

THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

COURANT ALTERNATIF

Comme nous vous l'avons dit au terme de la leçon précédente, nous allons nous occuper d'un nouveau type de courant, différent de celui que nous avons étudié jusqu'à présent.

Dans les leçons précédentes, en effet, nous avons toujours étudié les circuits parcourus par le courant fourni par une ou plusieurs piles, courant que l'on appelle *COURANT CONTINU*, parce qu'il a toujours le même sens de circulation et la même intensité.

On le voit très bien sur la *figure 1 - a*, qui représente le schéma d'un circuit électrique comprenant une résistance alimentée par une pile.

Evidemment, le courant qui circule dans ce circuit est toujours dirigé selon le sens conventionnel, du pôle positif au pôle négatif de la pile ; il entre donc dans la résistance par l'extrémité marquée A et en sort par l'extrémité marquée B.

Il est également évident que, puisque la tension de la pile comme la résistance ont constamment la même valeur, l'intensité du courant reste toujours la même, conformément à la loi d'Ohm.

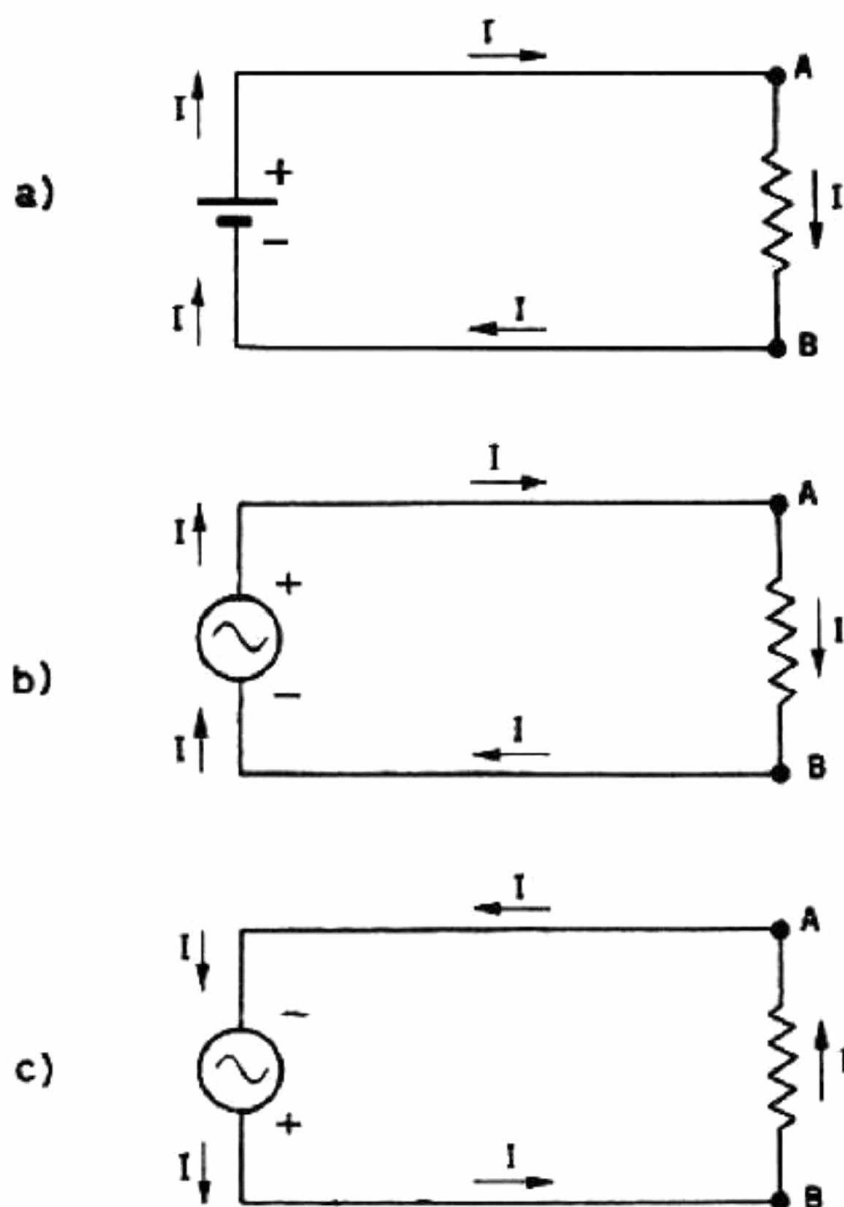
Puisque la tension de la pile a constamment la même valeur, on l'appelle *TENSION CONTINUE*.

La pile est donc un *générateur qui fournit une tension continue et fait circuler un courant continu*.

Il existe par contre d'autres types de générateurs qui fournissent un courant appelé *COURANT ALTERNATIF* à cause de ses caractéristiques.

Pour comprendre la différence qu'il y a entre ce courant et le courant continu, référons-nous d'abord à la *figure 1 - b*, sur laquelle on a reporté le même circuit que celui de la *figure 1 - a* ; il est alimenté par un générateur à courant alternatif dont le symbole graphique remplace celui qu'on utilisait pour représenter la pile.

Nous notons avant tout que les polarités du générateur à courant alternatif, indiquées par les signes + et —, sont les mêmes que celles de la pile



CIRCUITS ALIMENTES EN COURANT CONTINU ET
EN COURANT ALTERNATIF

Figure 1

étudiée précédemment. Par conséquent, dans ce cas aussi, le courant fourni par le générateur circule dans le même sens que celui que nous avons vu pour le courant continu et traverse la résistance de A vers B.

Mais, le courant ne circule dans ce sens que pendant un temps très court car, après ce temps, le générateur échange ses polarités, comme sur la *figure 1 - c* : le pôle du générateur qui était positif est devenu négatif, tandis que le pôle qui était négatif est devenu positif.

Puisque le courant doit toujours être dirigé du pôle positif au pôle négatif du générateur, il circulera maintenant dans le sens opposé au précédent, comme l'indiquent les flèches de la *figure 1 - c*, et traversera donc la résistance de B vers A au lieu de A vers B.

Mais le courant ne circule dans ce nouveau sens que pendant un temps très court, égal au précédent, après quoi il circule de nouveau dans le sens indiqué par la *figure 1 - b*, pour reprendre ensuite à nouveau le sens de la *figure 1 - c* et ainsi de suite.

En somme, le courant change plusieurs fois de suite son sens de circulation, et il parcourt la résistance alternativement de A vers B et de B vers A, par périodes de temps très courtes et égales entre elles ; c'est parce que le courant obtenu circule dans un sens, puis dans le sens contraire qu'on l'appelle "alternatif".

Le courant alternatif présente aussi une autre différence par rapport au courant continu : *son intensité varie continuellement.*

Quand le courant alternatif circule dans le sens indiqué par la *figure 1 - b*, son intensité augmente de zéro jusqu'à une valeur déterminée, pour diminuer ensuite de nouveau jusqu'à zéro.

Au moment où l'intensité du courant est nulle, et où il ne circule aucun courant dans le circuit, le générateur échange ses polarités et, quand le courant reprend sa circulation dans le sens indiqué par la *figure 1 - c*, son intensité augmente de nouveau jusqu'à la même valeur que la précédente pour redescendre ensuite à zéro.

Là, il se produit un nouveau changement des polarités du générateur et le même mouvement que celui que nous venons de décrire recommence, et se répète pendant tout le temps de fonctionnement du circuit.

Du moment que la résistance du circuit ne varie pas, les variations de l'intensité du courant sont dues à des variations analogues de la valeur de la

tension fournie par le générateur : cette tension a donc les mêmes caractéristiques que le courant, et elle est donc appelée *TENSION ALTERNATIVE*.

Nous pouvons donc conclure qu'il y a deux types fondamentaux de courants, le courant continu et le courant alternatif, que l'on distingue en les indiquant en abrégé par les symboles CC (courant continu) et CA (courant alternatif).

Il faut savoir, enfin, que le courant alternatif est beaucoup plus répandu que le courant continu. Le courant que l'on utilise dans les habitations et les usines est le courant alternatif ; il est produit grâce à des générateurs, appelés *ALTERNATEURS*, installés dans les centrales électriques.

1 - PRODUCTION DU COURANT ALTERNATIF

Pour comprendre comment le courant alternatif peut continuellement changer son sens de circulation et faire varier son intensité, comme on l'a décrit précédemment, il faut étudier le principe de fonctionnement d'un générateur à courant alternatif.

Ce type de générateur utilise le phénomène de l'*induction électromagnétique*, que nous avons étudié dans la leçon précédente : le générateur comprend donc un circuit inducteur, alimenté par du courant continu pour produire le flux d'induction nécessaire, et un circuit induit, dans lequel est justement induit le courant alternatif que l'on désire obtenir.

Sur la *figure 2* ces deux circuits sont représentés d'une façon très simplifiée. Le circuit inducteur est formé de deux enroulements reliés en série et alimentés au moyen d'une pile ; entre les deux enroulements du circuit inducteur il n'y a que la spire du circuit induit dont les extrémités, qui constituent les pôles du générateur, sont reliées à une résistance représentant le circuit extérieur au générateur.

Avec cette disposition, les lignes d'induction du flux produit par le circuit inducteur sont embrassées par la spire du circuit induit, comme sur la *figure 2*.

