flux d'induction, et que la spire parcourue par le courant induit  $I_2$  produira donc son propre flux.

Nous voyons donc que, dès que le flux embrassé par la spire du circuit induit commence à diminuer, ce même circuit produit un nouveau flux pour compenser cette diminution.

Pour que ceci soit possible, *le nouveau flux doit avoir ses lignes d'induction dirigées dans le même sens que celles du flux inducteur*, pour le renforcer et en combattre ainsi la diminution.

Sur la *figure 5 - a* ces deux flux sont indiqués : celui produit par le courant  $I_1$  qui circule dans le circuit inducteur est représenté au moyen de lignes d'inductions continues, tandis que celui qui est produit par le courant  $I_2$  qui circule dans le circuit induit est représenté au moyen de lignes d'induction en pointillés pour les distinguer des précédentes ; comme on le voit pour les lignes d'induction de ces deux flux le sens est le même, de la gauche vers la droite.

Souvenons-nous maintenant de ce qu'on a dit dans la leçon précédente, c'est-à-dire que le sens des lignes d'induction dépend du sens de circulation du courant dans les spires.

C'est pourquoi, si les lignes d'induction du circuit inducteur et du circuit induit sont dirigées dans le même sens, cela veut dire que les courants  $I_1$  et  $I_2$  circulent aussi dans le même sens dans ces spires. Nous savons que le courant  $I_1$  est dirigé du pôle positif au pôle négatif de la batterie et qu'il circule donc, dans la spire du circuit inducteur, dans le sens indiqué par les flèches de la *figure 5 - a* ; le courant induit  $I_2$  circulera aussi dans ce sens, comme l'indiquent les flèches dessinées près de la spire du circuit induit.

Nous constatons donc que la loi de *Lenz* nous permet de déterminer le sens de circulation du courant induit.

La *figure 5 - b* nous montre encore comment on utilise cette loi, dans le cas où le courant  $I_1$  augmente par le déplacement du curseur du rhéostat de B vers A qui diminue la résistance du circuit inducteur.

Dans ce cas la cause qui engendre le courant induit  $I_2$  est l'augmentation du flux embrassé par la spire du circuit induit ; pour s'opposer à cette cause, le courant  $I_2$  doit donc circuler dans un sens qui produise un flux opposé à celui de l'induction, pour l'affaiblir et en combattre ainsi l'augmentation.

Comme les lignes d'induction du flux inducteur sont encore dirigées de la gauche vers la droite, comme sur la *figure 5 - b* (lignes continues), les lignes d'induction du flux produit par le courant  $I_2$  devront être dirigées maintenant de la droite vers la gauche, comme sur la *figure 5 - b* (lignes pointillées).

Du moment que les lignes d'induction des deux flux sont dirigées en sens contraire, les courants qui les produisent devront aussi circuler en sens contraire dans les spires respectives.

Comme on connaît, dans ce cas aussi, le sens de circulation du courant  $I_1$ , on peut en déduire immédiatement le sens de circulation du courant induit  $I_2$ , indiqué sur la *figure 5 - b* par les flèches dessinées près de la spire du circuit induit.

Ces exemples nous montrent que *le sens de circulation du courant induit dépend de la façon dont varie le flux embrassé, c'est-à-dire de l'augmentation ou de la diminution de celui-ci.*

### 1 - 3 - INDUCTION MUTUELLE ET AUTO-INDUCTION

Nous observons encore, sur la *figure 5*, que les lignes pointillées qui représentent dans leur ensemble le flux d'induction produit par le courant induit  $I_2$ , sont embrassées non seulement par la spire du circuit induit, mais aussi par la spire du circuit inducteur.

On comprend ainsi pourquoi, à chaque variation du courant induit  $I_2$  et du flux produit par lui, correspond une f. e. m. induite dans la spire du circuit inducteur par laquelle est embrassé ce flux.

Nous voyons donc que, de même que le circuit inducteur peut induire une f. e. m. dans le circuit induit, *de même ce dernier peut induire, à son tour, une autre f. e. m. dans le circuit inducteur.* Puisque les deux circuits agissent mutuellement, c'est-à-dire réciproquement, l'un sur l'autre, ce phénomène prend le nom d'**INDUCTION MUTUELLE**.

Un phénomène analogue se produit non seulement quand il y a deux circuits distincts, c'est-à-dire un circuit inducteur et un circuit induit, comme sur la *figure 5*, mais également quand il n'y a qu'un seul circuit.

Nous pouvons nous assurer de ceci en étudiant de nouveau, pendant un moment, la *figure 3*. A propos de cette figure on a dit que, lorsqu'on interrompait le courant qui parcourt l'inducteur, on annulait le flux embrassé par les spires A et B, et on induisait en elles des f. e. m.

Le flux d'induction est donc embrassé non seulement par les spires A et B, mais aussi par les spires de la bobine-même qui le produit : c'est pour cela que, lorsque ce flux s'annule, une f. e. m. doit également s'induire, comme cela se produit pour les spires A et B.

*La bobine induit donc en elle-même une f. e. m. à chaque variation du flux qu'elle produit, et se comporte donc soit comme un circuit inducteur soit comme un circuit induit. Ce phénomène prend donc le nom d'AUTO-INDUCTION.*

Pour mieux comprendre ce phénomène, étudions ce qui se produit quand on fait varier lentement le courant qui parcourt la bobine ; référons-nous donc, dans ce but, à la *figure 6*, sur laquelle nous voyons une bobine alimentée par une pile avec, en série, l'habituel rhéostat.

