EURELEC

THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

1 - LE CONDENSATEUR ET L'ENERGIE ELECTRIQUE

A la fin de la leçon précédente, nous avons vu comment on peut charger un condensateur au moyen d'une pile, et comment on peut le décharger ensuite sur une résistance ; il est facile de se convaincre que dans ce phénomène de charge et de décharge d'un condensateur, l'énergie électrique entre en jeu.

En effet, il suffit de remarquer que le courant de décharge, quand il traverse la résistance, donne lieu, comme tout courant électrique, à l'effet thermique, c'est-à-dire doit produire de la chaleur aux dépens de l'énergie électrique.

L'énergie consommée dans ce cas, a évidemment été fournie par le condensateur chargé, qui l'a reçue lui-même de la pile quand il a été chargé.

Si le condensateur a pu céder son énergie à la résistance, cela veut dire qu'il n'a pas dissipé cette énergie quand il l'a reçue de la pile, durant la charge, mais qu'il l'a simplement emmagasinée pour la conserver et la restituer au moment de la décharge.

Donc *le condensateur a la propriété d'emmagasiner l'énergie électrique* ; c'est un *ELEMENT CONSERVATEUR* de l'énergie à la différence de la résistance qui est un élément dissipateur car elle transforme l'énergie électrique en chaleur.

Nous allons voir maintenant comment on peut évaluer l'énergie emmagasinée par un condensateur, et comment se produit cet "emmagasinage".

1 - 1 - ENERGIE D'UN CONDENSATEUR

Dans la leçon précédente, nous avons vu que pour charger un condensateur, la pile devait déplacer une certaine quantité d'électricité d'une armature du condensateur à l'autre, en donnant lieu au courant de charge.

Mais nous savons que si nous multiplions cette quantité d'électricité par la tension de la pile, nous obtenons une énergie électrique : il s'agit bien sûr de l'énergie électrique que la pile a fournie pour charger le condensateur.

On pourrait penser que toute cette énergie se trouve emmagasinée dans le condensateur chargé ; ce n'est pas exact, car *le condensateur emmagasine seulement la moitié de l'énergie que la pile a dépensée pour le charger.*

Pour vérifier cette affirmation, déterminons l'énergie fournie par la décharge d'un condensateur , énergie qui est évidemment égale à celle emmagasinée par le condensateur.

Supposons par exemple qu'on ait chargé un condensateur d'une capacité de 3 F (farad) avec une quantité d'électricité de 12 C (coulomb) au moyen d'une pile qui donne une tension de 4 V (volts) ; on obtient l'énergie fournie par la pile pour charger le condensateur en multipliant la quantité d'électricité par la tension, ce qui donne : $12 \times 4 = 48$ J (joule).

Pour décharger le condensateur, nous le relions à une résistance : à cause de la résistance opposée au courant de décharge, il faut un certain temps pour que toute la quantité d'électricité passe d'une armature à l'autre ; il en résulte que le condensateur se décharge non pas d'un seul coup, mais graduellement.

Suivons donc la décharge à mesure qu'elle se produit, et étudions la situation du condensateur quand il s'est déjà déchargé de 3 C et que la quantité d'électricité présente sur ses armatures s'est réduite à 9 C.

Comme la quantité d'électricité a diminué, la tension a diminué aussi, et sa valeur doit descendre à 3 V ; en effet, en divisant la quantité d'électricité que le condensateur possède encore par la tension, nous devons obtenir toujours la capacité du condensateur, 3 F ($9 : 3 = 3$ F).

De même, à la moitié de la décharge, quand il n'y a plus que 6 C sur le condensateur, la tension entre ses armatures doit être réduite à 2 V ($6 : 2 = 3$ F) ; et quand la quantité d'électricité s'est réduite à 3 C seulement, la tension doit descendre à 1 V ($3 : 1 = 3$ F).

Enfin, quand le condensateur s'est déchargé complètement, la tension entre ses armatures s'est réduite à zéro.