La variation du flux embrassé par la spire, nécessaire pour y induire

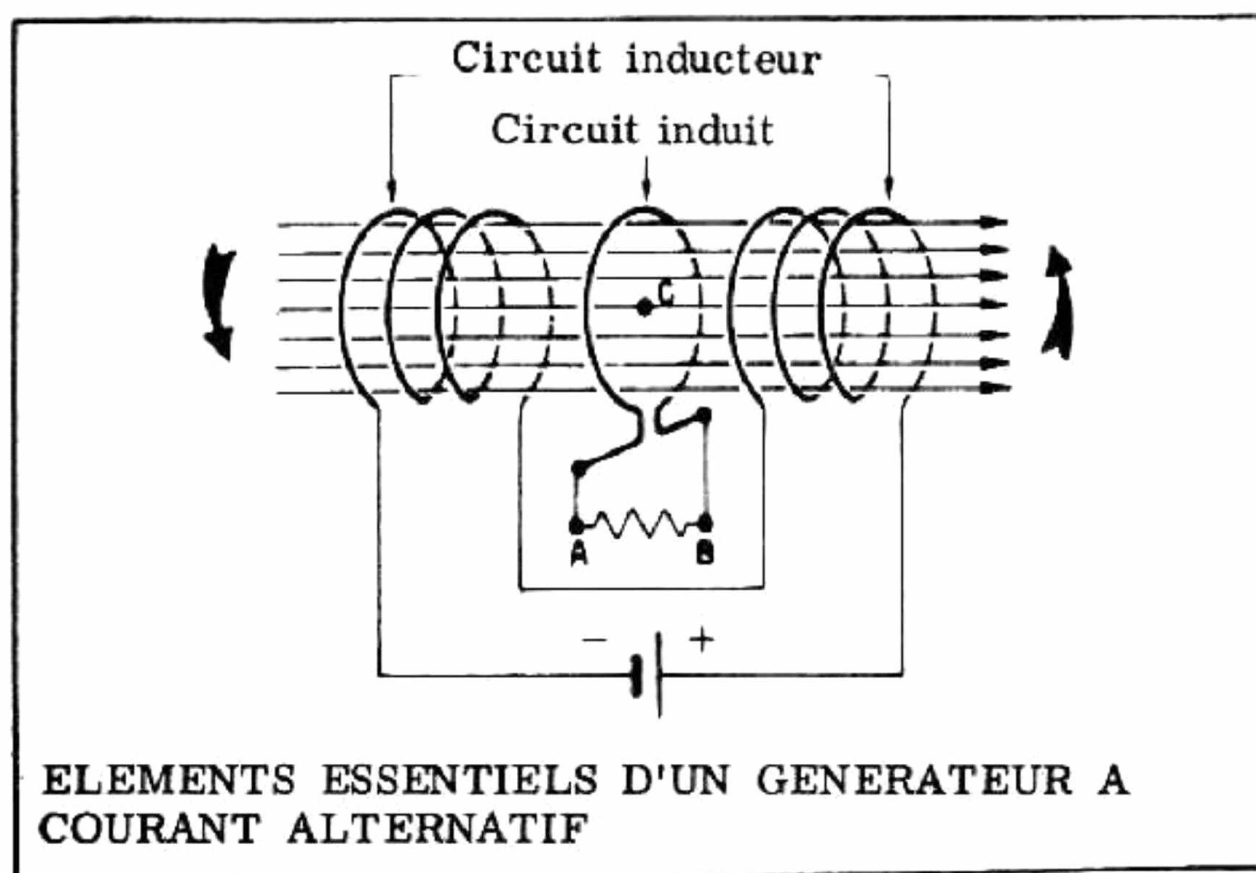


Figure 2

le courant, est obtenue dans ce cas en faisant tourner le circuit inducteur (et donc son flux) par rapport à la spire, qui reste immobile. La rotation se produit à une vitesse constante autour du point C situé au centre de la spire, et dans le sens indiqué par les flèches.

Sur la *figure 3*, on voit huit positions différentes prises par le flux d'induction durant un tour du circuit inducteur (que l'on n'a pas redessiné pour que ce soit plus simple). On a supposé que le circuit inducteur mettait huit secondes pour faire un tour et que c'étaient les positions prises chaque seconde par le flux d'induction qui étaient représentées, ou bien que chaque huitième de tour était parcouru en une seconde.

Si nous suivons sur la *figure 3*, la rotation du flux d'induction, nous voyons immédiatement que le générateur échange ses polarités à un certain moment et que, par conséquent, le courant change son sens de circulation.

Supposons que le flux commence à tourner en partant de la position

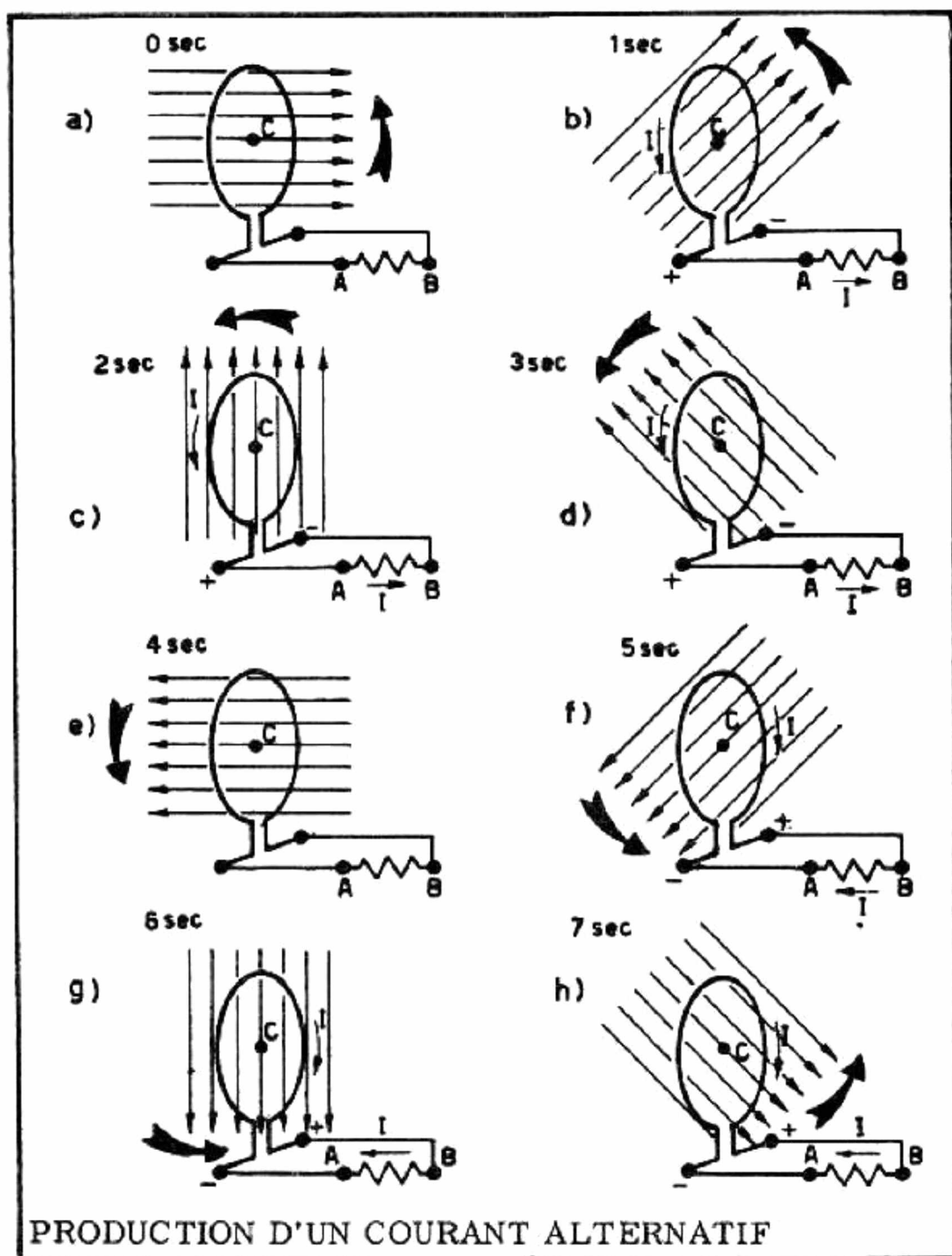


Figure 3

de la *figure 3 - a*, quand il est entièrement embrassé par la spire, et étudions ce qui se passe pendant la seconde qu'il emploie à se mettre dans la position de la *figure 3 - b*, en tournant d'un huitième de tour dans le sens indiqué par la flèche.

Il est évident que, pendant cette rotation, le flux embrassé par la spire diminue car, dans la position de la *figure 3-b*, quelques unes de ses lignes d'induction ne traversent plus la section de la spire, mais sont extérieures à elle.

Cette diminution du flux embrassé entraîne dans la spire une induction du courant I , qui doit circuler dans un sens tel qu'il puisse produire à son tour un flux dirigé dans le même sens que celui de la bobine, pour le renforcer et en combattre ainsi la diminution, conformément à la loi de Lenz.

Comme les lignes d'induction du flux produit par la bobine sont encore dirigées de gauche à droite, même si elles ne sont plus horizontales comme sur la *figure 3 - a*, le flux produit par le courant I devra avoir, lui aussi, les lignes d'induction dirigées de gauche à droite: pour cela, en appliquant la règle du tire-bouchon, on trouve que le courant I doit circuler dans la spire selon le sens indiqué sur la *figure 3 - b* pour produire un flux aux lignes d'induction dirigées dans le sens dont on a parlé plus haut.