Supposons d'abord (*figure 6 - a*) qu'on fasse diminuer le courant qui parcourt l'inducteur (courant qu'on désigne encore par  $I_1$ ) en déplaçant le curseur de A vers B.

En même temps que le courant, le flux produit par l'inducteur diminue et une f. e. m. s'induit donc dans ses spires ; et cette f. e. m. fait circuler à son tour un courant. Ce nouveau courant est appelé *COURANT D'AUTO-INDUCTION*, et on le désigne encore par  $I_2$ .

Comme la loi de *Lenz* est encore applicable dans ce cas, le courant  $I_2$  aura un sens de circulation tel qu'il s'opposera à la cause qui l'a produit, c'est-à-dire à la diminution du flux : le courant  $I_2$  circule donc dans le même sens que le courant  $I_1$ , pour produire un flux conforme à celui qui est produit par ce courant, pour le renforcer et en combattre ainsi la diminution.

Ces deux flux sont indiqués sur la *figure 6 - a*, de la même façon que sur la *figure 5 - a*.

Quand, au contraire, le courant  $I_1$  augmente (*figure 6-b*) par le déplacement du curseur de B vers A, le courant d'auto-induction  $I_2$  qui en résulte circule en sens contraire du courant  $I_1$ , pour produire un flux opposé à celui

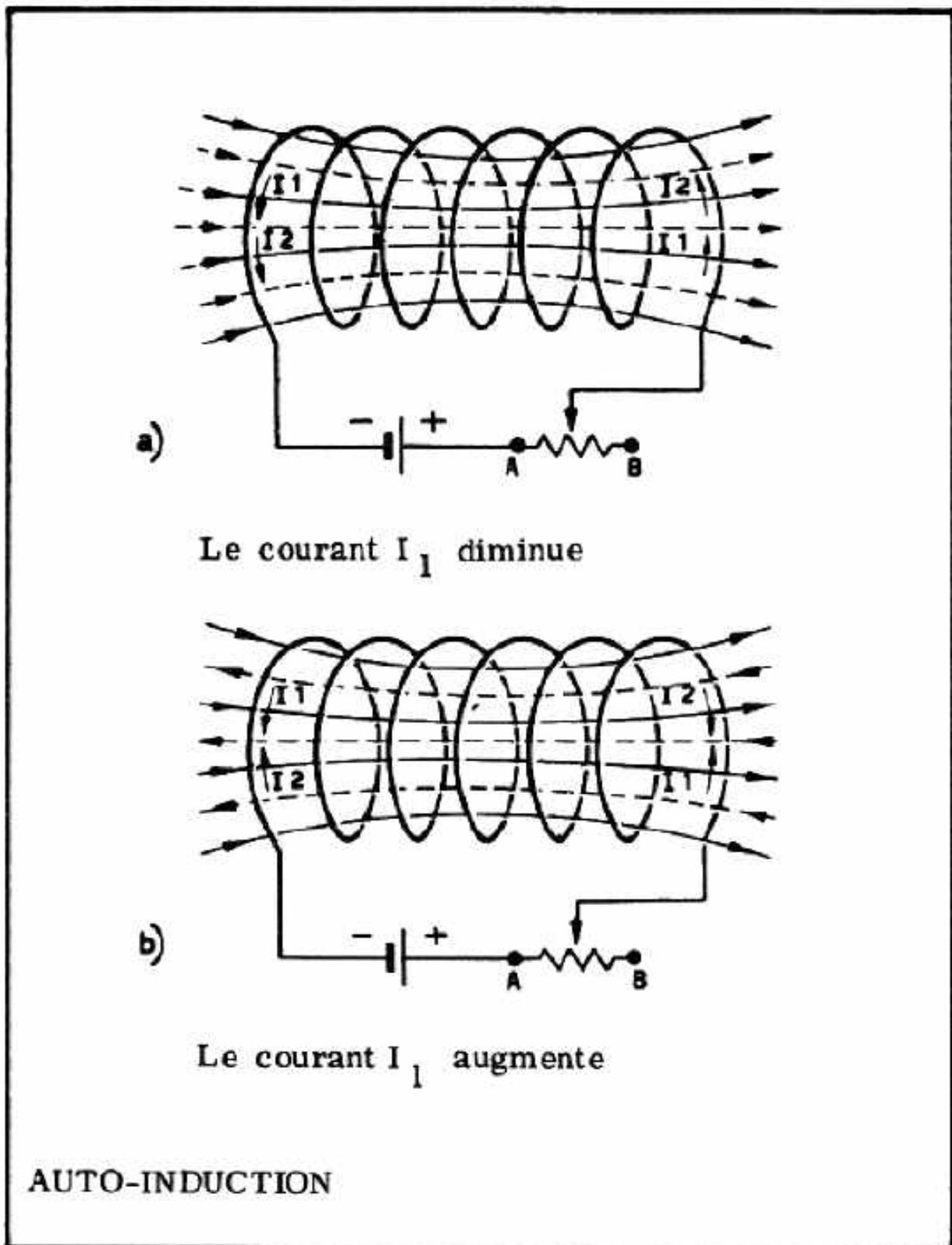


Figure 6

qui est produit par ce courant, de façon à l'affaiblir et à en combattre ainsi l'augmentation.