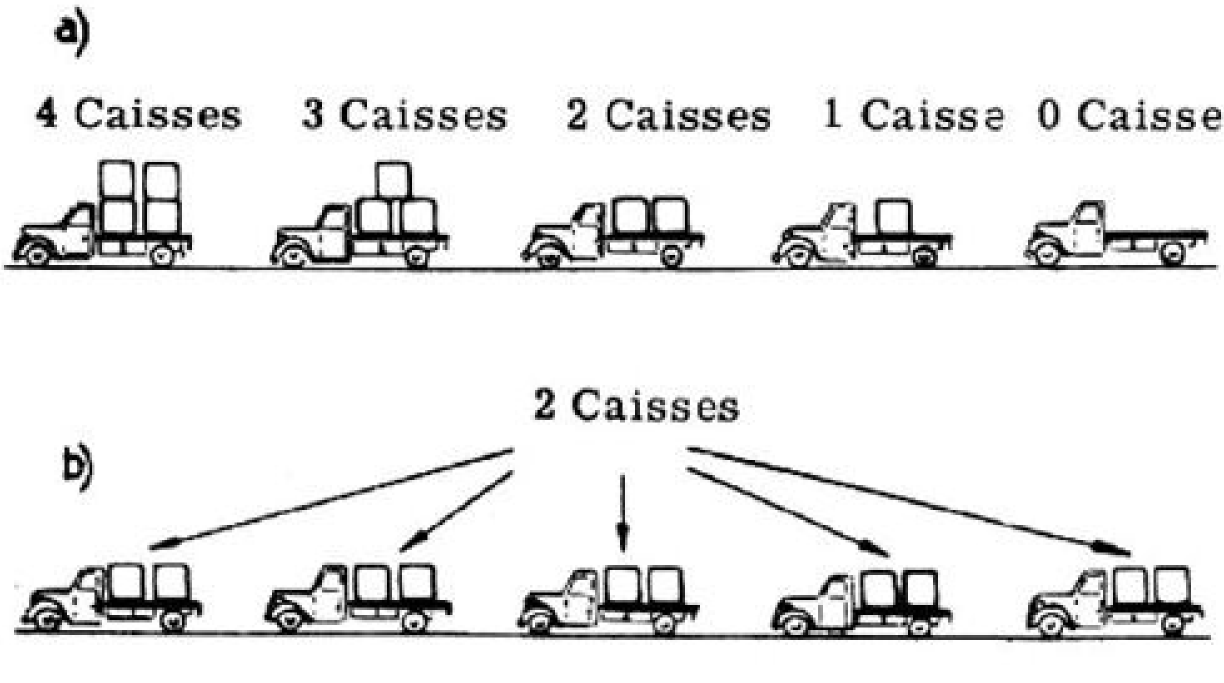
Nous voyons donc que la tension entre les armatures du condensateur diminue graduellement durant la décharge, en diminuant de 1 V chaque fois qu'une quantité d'électricité de 3 C s'est déchargée.

Dans le cas de la charge, la pile fournissait toujours la même tension de 4 V, et il était donc facile de calculer l'énergie dépensée en multipliant la quantité d'électricité fournie au condensateur par la tension ; dans le cas de la décharge, nous ne savons plus par quelle valeur de la tension nous devons multiplier la quantité d'électricité, car la tension varie continuellement, depuis la valeur maximum de 4 V au début de la décharge, jusqu'à la valeur minimum de 0 V à la fin de la décharge.

Quand la tension varie régulièrement, comme dans le cas qui nous occupe, il faut considérer sa *VALEUR MOYENNE*, c'est-à-dire la valeur qui se trouve à mi-chemin entre la valeur maximum et la valeur minimum, et qui, pour notre condensateur, est de 2 V.

Pour comprendre la raison de cela, référons-nous à l'exemple de la *figure 1 - a*, sur laquelle on voit cinq camions ; le premier transporte quatre caisses, le second trois, le troisième deux, le quatrième une et le cinquième aucune.