Dans le circuit extérieur au générateur, c'est-à-dire dans le rhéostat, le courant devra donc circuler de A vers B et, puisque le courant est toujours dirigé du pôle positif vers le pôle négatif du générateur, on a indiqué sur la *figure 3 - b* par le signe + l'extrémité de la spire reliée à l'extrémité A de la résistance et par le signe - l'extrémité de la spire reliée à l'extrémité B de cette résistance.

Quand il continue sa rotation, le flux embrassé par la spire continue à diminuer, jusqu'à s'annuler complètement quand il arrive dans la position de la *figure 3 - c*, après avoir tourné encore, en une seconde, d'un autre huitième de tour, ou bien au total d'un quart de tour: sur la *figure 3 - c*, on voit en effet que les lignes d'induction, parce qu'elles sont verticales et donc parallèles à la spire, ne traversent plus sa section et par conséquent ne sont plus embrassées par elle.

A l'instant où le flux embrassé par la spire s'annule complètement, le courant induit I circule encore dans le même sens que celui vu précédemment pour produire un flux dirigé de gauche à droite, comme était dirigé le flux embrassé qui vient de s'annuler et que le courant induit tend à compenser.

A partir de la position de la *figure 3 - c*, le flux embrassé par la spire augmente de nouveau à cause de sa rotation : en effet, après une autre seconde, quand ce flux a encore tourné d'un huitième de tour et qu'il se trouve dans la position de la *figure 3 - d*, nombreuses sont les lignes d'induction qui traversent à nouveau la section de la spire et qui sont donc embrassées par celle-ci.

Par suite de la rotation du flux, les lignes d'induction sont maintenant dirigées de droite à gauche et, puisque le flux augmente, le courant induit, pour l'affaiblir, doit produire son propre flux avec les lignes d'induction dirigées en sens contraire, c'est-à-dire de gauche à droite et donc dans le même sens que celui des *figures 3 - b* et *3 - c* : le courant circule donc encore dans le même sens.

Le courant induit continue à circuler dans ce sens jusqu'à ce que, toujours en une seconde, le flux produit par le circuit inducteur ait rejoint la position de la *figure 3 - e*, ayant ainsi accompli un demi-tour ; sur cette figure, on n'a pas indiqué le courant pour une raison que nous verrons plus tard.

Après une autre seconde, le flux a encore tourné d'un huitième de tour et il est dans la position de la *figure 3 - f* : maintenant le flux embrassé par la spire diminue de nouveau. Le courant induit *I*, pour combattre cette diminution, doit donc produire à son tour un flux dirigé dans le même sens, c'est-à-dire de droite à gauche.

Si on applique encore la règle du tire-bouchon, on constate que, pour produire un flux dirigé dans ce sens, le courant induit doit circuler dans la spire dans le sens indiqué par la *figure 3 - f*.

Ce sens est le sens contraire de celui des figures précédentes et le courant induit traverse donc maintenant la résistance de B vers A au lieu que ce soit de A vers B. Par conséquent, l'extrémité de la spire reliée à l'extrémité B de la résistance devient positive et l'extrémité de la spire reliée à l'extrémité A de la résistance devient négative.

Nous voyons donc que, à l'inversion du sens de circulation du courant, correspond le changement des polarités du générateur.

Le courant circule dans ce nouveau sens dès que le flux a dépassé la position de la *figure 3 - e* ; il continue à circuler dans ce sens jusqu'à ce que le flux, après avoir atteint la position des *figures 3 - g* et *3 - h*, soit retourné à la position de la *figure 3 - a*, après avoir ainsi accompli un tour complet.

Pour chacune de ces positions les remarques que nous avons faites plus haut sont valables. Ces remarques nous permettent de constater que le

courant circule effectivement dans le sens indiqué par ces figures ; sur la *figure 3 - a* on n'a pas indiqué le courant, pour un motif que nous verrons sous peu.

Quand le flux atteint la position de la *figure 3 - a*, le courant change de nouveau son sens de circulation et se remet à circuler comme sur les *figures 3 - b* et les suivantes.

Tout ce que nous venons de voir nous permet donc de dire que *le courant circule dans un sens pendant un demi-tour du flux d'induction, et en sens contraire pendant l'autre moitié de tour de ce flux* ; de plus, le courant change son sens de circulation quand les lignes d'induction du flux sont horizontales comme sur la *figure 3 - a* et sur la *figure 3 - e*.

Puisque le courant est constitué par l'ensemble des électrons qui se déplacent dans les conducteurs, son inversion provient donc du fait que ces électrons changent le sens dans lequel ils se déplacent dans le circuit.

Pour ce faire, les électrons doivent avant tout arrêter leur mouvement dans un sens et commencer à se déplacer en sens contraire. Evidemment, il doit y avoir un instant, très bref, pendant lequel les électrons sont immobiles, car ils ne s'agitent plus dans un sens et ils n'ont pas encore commencé à s'agiter en sens contraire.

A cet instant, comme les électrons sont immobiles, il n'y a pas de circulation de courant dans le circuit, ou bien le courant a une intensité nulle ; puisque ceci se produit quand les lignes d'induction sont horizontales, le courant n'est pas indiqué sur la *figure 3 - a* et sur la *figure 3 - b*.

2 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DU COURANT ALTERNATIF

Maintenant que nous avons déterminé à quels instants le courant induit s'annule, essayons de déterminer comment varie son intensité à tous les autres instants.

Nous observons alors que, comme sur la *figure 3*, le courant n'est nul que lorsque les lignes d'induction sont horizontales, tandis qu'il circule dans le circuit quand ces lignes se trouvent dans des positions autres que la position horizontale.

Puisque le courant s'annule quand les lignes d'induction sont horizontales, nous pouvons dire que son intensité est d'autant plus grande que les

lignes d'induction sont plus éloignées de la position horizontale. Pour savoir comment varie l'intensité du courant, nous devons donc voir quelles sont les positions prises à chaque seconde par les lignes d'induction par rapport à la ligne horizontale.

Pour ce faire, il faut représenter différemment le flux d'induction, c'est-à-dire non plus au moyen d'un certain nombre de lignes d'induction, comme sur la *figure 3*, mais au moyen d'une seule flèche de longueur déterminée, dirigée dans le même sens que celui des lignes d'induction et tournant autour du centre C de la spire.

Ceci a été fait sur la *figure 4 - a*, où sont de nouveau reportées les positions de la *figure 3* prises par le flux à chaque seconde ; ce flux est représenté par une flèche dirigée dans la même direction que celle des lignes d'induction de la *figure 3*.

De cette façon, nous pouvons nous rendre compte, en étudiant la distance qu'il y a de la pointe de la flèche à la ligne horizontale en pointillés qui passe par le centre C de la spire, de la distance des positions prises par les lignes d'induction à chaque seconde par rapport à la position horizontale.

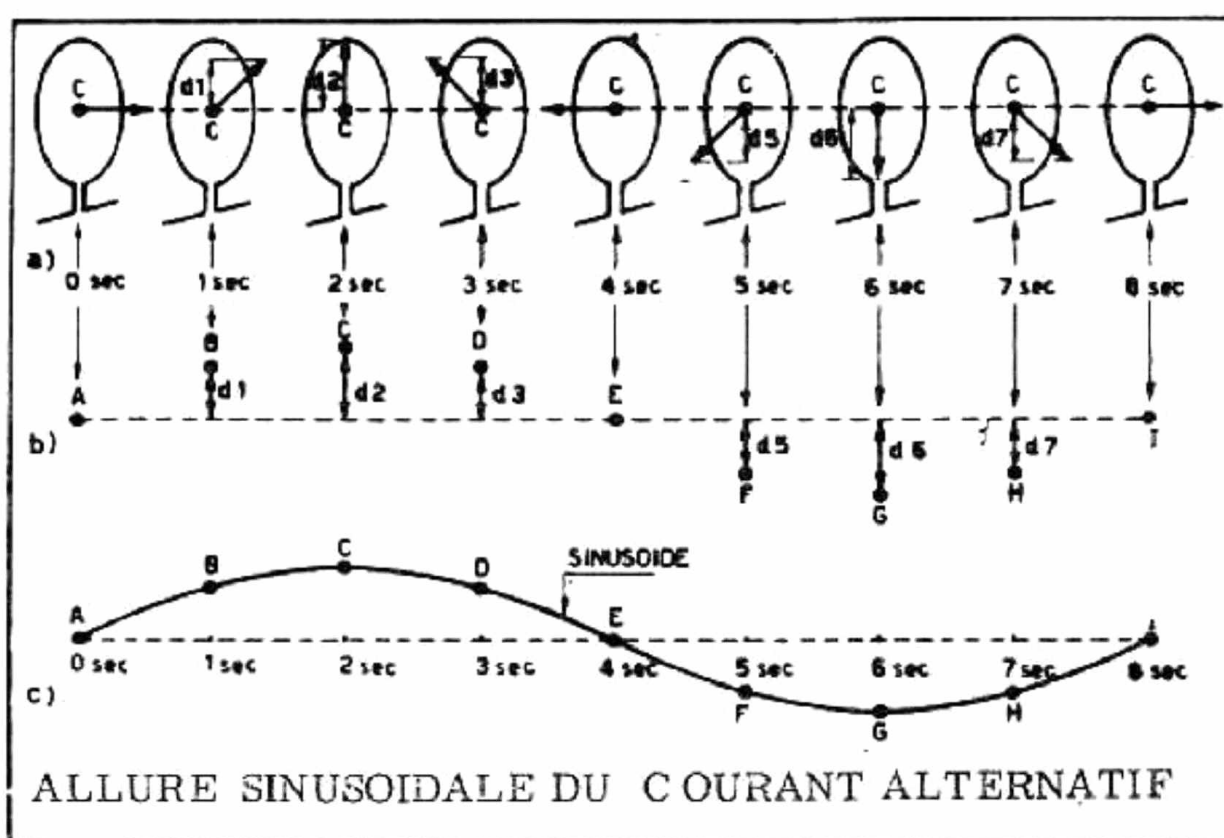


Figure 4

En effet, cette distance est d'autant plus grande que la flèche est plus éloignée de la ligne horizontale, et donc que le flux d'induction qu'elle représente est plus éloigné de cette ligne.