Nous constatons donc que, dans le cas de l'auto-induction, il se produit ce que nous avons déjà vu sur la *figure 5* pour l'induction mutuelle, avec cette différence que *les courants*, au lieu de circuler dans deux circuits distincts, *sont maintenant superposés dans le même circuit*.

En nous limitant à l'étude de ces circuits, nous pouvons faire l'observation suivante : quand le courant qui parcourt une bobine diminue, celle-ci produit un nouveau courant qui, étant conforme au premier (comme on le voit sur la *figure 6 - a*) tend à en compenser la diminution ; quand, au contraire, le courant qui parcourt une bobine augmente, celle-ci produit un nouveau courant qui, étant opposé au premier (comme on le voit sur la *figure 6 - a*) tend à en combattre l'augmentation.

Nous pouvons dire, en somme, que *la bobine s'oppose dans chaque cas à la variation du courant qui la parcourt*, soit que celui-ci diminue, soit qu'il augmente.

C'est pourquoi, si l'on envoie dans une bobine un courant dont l'intensité subit des variations continues (c'est-à-dire qu'elle augmente d'abord puis diminue, et augmente de nouveau, et ainsi de suite) ce courant rencontrera une opposition permanente à ses variations, de la part de la bobine, et son passage donc sera gêné par cet élément.

On comprend donc que *la bobine peut remplir, dans les circuits radioélectriques, un rôle opposé à celui que remplit un condensateur*. Nous avons déjà vu en effet, dans les leçons précédentes, qu'un condensateur peut empêcher le passage du courant fourni par une pile, c'est-à-dire d'un courant qui a toujours la même intensité ; au contraire, la bobine est apte à gêner le passage d'un courant d'une intensité variant continuellement.

On pourrait objecter que la résistance a aussi la propriété de gêner le passage du courant, mais il faut tenir compte du fait que cet élément fait sentir son effet avec n'importe quel type de courant, soit que son intensité reste toujours constante, soit qu'elle subisse des variations continues.

Au contraire la bobine ne fait sentir son effet qu'avec les courants d'intensité variable, tandis qu'elle laisse passer ceux qui ont toujours la même intensité : elle peut donc servir à séparer ces deux types de courant lorsqu'ils sont superposés dans un même circuit.

En raison de telles applications, il nous faut étudier la bobine d'un autre point de vue, c'est-à-dire non plus comme un élément qui a la propriété de produire un flux d'induction quand il est parcouru par le courant, comme on l'a fait dans la leçon précédente, mais comme un *élément capable de gêner le passage d'un courant d'intensité variant continuellement.*

Nous pouvons donc aussi considérer sous un aspect différent l'inductance qui caractérise chaque bobine, comme on l'a vu dans la leçon précédente.

Nous nous apercevons que la loi de *Neumann* s'applique aussi à l'auto-induction ; dans ce cas on dit que la *f. e. m. d'auto-induction s'obtient en divisant la variation du flux embrassé par la bobine par le temps durant lequel cette variation se produit.*

Dans la leçon précédente, nous avons appris que le flux embrassé par une bobine est donné par le produit de l'inductance de la bobine par le courant qui le parcourt ; dans l'énoncé de la loi de *Neumann*, nous pouvons donc considérer le produit de l'inductance par la variation du courant, plutôt que par la variation du flux.

Nous dirons donc que la *f. e. m. d'auto-induction s'obtient en multipliant l'inductance par la variation du courant et en divisant le produit par le temps durant lequel se produit cette variation.*

Il est donc évident que la *f. e. m. d'auto-induction* dépend aussi de l'inductance de la bobine et plus précisément qu'elle est d'autant plus grande que l'inductance est plus grande.

Comme on a vu précédemment que cette *f. e. m.* produit le courant d'auto-induction qui combat la variation du courant circulant dans la bobine on comprend pourquoi cet élément s'opposera d'autant plus énergiquement à la variation du courant que son inductance sera plus grande.

Nous pouvons donc conclure que *l'inductance indique l'aptitude d'une bobine à s'opposer à la variation du courant qui la parcourt.*

Puisque l'inductance joue un rôle important dans le phénomène de l'auto-induction, elle est aussi appelée *COEFFICIENT D'AUTO-INDUCTION.*

Jusqu'à maintenant, dans la description des phénomènes d'induction et d'auto-induction, on a toujours étudié des bobines sans noyau, mais il est évident que les mêmes phénomènes se produisent également avec des bobi-

nes munies d'un noyau.

Dans ce cas, ces phénomènes sont intenses, car, comme nous l'avons déjà vu dans la leçon précédente, une bobine produit un flux plus intense quand elle est pourvue d'un noyau ferromagnétique ; une variation du flux due à une même variation du courant sera donc plus grande pour une bobine pourvue d'un noyau que pour une bobine sans noyau, et par conséquent produire une f. e. m. induite plus élevée.

Nous reviendrons sur ce sujet dans les prochaines leçons, lorsque nous étudierons les transformateurs.

#### 1 - 4 - ASSOCIATIONS DES BOBINES

Comme les résistances et les condensateurs, les bobines peuvent être reliées entre elles en série ou en parallèle ; bien que pour les bobines ces associations soient peu utilisées, nous devons cependant les examiner pour compléter l'étude de ce sujet.