Dans ce cas, comme le nombre de caisses diminue régulièrement du premier camion au dernier, on peut aussi considérer le nombre de caisses



SIGNIFICATION DE LA VALEUR MOYENNE

Figure 1

transportées par le camion qui se trouve à mi-chemin entre le premier et le dernier, c'est-à-dire par le troisième, qui porte deux caisses.

Ce nombre moyen de caisses indique combien de caisses devrait porter chaque camion si on voulait répartir toutes les caisses équitablement sur les cinq véhicules (il y a en effet un total de 10 caisses pour 5 camions).

La *figure 1 - b* montre bien que les mêmes caisses peuvent aussi être transportées en en mettant deux sur chaque camion, car les caisses enlevées aux deux premiers véhicules compensent exactement celles qu'on a ajoutées sur les deux derniers camions : nous pouvons donc considérer que le transport serait réalisé de la même manière en mettant sur chaque camion un nombre de caisses égal au nombre moyen.

D'une façon analogue, dans le cas de la décharge du condensateur, les valeurs de la tension supérieures à la valeur moyenne compensent exactement celles qui sont inférieures à cette valeur moyenne ; donc nous pouvons considérer que tout se passe comme si la décharge se produisait à une tension toujours égale à la valeur moyenne de 2 V, c'est-à-dire comme si la même quantité d'électricité de 12 C obtenue par la décharge du condensateur étant fournie par une pile d'une tension de 2 V.

Cette pile fournirait donc la même énergie que celle qui a été cédée par le condensateur durant la décharge ; nous pouvons calculer cette énergie en multipliant la quantité d'électricité par la tension de 2 V.

L'énergie cédée par le condensateur, qui est égale à celle emmagasinée par le condensateur, est donc de $12 \times 2 = 24$ J, c'est-à-dire exactement la moitié de l'énergie dépensée pour le charger (48 J).

Puisque la valeur moyenne de la tension (2 V) correspond à la moitié de la tension de charge du condensateur (4 V), nous pouvons conclure que *l'énergie emmagasinée par un condensateur s'obtient en multipliant la quantité d'électricité présente sur l'une ou sur l'autre de ses armatures par la tension qui existe entre les armatures et en divisant le produit par deux.*

Comme nous vous l'avons déjà dit dans les leçons précédentes, dans la pratique on ne mesure pas la quantité d'électricité, donc il faut la remplacer par une autre expression dans laquelle apparaissent des grandeurs mesurées couramment.

Nous savons que la quantité d'électricité possédée par un condensateur est donnée par le produit de sa capacité par la tension qui existe entre ses armatures.

Donc, au lieu de multiplier la quantité d'électricité par la tension et de diviser par deux pour obtenir l'énergie emmagasinée, nous pouvons multiplier la capacité du condensateur par la tension, et nous obtenons ainsi la quantité d'électricité, et puis la multiplier encore par la tension et la diviser par deux, c'est-à-dire effectuer les opérations :

capacité x tension x tension : 2.

Mais faire la deuxième multiplication (tension x tension) signifie élever la tension au carré ; nous pouvons donc dire que *l'énergie emmagasinée par un condensateur s'obtient en multipliant la capacité par le carré de la tension et en divisant le produit par deux.*

Puisqu'il n'y a que la moitié de l'énergie fournie par la pile pour charger un condensateur qui reste emmagasinée dans le condensateur, nous devons nous demander ce que devient l'autre moitié de l'énergie.

Pour trouver une réponse à cette question il faut remarquer que le courant de charge d'un condensateur peut aussi donner lieu à une dissipation d'énergie par effet Joule, s'il traverse une résistance.