Sur la *figure 4 - a*, cette distance a été indiquée par "d1" pour la première seconde, par "d2" pour la seconde suivante, par "d3" pour la troisième seconde et ainsi de suite ; cette distance est au contraire nulle, et on ne l'indique donc pas, quand la flèche est horizontale.

Nous pouvons maintenant nous limiter à étudier les distances trouvées, comme on l'a fait sur la *figure 4 - b*. Sur cette figure, les spires et les flèches qui représentent le flux ne sont plus dessinées ; il n'y a qu'une ligne horizontale en pointillés, des points B, C, D, etc..., situés aux distances dont on a parlé, de la ligne, et des points sur cette ligne (points A, E, I) quand la flèche de la *figure 4 - a* est horizontale et que la distance à la ligne est nulle.

En ce qui concerne ce qu'on a dit précédemment, nous savons que, plus les distances de ces points à la ligne sont grandes, plus l'intensité du courant induit est grande ; la *figure 4 - b* peut donc nous donner une idée déjà assez précise de la façon dont varie l'intensité du courant.

Nous voyons en effet que lorsque le flux d'induction commence à tourner (0 sec), l'intensité du courant est nulle car le point A se trouve sur la ligne de pointillés. Après 1 seconde, l'intensité du courant est différente de zéro car le point B se trouve à la distance d1 de la ligne de pointillés ; après 2 secondes, l'intensité du courant est encore plus grande car le point C se trouve à la distance d2, qui est plus grande que la distance d1.

Après 3 secondes, le courant diminue au contraire, car la distance d3 du point D à la ligne de pointillés est plus petite que la distance d2 du point C ; après 4 secondes l'intensité du courant est de nouveau nulle, car le point E se trouve sur la ligne de pointillés, comme le point A.

Comme nous le savons, à partir de ce moment le courant circule en sens contraire et, d'autre part, nous voyons que les points F, G, et H, relatifs à l'intensité de ce courant, se trouvent au-dessous de la ligne de pointillés. Le fait que ces points soient de l'autre côté de la ligne par rapport aux points B, C, et D, sert donc à nous rappeler que le courant circule dans le sens contraire au précédent.

Si nous étudions les distances des points F, G, et G, à la ligne de pointillés, nous voyons que l'intensité du courant varie encore comme précédemment, d'abord en augmentant, puis en diminuant de nouveau jusqu'à s'annuler au point I après 8 secondes.

Les points A, B, C, etc..., de la *figure 4 - b* nous montrent seulement comment varie l'intensité du courant d'une seconde à l'autre, mais ils ne nous montrent pas sa variation instant par instant.

Nous nous apercevons, cependant, que ces points indiquent le tracé d'une ligne qui passe par eux comme, par exemple, les lampes d'éclairage d'une route indiquent, dans leur ensemble, le tracé de la route le long de laquelle elles sont installées.

En unissant entre eux ces points, nous pouvons donc dessiner la ligne qui passe par eux et qui a l'allure que l'on voit sur la *figure 4 - c* : de cette façon, la variation du courant nous est indiquée non plus seulement par les points A, B, C, etc..., mais par tous les points qui constituent la ligne. En effet pour chaque point de cette ligne, tout ce qui a été dit pour les points A, B, C, etc..., reste valable, et plus la distance de chacun d'eux à la ligne de pointillés est grande, plus l'intensité du courant est intense. La ligne ainsi obtenue nous montre donc comment varie l'intensité du courant instant par instant, et non plus à chaque seconde.

Comme cette ligne prend le nom de *SINUSOÏDE*, on dit que *le courant alternatif a une allure sinusoïdale*.

La sinusoïde peut donc servir à indiquer l'intensité du courant alternatif à chaque instant, et on l'utilise très souvent en électrotechnique pour la *REPRESENTATION GRAPHIQUE* des courants alternatifs, dont la *figure 5* nous donne un exemple.

La ligne horizontale de pointillés de la *figure 4 - c* est tracée maintenant en traits pleins ; sur cette ligne sont reportés les nombres qui indiquent les secondes ; ces nombres se trouvent à 1 cm l'un de l'autre, et ceci est indiqué en haut à droite par l'inscription " $1 \text{ cm} = 1 \text{ sec}$ ".

L'indication " $t \text{ (sec)}$ " que l'on trouve près de l'extrémité droite de la ligne horizontale indique que, sur cette ligne, on lit le temps (t) exprimé en secondes (sec).

Le fait de lire le temps sur une ligne ne doit pas nous paraître inhabituel si nous pensons que, lorsque nous regardons l'heure, nous ne faisons autre chose que de lire le temps sur les cercles dessinés sur le cadran du réveil

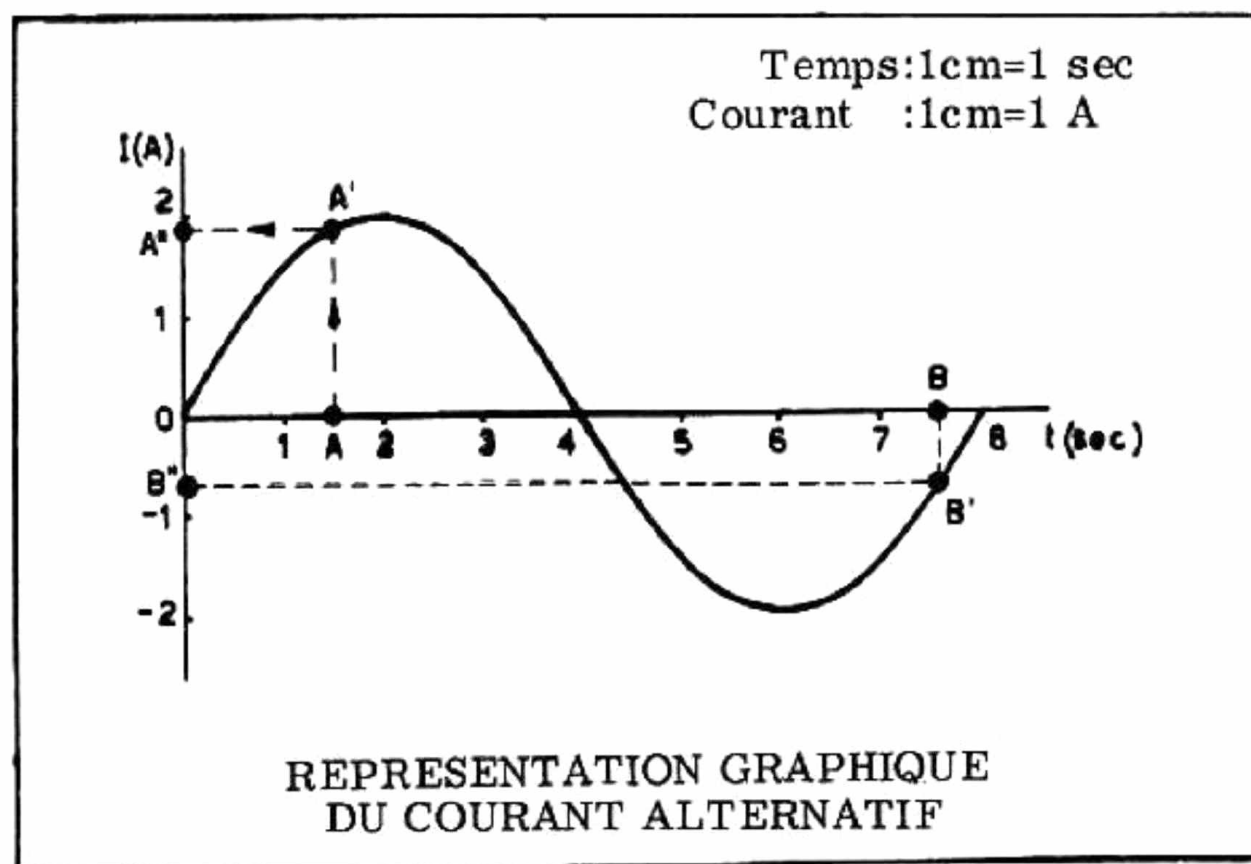


Figure 5

et sur lequel sont reportés les nombres qui indiquent les heures, les minutes, et les secondes. Dans ce cas, la seule différence consiste dans le fait que nous lisons les secondes sur une ligne au lieu de les lire sur un cercle comme sur le réveil.