Avant d'étudier les schémas électriques des circuits comprenant des

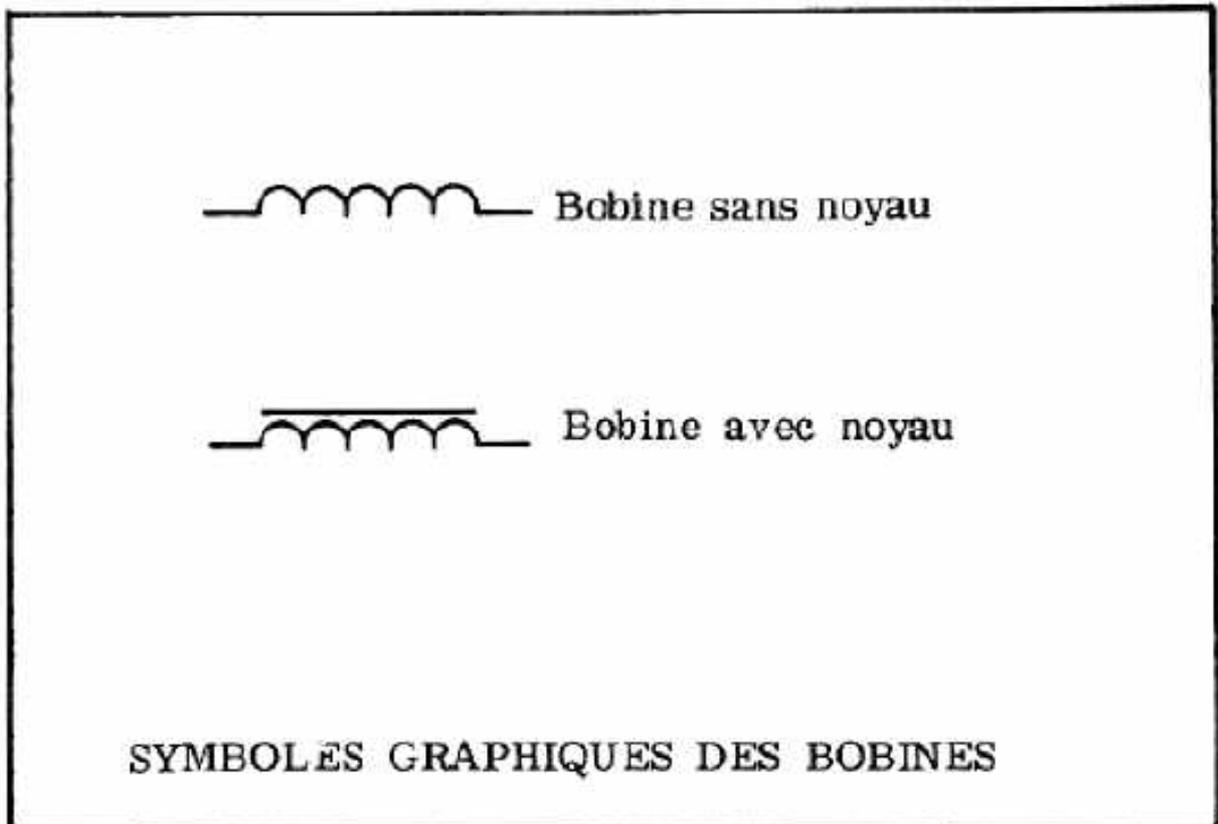


Figure 7

bobines, il nous faut connaître les symboles graphiques utilisés pour représenter ces bobines sur les schémas.

Ces symboles sont représentés sur la *figure 7* pour la bobine avec et sans noyau. Comme on le voit, la présence du noyau est indiquée par un segment de droite tracé sur le symbole graphique de la bobine sans noyau.

Deux bobines sans noyau reliées en série et alimentées par une pile avec un rhéostat sont donc représentées comme sur la *figure 8 - a* ; puisque nous supposons que les deux bobines sont égales et qu'elles ont donc la même inductance, cette inductance est indiquée pour les deux par la lettre  $L$ .

Nous observons avant tout que, comme cela se produit toujours dans les associations en série, les deux bobines sont parcourues par le même courant : aussi, quand ce courant varie, il varie de la même façon pour les deux bobines, en produisant une f. e. m. d'auto-induction aux extrémités de chaque bobine.