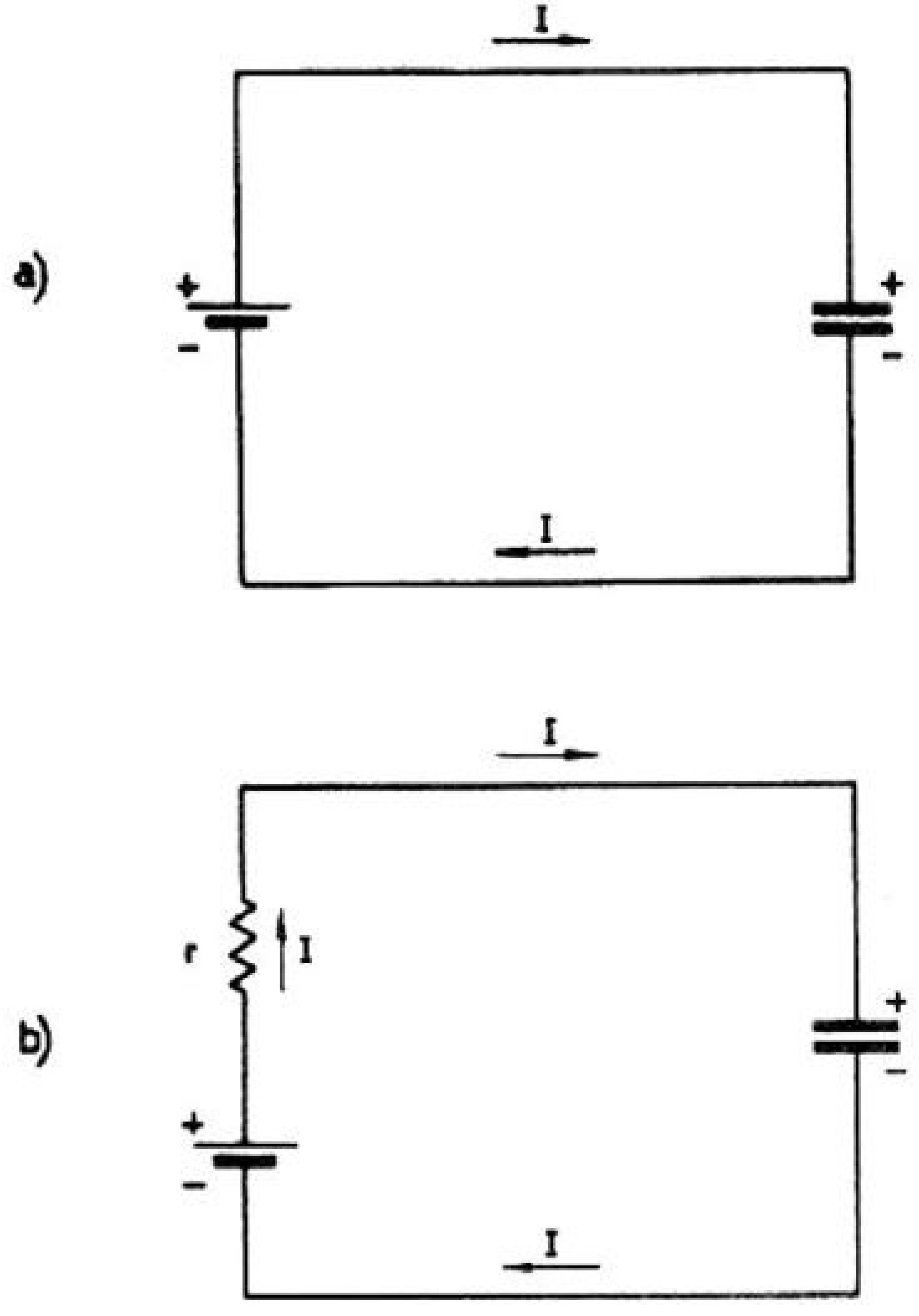
A première vue, nous pourrions croire que ce courant ne traverse aucune résistance, car le circuit de charge d'un condensateur que nous avons étudié dans la leçon précédente, et qui est reporté de nouveau sur la *figure 2-a* ne comprend qu'une pile reliée à un condensateur.