Comme l'intensité du courant est indiquée par la distance entre chaque point de la sinusoïde et la ligne horizontale, il est plus commode d'écrire les valeurs de cette intensité sur une ligne verticale, pour pouvoir les lire directement, comme nous allons le voir.

Cette ligne est tracée à l'extrémité gauche de la ligne horizontale et l'inscription " $I(A)$ " que nous voyons à l'extrémité supérieure sert justement à rappeler que, sur la ligne, se lisent les valeurs du courant (I) exprimées en ampères (A).

Sur la ligne verticale sont inscrits les nombres indiquant les ampères,

qui, dans ce cas, se trouvent encore à la distance de 1 cm l'un de l'autre ; ceci est indiqué par l'inscription " $1 \text{ cm} = 1 \text{ A}$ " reportée en haut à droite.

Les nombres inscrits sur la ligne verticale commencent au même point, indiqué par le zéro, que les nombres inscrits sur la ligne horizontale.

Notons cependant que les nombres qui sont sous le zéro sont précédés du signe ($-$) : ceci sert à nous rappeler que le courant, dont l'intensité est indiquée par ces nombres, circule en sens contraire de celui dont l'intensité est indiquée par les nombres inscrits au-dessus du zéro.

Les deux lignes, horizontale et verticale, sont aussi appelées *AXES* et, quand elles sont unies à la sinusoïde, elles constituent un *DIAGRAMME CARTESIEN*.

Les diagrammes cartésiens ont déjà été traités dans les leçons de mathématiques, auxquels on peut éventuellement se reporter pour avoir davantage d'informations sur ce sujet. Sur la *figure 5* on trouve deux exemples d'emploi du diagramme.

Supposons que l'on veuille connaître l'intensité du courant après 1,5 sec : comme nous savons que $1 \text{ cm} = 1 \text{ sec}$, nous pouvons en déduire que 1,5 sec équivaut à 1,5 cm.

Inscrivons donc sur l'axe horizontal le point A distant de 1,5 cm du 0, indique le temps de 1,5 sec.

Du point A traçons ensuite une verticale vers le haut jusqu'à la rencontre avec la sinusoïde au point A' : comme nous le savons, la distance de A à A' indique l'intensité du courant que nous voulons connaître.

On peut lire cette intensité sur l'axe vertical, en traçant depuis A' une ligne horizontale jusqu'à sa rencontre avec cet axe au point A'' : ce point est distant de 1,9 cm depuis le zéro et, puisque $1 \text{ cm} = 1 \text{ A}$, on déduit que 1,9 cm équivaut à 1,9 A.

Le diagramme nous permet donc de savoir qu'après 1,9 sec le courant a une intensité de 1,9 A.

Le même procédé peut aussi être adopté pour n'importe quel autre instant. Cherchons encore, par exemple, quelle est la valeur de l'intensité du courant après 7,5 sec ; dans ce cas la seule différence réside dans le fait que la verticale tracée depuis le point B doit être dirigée vers le bas, car la sinusoïde se trouve sous l'axe horizontal ; par conséquent, l'horizontale tracée depuis le point B rencontre l'axe vertical au point B'' qui se trouve sous le zéro.

Puisque ce point est distant de 0,7 cm du 0, il indique un courant

d'une intensité de $-0,7$ A ; le signe moins qui précède le nombre 0,7 sert à rappeler que ce courant circule en sens contraire de celui indiqué par les nombres situés au-dessus de l'axe horizontal, comme le courant étudié dans l'exemple précédent.

Maintenant que nous avons vu comment on représente graphiquement un courant alternatif, nous pouvons étudier les autres caractéristiques de ce courant.

3 - PERIODE ET FREQUENCE DU COURANT ALTERNATIF

Jusqu'à maintenant nous avons toujours supposé que le flux d'induction accomplissait un seul tour, et qu'il produisait un courant dont l'allure nous est montrée par la *figure 5*.

Si le flux d'induction, après avoir accompli un tour, continue à tourner en accomplissant un second tour toujours dans le même temps, il produit de nouveau un courant qui a l'allure indiquée par la sinusoïde de la *figure 5*, car il repasse par les mêmes positions que celles de la *figure 3*.

A chaque tour du flux d'induction le courant alternatif reprend donc toutes les valeurs indiquées par la sinusoïde ; nous pouvons dire que ces valeurs se répètent à chaque tour du flux, de même que par exemple, à chaque tour de la Terre autour du Soleil, ou bien chaque année, se répètent toujours les mêmes saisons.

De même qu'un an constitue un cycle saisonnier dans lequel se succèdent toutes les saisons, de même la sinusoïde de la *figure 5* constitue un *CYCLE* du courant alternatif, car dans celle-ci se succèdent toutes les valeurs que le courant peut prendre.

Le courant alternatif est donc constitué par des cycles tous égaux entre eux ; dès qu'un cycle est terminé, un autre commence aussitôt, identique au précédent, comme on le voit sur la figure 6 - a.

Du moment que tous les cycles sont égaux, il est évident que pour représenter graphiquement un courant alternatif, il suffit de ne représenter qu'un seul cycle, comme on l'a fait sur la *figure 5*.

Jusqu'à maintenant, on a supposé qu'un tour du flux d'induction était accompli en huit secondes, car de cette façon l'explication était plus simple. Mais d'habitude, dans la pratique, le flux tourne beaucoup plus vite ;

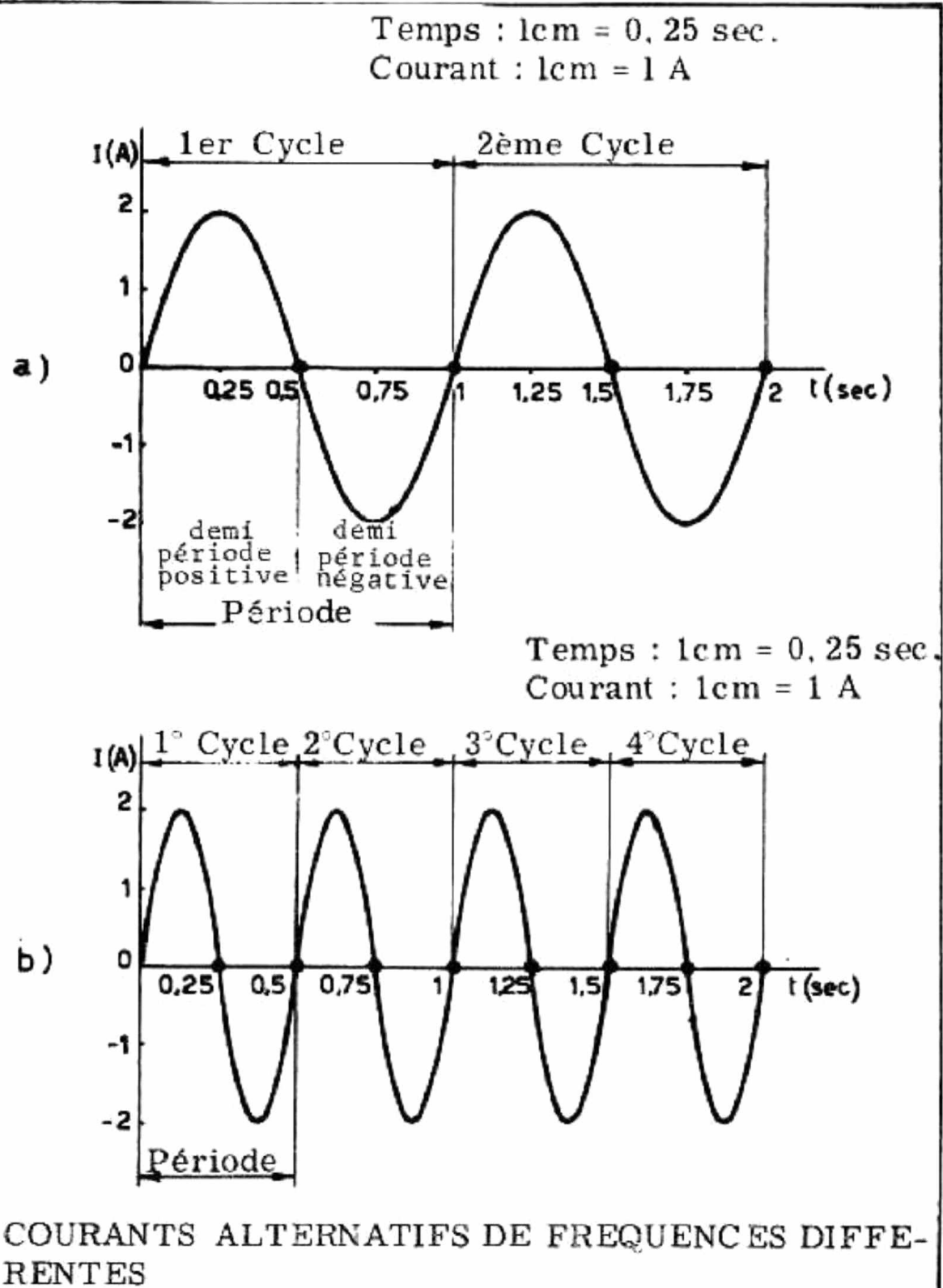


Figure 6

pour nous approcher de la réalité, nous avons supposé sur la *figure 6 - a* que le flux d'induction accomplissait un tour en une seconde.