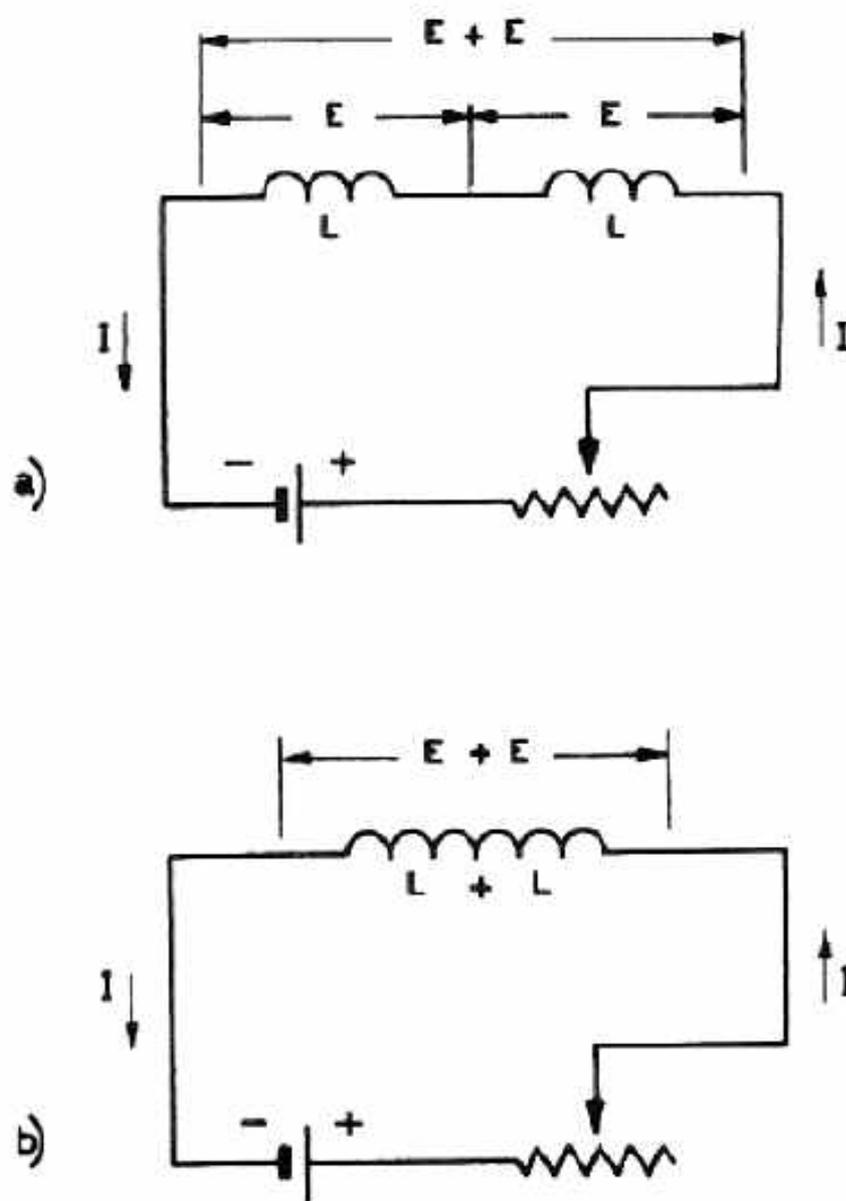
Puisque les deux bobines ont la même inductance et que le courant varie de la même façon pour les deux, on obtient aux extrémités de chacune d'elles une même f. e. m., qui est indiquée sur la *figure 8 - a* par la lettre  $E$  pour les deux bobines.

Du moment que les bobines sont reliées en série, les f. e. m. qui se produisent aux extrémités de chacune d'elles s'ajoutent : on obtient donc aux extrémités des deux bobines en série une f. e. m. qui, sur la *figure 8 - a*, a été représentée par la somme  $E + E$ .

Déterminons maintenant l'inductance totale du circuit, c'est-à-dire cherchons quelle inductance devrait avoir une seule bobine pour pouvoir remplacer les deux bobines reliées en série, comme on le voit sur la *figure 8 - b*, sans que l'inductance totale du circuit ne change.

Pour que cela se vérifie il faut que, pour la même variation du courant que celle étudiée dans le cas de la *figure 8 - a*, il se produise aux extrémités de la bobine unique de la *figure 8 - b* une f. e. m.  $E + E$  égale à celle obtenue aux extrémités des deux bobines en série.

Souvenons-nous de tout ce qui a été dit précédemment : c'est-à-dire que la f. e. m. d'auto-induction produite par une bobine est d'autant plus grande que son inductance est plus grande.



ASSOCIATION EN SERIE DE DEUX BOBINES EGALES

Figure 8

Ceci a pour conséquence que, si chaque bobine de la *figure 8 - a* produit une f. e. m.  $E$  qui a une inductance  $L$ , la bobine unique de la *figure 8 - b* pour produire une f. e. m. égale à la somme  $E + E$  de chaque f. e. m., devra avoir une inductance elle aussi égale à la somme  $L + L$  de chaque inductance comme c'est indiqué sur la *figure 8 - b*. En conclusion, la bobine unique doit avoir une inductance égale à la somme des inductances des deux bobines en série.

Cette conclusion est valable dans n'importe quel cas, même quand les bobines en série ne sont pas égales, ou quand elles sont plus de deux. Nous pouvons donc affirmer que *l'inductance totale présentée par deux ou plusieurs bobines reliées en série s'obtient en faisant la somme des inductances de chaque bobine.*