Mais nous devons tenir compte, comme on l'a déjà dit à propos des piles dans une des leçons précédentes, du fait que ces générateurs ont une résistance interne.

Dans de nombreux cas, on peut négliger cette résistance, car en général dans le circuit extérieur à la pile il y a une résistance beaucoup plus importante. Mais ceci ne se produit justement pas dans le cas que nous sommes en train d'étudier, car dans le circuit extérieur à la pile il n'y a aucune résistance. La seule résistance présente dans tout le circuit est donc celle qui est à l'intérieur de la pile.

Pour comprendre ce qui se produit durant la charge du condensateur il est donc nécessaire de tenir compte de la résistance interne de la pile, en la dessinant en série dans le circuit comme on le voit sur la *figure 2 - b.*

De cette façon, il est évident que le courant de charge I traverse aussi



CIRCUIT DE CHARGE D'UN CONDENSATEUR

Figure 2

cette résistance, en consommant de l'énergie qui se transforme en chaleur à l'intérieur même de la pile.

L'énergie ainsi consommée est égale à la moitié de celle fournie par la pile, puisque, comme nous l'avons vu précédemment, seule la moitié qui reste est emmagasinée dans le condensateur.

1 - 2 - CHAMP ELECTRIQUE

Voyons maintenant par quel procédé le condensateur emmagasine l'énergie électrique qu'il reçoit durant la charge.

Supposons que l'on ait chargé un condensateur à air, et imaginons qu'une des charges positives fournies par la pile se détache de l'armature positive et passe dans le diélectrique, comme on le voit sur la *figure 3 - a*.

Cette charge est repoussée par l'armature positive et attirée par l'armature négative : elle est donc soumise à une force qui a la direction indiquée par la flèche de la *figure 3 - a*.

Une force identique agirait aussi sur d'autres charges positives détachées de points différents de l'armature positive et les porterait sur l'armature négative.

En traçant les parcours suivis par un certain nombre de ces charges, on obtient la *figure 3 - b*, sur laquelle les parcours sont tracés en pointillé, avec une flèche qui indique le sens de déplacement des charges.

Ces lignes sont appelées *LIGNES DE FORCE*, car *la force qui détermine le déplacement des charges positives agit le long de ces lignes.*

L'ensemble des lignes de force délimite la zone de l'espace dans laquelle la force fait sentir son action : on dit donc que dans la zone ainsi déterminée il y a un *CHAMP DE FORCE ELECTRIQUE*, ou plus brièvement, un *CHAMP ELECTRIQUE.*

Une charge électrique positive qui se trouve dans le champ électrique est donc poussée à se déplacer sous l'effet de la force du champ qui lui est appliquée ; comme nous le savons d'après les leçons de physique, cette force accomplit un travail, qui est donné par le produit de la force par le déplacement.