Si, sur cette figure, les secondes avaient encore été représentées à la distance de un centimètre l'une de l'autre, comme sur la *figure 5*, il aurait fallu dessiner, dans l'espace très réduit de un centimètre, la sinusoïde qui représente le courant. Pour éviter cet inconvénient, les secondes sont indiquées sur la *figure 6 - a* à la distance de quatre centimètres l'une de l'autre ; chaque centimètre indique donc maintenant un quart de seconde, ou bien 0,25 sec, comme le montre l'inscription en haut et à droite.

Sur l'axe vertical de la *figure 6 - a* sont reportées au contraire les valeurs du courant de la *figure 5*, car on suppose que les courants représentés dans les deux figures prennent les mêmes valeurs.

Nous constatons que, tandis que le courant de la *figure 5* met 8 secondes pour prendre toutes les valeurs indiquées sur cette figure, le courant de la *figure 6 - a* ne met qu'une seconde pour prendre ces mêmes valeurs : autrement dit, le premier courant accomplit un cycle dans un temps (8 sec) qui est huit fois plus grand que celui du deuxième courant (1 sec).

On comprend donc que, *pour que deux courants alternatifs soient égaux* il ne suffit pas qu'ils aient tous les deux les mêmes valeurs, mais *il faut aussi qu'ils accomplissent leurs cycles respectifs dans le même temps.*

On caractérise donc un courant alternatif, non seulement par sa valeur, mais aussi par le temps qu'il met pour accomplir un cycle ; nous rappelons qu'on appelle PERIODE le temps durant lequel le courant alternatif accomplit un cycle.

Sur la *figure 6 - a*, la période du courant alternatif est indiquée : elle est égale à 1 seconde ; sur la même figure, on voit aussi que la période est divisée en deux parties égales, appelées *DEMI-PERIODE POSITIVE* et *DEMI-PERIODE NEGATIVE*.

La première moitié de la période, comprise entre 0 sec et 0,5 sec, est appelée demi-période positive car les valeurs du courant sont indiquées par les nombres inscrits dans la partie supérieure de l'axe vertical, et ces nombres sont positifs. La seconde moitié de la période est appelée au contraire demi-période négative car les valeurs du courant sont indiquées par les nombres inscrits dans la partie inférieure de l'axe vertical et ces nombres sont négatifs.

Rappelons-nous que le courant circule durant toute la demi-période positive dans un sens, tandis que pendant toute la demi-période négative il circule en sens contraire. Ceci entraîne la facilité qu'on a de diviser la pério-

de en deux demi-périodes, car, comme nous le verrons dans les prochaines leçons, le fonctionnement de nombreux circuits radio dépend du sens de courant qui y circule, et il est donc très différent selon que l'on considère la demi-période positive ou bien la demi-période négative.

Examinons maintenant le courant alternatif représenté sur la *figure 6 - b*, qui, comme on le voit, a une période de 0,5 sec, c'est-à-dire d'une moitié de seconde : ce courant accomplit donc un cycle dans un temps deux fois plus petit que celui de la *figure 6 - a* et, par conséquent, en 1 sec il peut accomplir deux cycles au lieu d'un seul comme ce courant.

La comparaison de ces deux courants de la *figure 6* permet de voir que, lorsqu'on divise par deux la période, le nombre des cycles accomplis en une seconde est multiplié par deux, et l'on en tire la conclusion que *la période et le nombre de cycles par seconde sont liés entre eux*.

Par suite, un courant alternatif peut aussi être caractérisé en indiquant au lieu de sa période exprimée en secondes, le nombre de cycles qu'il accomplit en une seconde.

Rappelez-vous qu'on appelle *FREQUENCE* le nombre de cycles accomplis par un courant alternatif en une seconde.

La fréquence se mesure donc en cycles par seconde, unité de mesure à laquelle on a donné le nom de *HERTZ* (symbole *Hz*) pour rappeler le professeur allemand *Henri Rodolphe Hertz* (1857 - 1894) qui découvrit les ondes électromagnétiques.

Le courant de la *figure 6 - a* a une fréquence de 1 Hz car il accomplit un cycle en 1 sec, tandis que le courant de la *figure 6 - b* a une fréquence de 2 Hz puisque en 1 sec, il accomplit deux cycles. Le courant alternatif que nous utilisons dans nos maisons a une fréquence de 50 Hz : cela signifie qu'il accomplit 50 cycles par sec .

Dans les circuits radio, on trouve aussi des courants qui accomplissent des milliers ou des millions de cycles par seconde, et dans ce cas leur fréquence, au lieu d'être en hertz, est mesurée plus commodément en *KILOHERTZ*, qui vaut 1.000 Hz, ou bien en *MEGAHERTZ*, qui vaut 1.000.000 Hz.

Naturellement, les courants de fréquence aussi élevée ne s'obtiennent pas de la même manière que celle décrite précédemment, c'est-à-dire en faisant tourner un flux d'induction. Il n'est en effet pas possible de faire accomplir à un circuit inducteur des milliers ou des millions de tours en une seconde ; pour la production de ces courants, on a recours aux oscillateurs électroniques, dont nous parlerons longuement dans ce Cours.

Nous avons vu qu'on peut définir la fréquence ou la période d'un courant alternatif : nous allons voir maintenant comment on peut passer de l'une à l'autre, et vice versa.

Nous nous apercevons d'abord que, lorsqu'on connaît le nombre de cycles accomplis en 1 sec par un courant, c'est-à-dire la fréquence, on peut savoir en combien de temps est accompli chacun de ces cycles, c'est-à-dire la période, en divisant le temps d'1 sec par le nombre de cycles accomplis pendant ce temps ou bien par la fréquence : plus brièvement, nous pouvons dire qu'on obtient la période en divisant le nombre 1 par la fréquence.

Etudions, par exemple, la fréquence de 50 Hz : en divisant 1 par 50 ($1 : 50 = 0,02$) nous trouvons que chacun des 50 cycles est accompli pendant un temps de 0,02 sec et nous voyons donc qu'un courant de fréquence 50 Hz a une période 0,02 sec.

Quand, au contraire, on connaît la période, on peut trouver la fréquence correspondante en considérant que, si l'on divise le temps de 1 sec par la période, c'est-à-dire par le temps que le courant emploie pour accomplir un cycle, on trouve combien de ces cycles le courant peut accomplir en 1 sec, donc sa fréquence : plus brièvement nous pouvons dire que l'on obtient la fréquence en divisant le nombre 1 par la période.

Supposons, par exemple, que la période d'un courant soit de 0,04 sec ($1 : 0,04 = 25$) nous trouvons qu'en 1 sec le courant accomplit 25 cycles, et nous voyons donc qu'un courant d'une période de 0,04 sec a une fréquence de 25 Hz.

En électronique, on indique habituellement la fréquence des courants alternatifs ; il y a cependant des cas où il faut aussi étudier la période, et il est donc utile de connaître les relations qui permettent de déterminer la période quand on connaît la fréquence et vice versa.

Dans le tableau de la *figure 7* est résumé tout ce qui concerne ces grandeurs, leurs unités de mesure et leurs symboles.

Il est utile de rappeler que, comme les hertz indiquent les cycles par seconde, dans quelques textes les fréquences sont exprimées en cycles par seconde (en abrégé : c/sec) et non en hertz ; dans ces cas il suffira de se souvenir qu'une fréquence, par exemple, de 50 c/sec, est égale à une fréquence de 50 Hz.

GRANDEUR	SYMBOLE	UNITE DE MESURE	SYMBOLE
Période	T	seconde	sec
Fréquence	f	hertz	Hz

Figure 7

4 - VALEUR DU COURANT ALTERNATIF

On a précédemment mentionné le fait que, pour caractériser un courant alternatif, il faut en indiquer la fréquence et la valeur.

Nous nous apercevons que la valeur du courant alternatif varie continuellement et nous ne savons donc quelle valeur nous devons choisir entre toutes celles, différentes d'un instant à l'autre, que le courant présente durant une période.

Si nous étudions la sinusoïde qui représente un courant alternatif, par exemple la sinusoïde de la *figure 8*, il peut nous sembler convenable de choisir, comme valeur apte à caractériser ce courant, la valeur maximum atteinte durant la période.