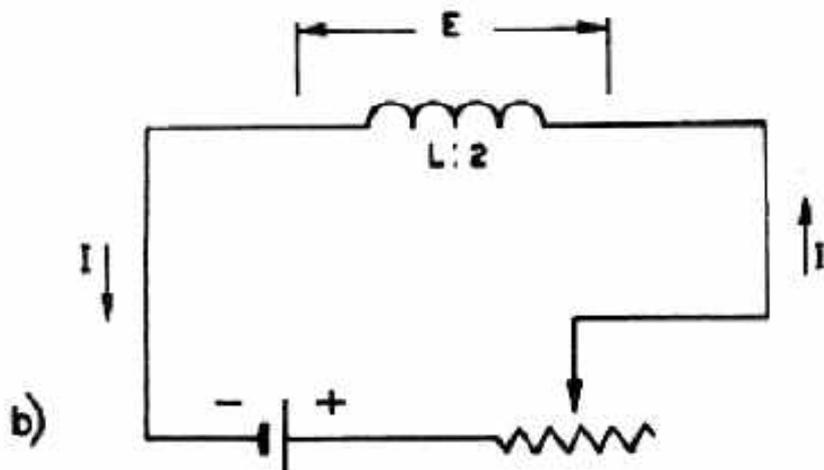
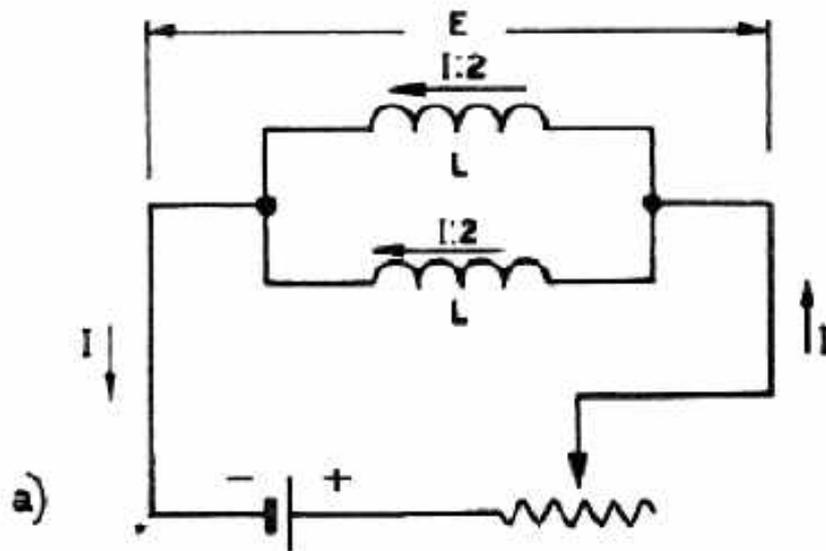
Nous pouvons maintenant étudier l'association en parallèle de deux bobines : le schéma du circuit est reporté sur la *figure 9 - a*, où l'inductance est indiquée par  $L$  pour les deux bobines, puisque nous les supposons encore identiques.

A cause de cette identité, le courant  $I$  fourni par la pile se divise en parties égales entre les deux bobines, la moitié passant dans une bobine et l'autre moitié dans l'autre ; ce fait a été indiqué sur la *figure 9 - a* en désignant les courants dans les bobines par  $I : 2$ , pour rappeler que chacun de ces deux courants est égal au courant  $I$  divisé par deux, c'est-à-dire à la moitié du courant  $I$ .

Les variations de ce courant se divisent aussi en parties égales entre les deux bobines, en effet, si nous augmentions le courant  $I$ , par exemple, de  $2A$ , une moitié de ce courant supplémentaire passerait dans une bobine et l'autre moitié dans l'autre, et le courant augmenterait donc dans chaque bobine de  $1 A$  seulement.

Nous voyons ainsi que, dans chaque bobine, il n'y a que la moitié de la variation du courant  $I$  fourni par la pile qui arrive.

Par suite de cette variation du courant, chaque bobine produit à ses extrémités une f. e. m. indiquée par  $E$  sur la *figure 9 - a*; ces deux f. e. m. sont égales, car comme il y a deux bobines reliées en parallèle, il doit y avoir la même tension à leurs extrémités ; c'est en effet la caractéristique qui distingue les associations en parallèle, comme nous l'avons déjà vu dans les leçons précédentes.



ASSOCIATION EN PARALLELE DE DEUX BOBINES  
EGALES

Figure 9

Si nous voulons maintenant déterminer l'inductance complète du circuit, c'est-à-dire trouver la bobine unique qui puisse remplacer les deux reliées en parallèle, comme sur la *figure 9 - b*, il faudrait que, dans ce cas aussi, cette bobine produise à ses extrémités la même f. e. m. E, quand le courant qui la traverse varie de la même façon que le courant I fourni par la pile au circuit de la *figure 9 - a*.

Nous voyons que, dans le circuit de la *figure 9 - b*, tout le courant I traverse la bobine unique, dans laquelle on aura donc la variation entière de ce courant au lieu de la moitié seulement, comme cela se produit au contraire pour chaque bobine du circuit de la *figure 9 - a*.

Ceci a pour conséquence que, si dans la bobine de la *figure 9 - b* la variation du courant est double, cette bobine, pour produire la même f. e. m. E que celle obtenue aux extrémités de deux bobines en parallèle, devra avoir une inductance égale à la moitié de celles-ci, comme c'est indiqué sur la figure par  $L : 2$ .

Puisque la bobine unique doit avoir une inductance égale à la moitié de l'inductance des deux bobines reliées en parallèle, nous pouvons conclure que *l'inductance totale de deux bobines égales reliées en parallèle s'obtient en divisant par deux leur inductance*.

A la différence de ce qui se produit dans le cas des deux bobines en série, cette conclusion n'est plus valable quand les bobines sont plus de deux ou quand elles ont des inductances différentes.

Nous observons que le résultat auquel nous arrivons est le même que celui que nous avons déjà obtenu, dans une leçon précédente, pour deux condensateurs de capacité égale et reliés en série : dans ce cas aussi, en effet la capacité totale des deux condensateurs s'obtient en divisant par deux leur capacité.

Si nous procédions comme nous l'avons déjà fait pour les condensateurs en série, nous trouverions comment on peut déterminer l'inductance totale de deux ou plusieurs bobines différentes reliées en parallèle. Puisque le procédé est le même, nous ne le recommencerons pas, mais nous appliquerons au cas des bobines les résultats obtenus pour les condensateurs.