D'autre part nous savons, toujours d'après les leçons de physique,

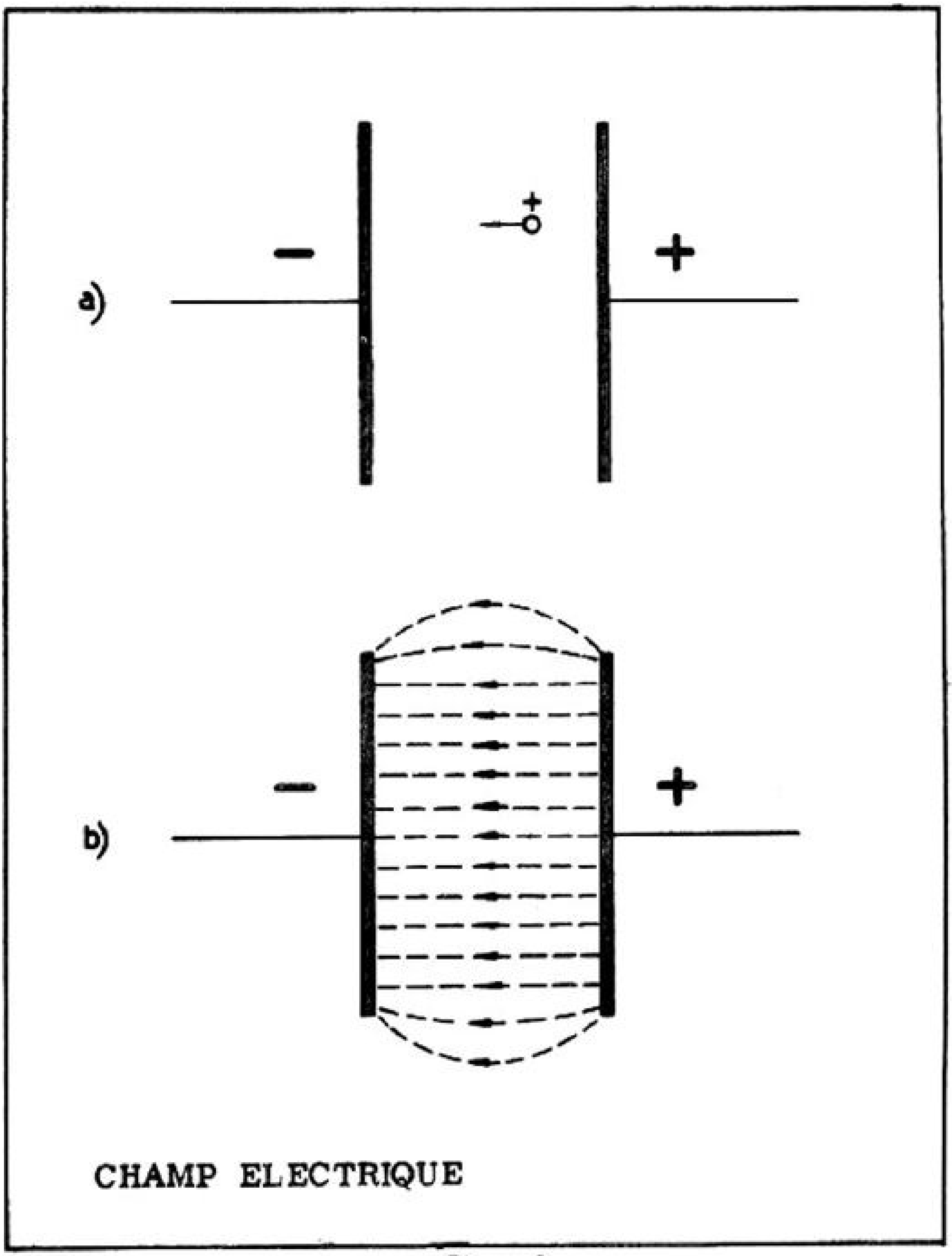


Figure 3

qu'on obtient le travail aux dépens d'une énergie équivalente qui est consommée, comme cela se produit aussi pour la chaleur.

Dans le cas que nous étudions, l'énergie consommée pour produire le travail est nécessairement l'énergie électrique que le condensateur a emmagasinée quand il a été chargé ; nous pouvons donc dire que *le condensateur emmagasine l'énergie électrique en créant un champ électrique qui permet d'obtenir un travail équivalent à cette énergie.*

On comprend donc pourquoi l'énergie emmagasinée par le condensateur diminue chaque fois qu'une charge quitte l'armature positive et passe sur l'armature négative : une partie de l'énergie emmagasinée est alors transformée en travail accompli par la force qui agit sur la charge.

Si toutes les charges positives quittaient leur armature et passaient sur l'armature négative, toute l'énergie emmagasinée par le condensateur serait transformée en travail, et le condensateur se déchargerait totalement, car les charges positives arrivées sur l'armature négative neutraliseraient toutes les charges négatives qui sont présentes.