Cette valeur est atteinte une première fois à la moitié de la demi-période positive, et elle est indiquée sur la figure par " I_{\max} ", et une seconde

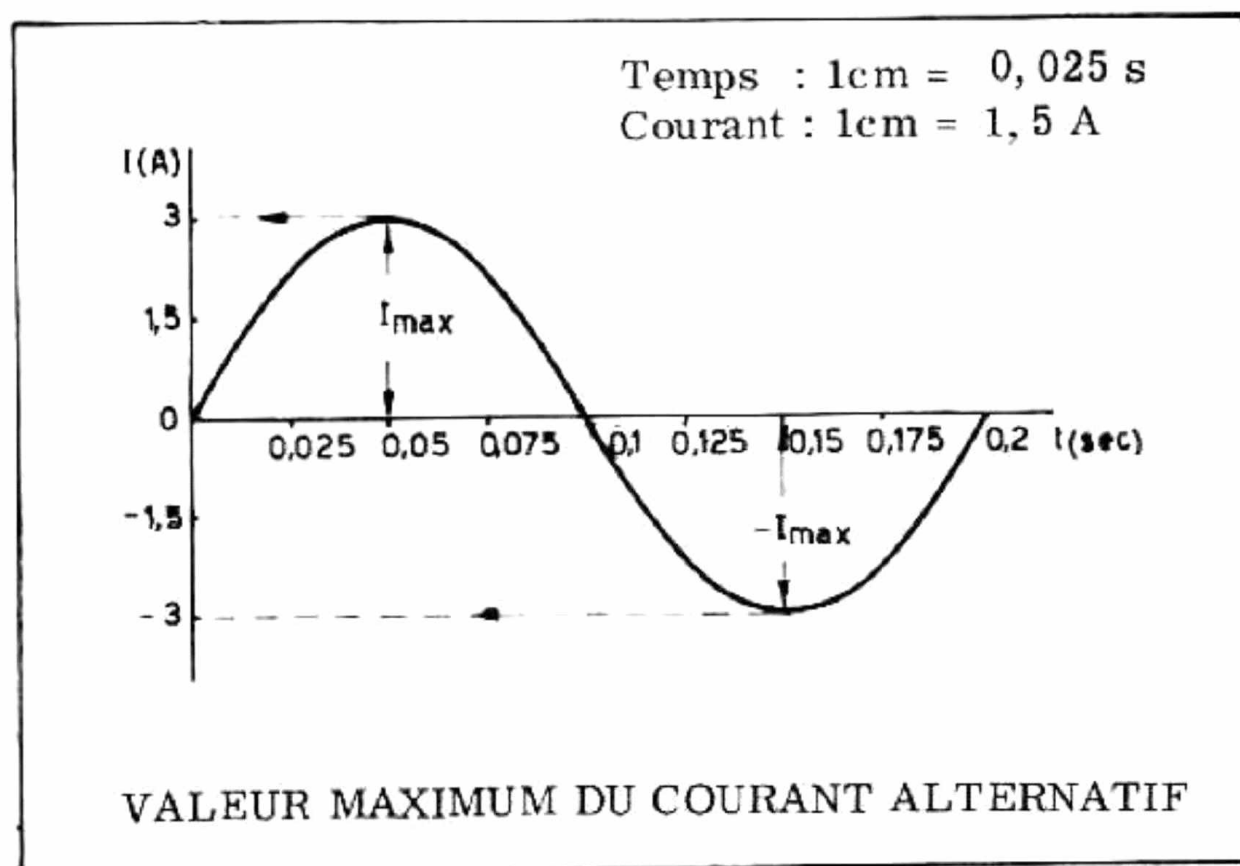


Figure 8

fois à la moitié de la demi-période négative, et elle est indiquée sur la figure par " $-I_{\max}$ ".

Cette valeur est appelée *VALEUR MAXIMUM* du courant alternatif ; l'inscription "max" au pied de la lettre I sert à rappeler qu'il s'agit de la valeur maximum du courant.

D'après les valeurs inscrites sur l'axe vertical, nous voyons immédiatement que le courant représenté sur la *figure 8* a une valeur maximum de 3 A.

D'autre part, nous lisons sur l'axe horizontal que ce courant a une période 0,2 sec et donc que sa fréquence est de 5 Hz (en effet, $1 : 0,2 = 5$).

Nous pourrions caractériser le courant de la *figure 8* en écrivant $I_{\max} = 3 \text{ A}$, $f = 5 \text{ Hz}$, pour indiquer que ce courant a une valeur maximum de 3 A, et une fréquence de 5 Hz.

Nous constatons que la valeur maximum n'est atteinte par le courant qu'à deux instants différents de la période tandis que, à tous les autres instants, le courant a une valeur inférieure : on comprend donc pourquoi la valeur maximum n'est pas très apte à caractériser le courant alternatif, spéciale-

ment par rapport aux effets qu'il peut produire (par exemple, l'effet thermique).

Pour mieux nous rendre compte de ce fait, effectuons le calcul de la puissance électrique transformée en chaleur par une "résistance".

Supposons d'abord que la "résistance" soit traversée par un courant continu d'une valeur de 3 A ; dans ce cas le calcul s'effectue immédiatement car, comme nous le savons, il suffit de multiplier la résistance par le carré du courant, c'est-à-dire par le carré de la valeur de 3 A qui caractérise le courant continu.

Si nous faisons ensuite le même calcul pour le courant alternatif de la figure 8, que nous avons caractérisé en indiquant sa valeur maximum de 3 A, et si nous multiplions donc la résistance par le carré de cette valeur, nous obtenons le même résultat que celui trouvé pour le courant continu, résultat qui pourtant est faux dans le cas du courant alternatif.

En effet, puisque la puissance électrique est transformée en chaleur par la résistance, la chaleur produite par le courant continu de 3 A serait égale à celle produite par le courant alternatif ayant la valeur maximum de 3 A.

En réalité ceci est faux car, tandis que le courant continu maintient constamment la valeur de 3 A, le courant alternatif n'atteint cette valeur qu'à deux instants différents pour chaque période, comme nous l'avons déjà noté précédemment. Il est évident qu'à ces deux instants seulement, le courant alternatif produit une chaleur égale à celle due au courant continu, tandis qu'à tous les autres instants de la période il produit une chaleur moindre, puisque sa valeur est inférieure à celle du courant continu.

Nous constatons donc que la valeur maximum d'un courant alternatif, même si elle peut servir à caractériser ce courant, n'est pas très utile dans la pratique, car on ne peut l'utiliser pour les calculs ; elle conduirait en effet à un résultat faux, comme nous l'avons vu.

On comprend donc pourquoi il est préférable de caractériser le courant par une valeur qui permette de faire les calculs en utilisant les mêmes procédés que pour le courant continu.

Les remarques faites précédemment nous montrent le chemin que nous devons suivre : en effet, ces remarques nous ont montré que l'erreur venait du fait qu'un courant continu de 3 A et un courant alternatif qui a la même valeur maximum de 3 A ne produisent pas la même quantité de chaleur ; il faut donc déterminer quelle valeur devrait avoir un courant continu pour produire la même quantité de chaleur qu'un courant alternatif d'une valeur maximum de 3 A.

Dans ce but, nous constatons avant tout que la chaleur produite dans une résistance parcourue par le courant ne dépend pas du sens de circulation du courant, car elle ne varie pas si le courant est dirigé dans un sens ou en sens contraire.

Nous pouvons donc nous limiter à l'étude de la chaleur produite dans la première demi-période du courant alternatif représenté sur la *figure 8*, car *la même chaleur sera produite dans toutes les demi-périodes successives*, et par conséquent tout ce qu'on dira pour cette demi-période sera valable pour toutes les autres.

Pendant une demi-période, c'est-à-dire en 0,1 sec, le courant alternatif varie de la valeur minimum 0 A à la valeur maximum de 3 A et par conséquent produit une chaleur différente d'un instant à l'autre.

Au contraire un courant continu produit la même chaleur à chaque instant, puisque son intensité ne varie pas mais reste toujours la même.

Le problème consiste donc à trouver quelle valeur doit avoir ce courant continu pour qu'il produise la même quantité de chaleur que le courant alternatif circulant dans la même résistance pendant un temps de 0,1 sec, égal à la demi-période du courant alternatif.

Autrement dit, nous pouvons dire que nous étudions deux façons différentes de produire la même quantité de chaleur dans un temps de 0,1 sec : dans le cas du courant continu la chaleur est produite en quantité égale à chaque instant tandis que dans le cas du courant alternatif la même chaleur est produite en quantité différente d'un instant à l'autre.

On comprend donc pourquoi, à certains instants, le courant alternatif produit une chaleur inférieure à celle qui est produite par le courant continu, tandis qu'à d'autres instants il produira une chaleur supérieure, de sorte que la chaleur supérieure compense la chaleur inférieure produite précédemment et qu'ainsi, à chaque demi-période, la chaleur produite est la même pour les deux courants.

Cela signifie que la chaleur produite par le courant continu doit être comprise entre la valeur minimum et la valeur maximum produite par ce courant alternatif, c'est-à-dire doit représenter la chaleur moyenne entre les quantités de chaleur, différentes d'un instant à l'autre, produites par ce courant.

Puisque la chaleur produite dépend du carré du courant, étudions le carré des valeurs minimum et maximum prises par le courant alternatif : comme la valeur minimum est zéro, son carré est aussi égal à zéro, tandis que puisque la valeur maximum est de 3 A, son carré est égal à 9.

Du moment que, comme nous l'avons dit, la chaleur produite par le courant continu doit être comprise entre la valeur minimum et la valeur maximum produites par le courant alternatif, le carré de la valeur du courant continu devra être aussi compris entre les carrés des valeurs minimum et maximum prises par le courant alternatif, donc il devra être compris entre 0 et 9.

Pour trouver ce nombre, il faudrait faire des calculs longs et difficiles. Nous ne vous les donnons donc pas, et nous limitons à vous indiquer le résultat obtenu dans le cas des courants alternatifs qui ont une allure sinusoïdale : après avoir fait ces calculs on constate que le nombre cherché se trouve à mi-chemin entre 0 et 9, donc 4,5.

La valeur du courant continu que nous cherchons, élevée au carré, est donc égale à 4,5 : pour déterminer cette valeur il suffit d'extraire la racine carrée du nombre 4,5 et on trouve 2,12 : nous pouvons donc dire que le courant continu cherché a une valeur de 2,12 A.

Nous voyons donc qu'un courant alternatif qui a une valeur maximum de 3 A équivaut, en ce qui concerne la quantité de chaleur, à un courant continu d'une valeur de 2,12 A, car les deux courants produisent la même quantité de chaleur dans un même temps.