Nous dirons donc que *l'inductance totale de deux bobines d'inductance différente reliées en parallèle s'obtient en multipliant leurs inductances et en divisant ce produit par leur somme*.

Quand il y a plus de deux bobines en parallèle, on applique cette règle successivement à deux bobines chaque fois, comme on l'a déjà vu à propos des condensateurs en série.

Souvenons-nous enfin que si *les bobines en parallèle ont toutes la même inductance, l'inductance totale s'obtient en divisant leur inductance par le nombre des inducteurs.*

Il est donc important de se souvenir que les règles obtenues, soit pour les bobines en série, soit pour les bobines en parallèle, ne sont applicables que lorsque le flux d'induction de chaque bobine n'est pas embrassé par les autres bobines reliées à elle ; dans ce cas en effet, on constaterait le phénomène de l'induction mutuelle et les différentes bobines s'influenceraient mutuellement.

Dans la pratique, on ne trouve pas le flux embrassé par les différentes bobines dans le seul cas où chacune de celles-ci est pourvue d'un noyau fermé, dans lequel passent donc exclusivement les lignes d'induction de son flux ; quand, au contraire les lignes d'induction passent aussi dans l'air, le flux peut être embrassé facilement par les différentes bobines, à moins que celles-ci ne soient très éloignées entre elles.

## 2 - LA BOBINE ET L'ENERGIE ELECTRIQUE

Si nous considérons enfin la bobine du point de vue de l'énergie électrique, nous devons avant tout nous demander si la bobine est un élément dissipateur d'énergie, comme la résistance, ou bien si c'est un élément conservateur, comme le condensateur.

Pour répondre à cette question, il faut étudier le phénomène de l'induction mutuelle, qui facilitera notre tâche car il se produit entre deux circuits différents.

Si nous nous référons encore à la *figure 5*, nous observons que, puisque le courant induit  $I_2$  traverse la résistance insérée au circuit induit, il se dissipera dans celui-ci une puissance électrique égale au produit de la résistance par le carré du courant.

Mais cette puissance ne peut pas être produite directement dans le circuit induit, car dans celui-ci il n'y a pas de générateur.

Le seul générateur que nous voyons est la pile insérée dans le circuit inducteur, qui n'est pas reliée électriquement au circuit induit ; le seul élément que ces deux circuits ont en commun est le flux d'induction embrassé par leurs spires.

Nous devons donc retenir que la puissance électrique fournie par la pile au circuit n'est pas totalement dissipée dans ce circuit, mais est utilisée au moins en partie pour produire le flux d'induction, et être de là retransformée en puissance électrique par le circuit induit.

Nous pouvons donc conclure que *la bobine est un élément conservateur de l'énergie, comme le condensateur.*

Pour avoir une analogie plus étroite avec le condensateur il faut aussi étudier pour la bobine le champ magnétique aussi bien que le flux d'induction.

Ainsi nous pouvons dire que, de même que le condensateur emmagasine l'énergie électrique en créant un champ électrique entre ses armatures, de même *la bobine emmagasine l'énergie électrique en créant un champ magnétique autour de ses spires.*

Nous nous souvenons que, pour créer un champ électrique entre les armatures d'un condensateur, il faut leur appliquer une tension, tandis que pour créer un champ magnétique autour des spires d'une bobine il faut leur envoyer un courant.

La tension est donc nécessaire pour obtenir un champ électrique, tandis que le courant est nécessaire pour obtenir un champ magnétique.

Nous avons vu d'autre part que l'énergie emmagasinée dans le champ électrique d'un condensateur est proportionnelle au carré de la tension, et non pas seulement de la capacité de ce condensateur ; plus précisément on obtient cette énergie en multipliant la capacité par le carré de la tension et en divisant par deux le produit obtenu.

A la suite de ces analogies nous pouvons dire que, dans le cas de la bobine, l'énergie emmagasinée dans son champ magnétique devra dépendre du carré du courant, et non pas seulement de l'inductance de la bobine : donc, dans ce cas aussi, *l'énergie emmagasinée par une bobine s'obtient en multipliant l'inductance par le carré du courant et en divisant par deux le*

*produit obtenu.*

D'une façon analogue à tout ce que nous avons déjà vu dans le cas du condensateur, l'énergie emmagasinée dans le champ magnétique de la bobine ne correspond qu'à la moitié de celle que le générateur a fournie pour créer le champ magnétique : l'autre moitié a été dissipée dans la résistance intérieure du générateur.

Nous constatons que, dans le cas du condensateur, le générateur ne fournit le courant qu'au moment de la charge, après quoi toute circulation de courant cesse, et avec elle également la dissipation qu'elle entraîne. Dans le cas de la bobine, au contraire, le courant doit circuler continuellement, car le champ magnétique vient de lui, et l'on a donc continuellement une dissipation d'énergie causée par ce courant.

Cette observation nous permet de mieux comprendre pourquoi, *pour emmagasiner de l'énergie dans le champ magnétique d'une bobine, on doit dépenser une énergie plus grande que pour emmagasiner la même énergie dans le champ électrique d'un condensateur.*

Notons enfin que la bobine, en s'opposant à la variation du courant qui la parcourt, s'oppose aussi à la variation de son énergie emmagasinée, qui dépend justement du carré de ce courant.

Donc, du point de vue de l'énergie également, la bobine fait sentir son effet quand le courant varie, et avec lui l'énergie emmagasinée dans son champ.