Nous pouvons donc caractériser le courant alternatif étudié jusqu'à maintenant en indiquant la valeur de 2,12 A trouvée pour le courant continu et par conséquent, au lieu de dire que ce courant alternatif a une valeur maximum de 3 A et une fréquence de 5 Hz, nous dirons qu'il a une valeur de 2,12 A et une fréquence de 5 Hz.

Cette nouvelle valeur utilisée pour caractériser le courant alternatif est appelée *VALEUR EFFICACE* et on l'indique par la même lettre *I* que celle utilisée pour le courant continu.

La valeur efficace d'un courant alternatif indique donc quelle valeur devrait avoir un courant continu pour produire la même quantité de chaleur que le courant alternatif, et ceci dans le même temps.

En introduisant la valeur efficace, nous considérons le courant alternatif comme s'il était un courant continu, c'est-à-dire comme s'il produisait la même quantité de chaleur à chaque instant. En réalité ceci ne se produit pas, mais pour nous il n'est pas intéressant de savoir comment la chaleur est produite au total dans un temps déterminé soit la même pour le courant continu que pour le courant alternatif. Dans ce cas, en effet nous pouvons calculer la chaleur produite par le courant alternatif en utilisant les mêmes procédés que pour le courant continu.

Il faut noter que, habituellement, on indique la valeur efficace d'un courant alternatif, valeur qu'on peut donc utiliser pour les calculs relatifs à la production de chaleur, comme on le fait dans le cas du courant continu.

Au cas où, au contraire, on n'aurait que la représentation graphique d'un courant alternatif, comme sur la *figure 8*, on ne pourrait connaître que la valeur maximum ; il faut alors voir comment on peut obtenir la valeur efficace lorsqu'on connaît la valeur maximum d'un courant alternatif.

Pour cela il suffit de nous rappeler tout ce qu'on a vu précédemment et en particulier que le carré de la valeur efficace est égale à la moitié du carré de la valeur maximum du courant alternatif.

Pour trouver la valeur efficace, on doit donc élever au carré la valeur maximum, la diviser par deux, et puis extraire la racine carrée du nombre obtenu.

Plutôt que de diviser le carré de la valeur maximum par deux et puis d'extraire la racine carrée on peut aussi diviser la valeur maximum par la racine carrée de deux, c'est-à-dire par 1,414.

Nous avons déjà vu en effet qu'en faisant le carré de la valeur maximum on obtenait 9, qui divisé par 2 donne 4,5 dont la racine carrée est 2,12.


On peut obtenir plus rapidement ce résultat en divisant la valeur maximum par 1,41 : en effet, en divisant 3 par 1,41 on obtient encore 2,12.

Souvenez-vous donc que *la valeur efficace d'un courant alternatif s'obtient en divisant la valeur maximum par 1,41.*

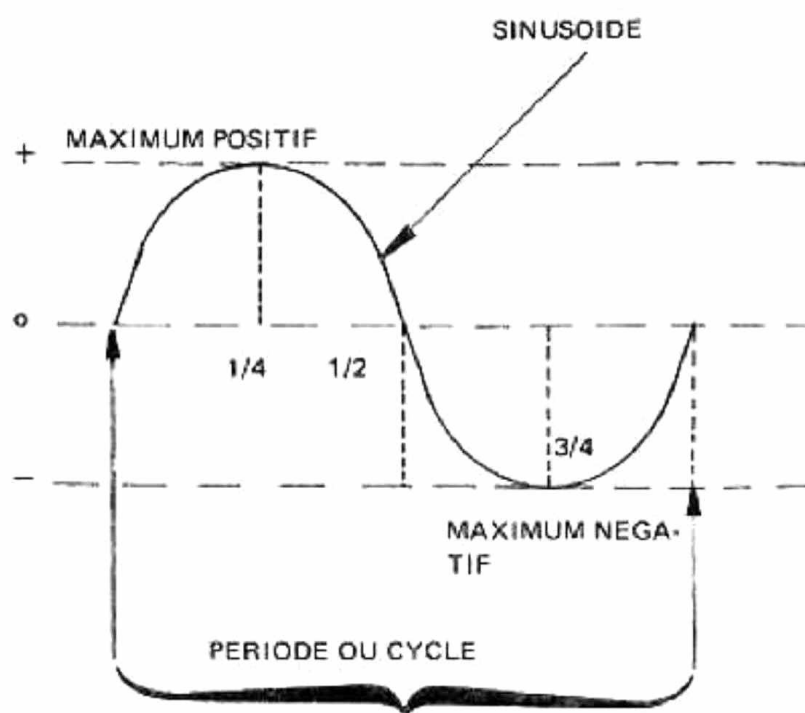
Nous avons vu ainsi comment l'on représente graphiquement un courant alternatif, et comment l'on en indique les caractéristiques nécessaires pour l'identifier. Dans la prochaine leçon, nous nous occuperons de la tension alternative, dont on a à peine parlé, et nous verrons quelles relations existent entre cette tension et le courant, selon les différents types de circuits.

NOTIONS A RETENIR

- Un **COURANT CONTINU**, provenant d'une **TENSION CONTINUE**, est un courant de valeur **STABLE**, circulant toujours dans le même sens. On peut représenter graphiquement ce courant par une droite, dont la flèche indique le sens de circulation.


COURANT CONTINU

- Un **COURANT ALTERNATIF**, provenant d'une **TENSION ALTERNATIVE** est un courant dont l'intensité varie régulièrement et **PERIODIQUEMENT DANS LE TEMPS** et dont le **SENS DE CIRCULATION CHANGE** selon une **PERIODE BIEN DEFINIE**. La représentation graphique de ce courant donne une figure **SINUSOIDALE**.



Le **NOMBRE DE PERIODES** par seconde, permet de définir la **FREQUENCE** (exprimée en **HERTZ**). En **EUROPE** cette fréquence est de **50 HERTZ (50 Hz)**. En **AMERIQUE** par contre, elle est de **60 Hz**.

- Une FREQUENCE de 50 Hz, signifie que le courant (ou la tension) accomplit 50 cycles complets par seconde.
- En ELECTRONIQUE, on utilise couramment les MULTIPLES DU HERTZ, c'est-à-dire :

le KILOHERTZ = 1 000 Hz et

le MEGAHERTZ = 1 000 000 Hz

- On obtient la FREQUENCE, en divisant le nombre 1 par la PERIODE.

EXEMPLE :

: PERIODE = 0,02 s

FREQUENCE = $1/0,02 = 50$ Hz

REMARQUE : L'unité de fréquence, le HERTZ, n'a été adoptée qu'après la deuxième guerre mondiale. Auparavant on exprimait la fréquence en CYCLE par seconde. On trouve donc sur certains ouvrages (provenant des pays Anglo-saxons en particulier) les indications : cycles par seconde (c/s) et kilocycles par seconde (kc/s).

Il suffit de retenir que :

1 c/s = 1 Hz

1 kc/s = 1 KHz

La VALEUR EFFICACE du courant alternatif indique la valeur équivalente du courant continu, produisant la même quantité de chaleur dans le même temps.

La VALEUR EFFICACE s'obtient en DIVISANT LA VALEUR MAXIMUM par 1,41 (racine carrée de deux).

EXEMPLE : VALEUR MAX : 5 Ampères,64

VALEUR EFF : $5/1,41 = 4$ Ampères



EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 8

- 1 - Quelles sont les différences entre le courant alternatif et le courant continu ?
- 2 - Quelle est l'allure du courant alternatif ?
- 3 - A quoi sert la représentation graphique du courant alternatif ?
- 4 - Qu'est-ce que la période d'un courant alternatif ?
- 5 - Qu'indique la fréquence d'un courant alternatif ?
- 6 - Comment calcule-t-on la période d'un courant alternatif quand on en connaît la fréquence ?
- 7 - Quelle relation y-a-t-il entre la valeur maximum et la valeur efficace d'un courant alternatif ?



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 7

- 1 - On peut induire une f. e. m. dans une spire en faisant varier le flux d'induction embrassé par cette spire.
- 2 - La valeur de la f. e. m. induite dépend non seulement de la variation du flux embrassé, mais aussi du temps pendant lequel cette variation se produit.
- 3 - La loi de *Lenz* s'énonce ainsi : le courant induit a un sens de circulation tel qu'il s'oppose à la cause qui l'a engendré.
- 4 - L'induction mutuelle est un phénomène électromagnétique qui se produit entre deux circuits différents, tandis que l'auto-induction est un phénomène d'induction électromagnétique qui se produit dans un seul circuit.
- 5 - La loi de *Neumann*, dans le cas de la bobine, s'énonce ainsi : la f. e. m. d'auto-induction s'obtient en multipliant l'inductance par la variation du courant et en divisant ce produit par le temps durant lequel cette variation se produit.
- 6 - L'inductance totale présentée par deux ou plusieurs bobines reliées en série s'obtient en faisant la somme des inductances de toutes les bobines.
- 7 - L'inductance totale présentée par deux bobines d'inductance différente reliées en parallèle, s'obtient en multipliant leurs inductances et en divisant le produit obtenu par leur somme.
- 8 - L'énergie électrique emmagasinée par une bobine se calcule en multipliant l'inductance par le carré du courant et en divisant par deux le produit obtenu.