Cet élément trouvera un emploi dans les circuits parcourus par un courant d'une intensité variable ; dans la prochaine leçon nous ne nous occuperons que de ce type de courant, que nous rencontrerons dans tous les circuits électroniques.



## NOTIONS A RETENIR

- La valeur de la f.e.m. induite dans une spire, dépend de la variation du FLUX D'INDUCTION embrassé par cette spire et elle est d'autant plus grande que la variation est grande.
- La f.e.m. induite dans une spire, s'obtient en divisant la variation du flux, par le temps durant lequel se produit cette variation. Cette définition peut s'exprimer plus simplement à l'aide de la formule :

$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{avec}$$

$E$  = f.e.m induite en Volt

$\Delta\phi$  = variation de flux (le signe  $\Delta$  signifie : variation) en Wb (weber).

$\Delta t$  = variation de temps en seconde

EXEMPLE :  $\Delta\phi = 0,3 \text{ Wb}$        $\Delta t = 0,03 \text{ s}$

$$E = 3 / 0,03 = 10 \text{ Volts}$$

Si à la place d'une seule spire, il s'agit d'un enroulement constitué par plusieurs spires, la f.e.m. est égale à celle produite dans une spire, multipliée par le nombre de spires.

On a ainsi :  $E = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \times \text{nombre de spires}$

IL EST IMPORTANT DE RETENIR QUE LA F.E.M. EST D'AUTANT PLUS GRANDE, QUE LE TEMPS MIS PAR LE FLUX POUR VARIER ( $\Delta t$ ) EST PETIT.

- La Loi de LENZ indique que le courant induit a un SENS DE CIRCULATION TEL, QU'IL S'OPPOSE A LA CAUSE QUI L'A ENGENDRE. C'est en fait, un cas particulier de la LOI DE LA CONSERVATION DE L'ENERGIE.

En effet, si le flux embrassé par la spire du circuit induit tend à diminuer, ce même circuit produit un nouveau flux tendant à compenser cette diminution, c'est-à-dire à s'y opposer.

Inversement, si le flux embrassé par la spire du circuit produit un nouveau flux, tendant à compenser cette augmentation, c'est-à-dire encore à s'y opposer.

**CETTE LOI EST PARTICULIEREMENT IMPORTANTE. Elle permet entre autre d'expliquer l'existence des étincelles qui se produisent entre les contacts des interrupteurs, lorsque l'on COUPE LE COURANT.**

Dans ce cas en effet, le courant qui disparaît produit une DIMINUTION de flux à travers les fils électriques (qui présentent une Inductance). Cette variation de flux développe une f.e.m., qui donne naissance à un courant dont le flux s'oppose à la diminution. La variation de flux ETANT TRES RAPIDE, la f.e.m, peut être considérable et elle donne naissance à un EXTRA-COURANT DE RUPTURE qui se ferme par une étincelle.

Ce phénomène est assez anodin dans le cas d'une installation électrique ordinaire, dont les fils ne présentent qu'une faible inductance. Par contre dans le cas d'un circuit comportant un bobinage (on dit un circuit selfique), la f.e.m. peut prendre une valeur très élevée et de ce fait il est nécessaire de prévoir une protection contre l'étincelle provenant de l'extra-courant de rupture.

Une protection simple, consiste par exemple à insérer un condensateur entre les contacts de l'interrupteur. L'extra-courant de rupture se ferme alors par l'intermédiaire de ce composant, qui supprime ainsi l'étincelle qui à la longue peut endommager les contacts.



**EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 7**

- 1 - Comment peut-on induire une f. e. m. dans une spire ?
- 2 - La valeur de la f. e. m. induite ne dépend-elle que de la variation du flux embrassé ?
- 3 - Quel est l'énoncé de la loi de *Lenz* ?
- 4 - Quelle est la différence entre les phénomènes d'induction mutuelle et d'auto-induction ?
- 5 - Quel est l'énoncé de la loi de *Neumann* dans le cas de la bobine ?
- 6 - Comment obtient-on l'inductance totale présentée par deux ou plusieurs bobines reliées en série ?
- 7 - Comment obtient-on l'inductance totale présentée par deux bobines d'inductance différente et reliées en parallèle ?
- 8 - Comment calcule-t-on l'énergie électrique emmagasinée par une bobine ?



**REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 6.**

- 1 - La loi relative aux forces qui s'exercent entre deux pôles magnétiques s'énonce ainsi : deux pôles de même nom se repoussent, tandis que deux pôles de nom contraire s'attirent.
- 2 - L'effet magnétique du courant électrique consiste dans la production d'un champ magnétique autour des conducteurs traversés par ce courant.
- 3 - La tension magnétique se calcule en multipliant le nombre de spires par le courant qui les traverse.
- 4 - Le flux d'induction est constitué par l'ensemble des lignes d'induction.
- 5 - On calcule l'inductance d'une bobine en divisant le flux embrassé par les spires par le courant qui les parcourt.
- 6 - Pour tenir compte de l'influence que la matière posée dans l'intérieur de la bobine a sur l'inductance, on étudie la perméabilité magnétique absolue de cette matière.
- 7 - La perméabilité relative à l'air d'une matière ferromagnétique indique de combien de fois augmente l'inductance d'une bobine, quand celle-ci est munie d'un noyau de cette matière dans lequel se forme le flux d'induction entier.
- 8 - L'inductance d'une bobine sans noyau se calcule 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.