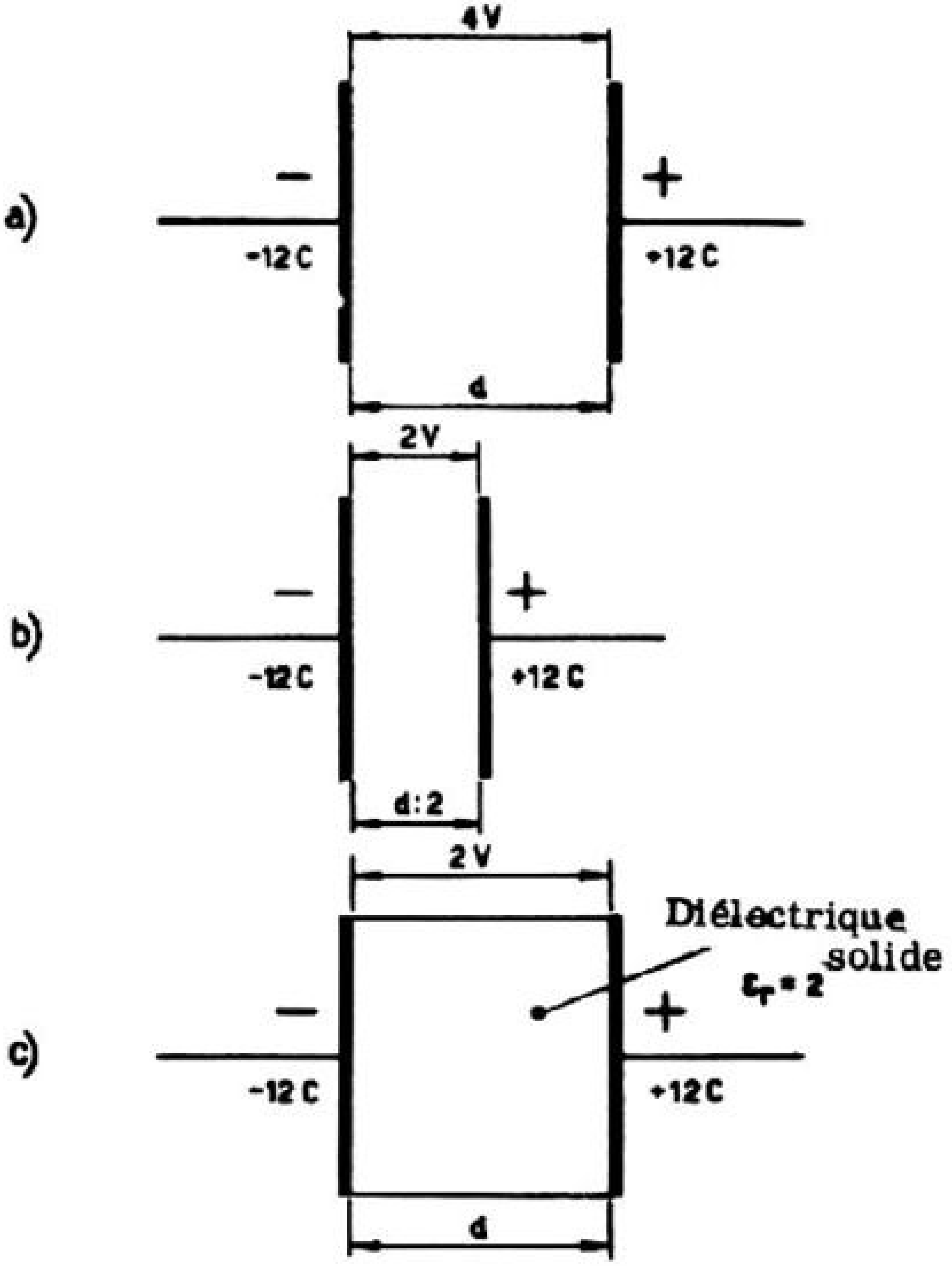
En réalité les charges ne peuvent pas se détacher de l'armature positive, mais elles peuvent se déplacer avec elle, si l'armature peut bouger : dans ce cas l'armature positive est attirée par l'armature négative et vient en contact avec elle, déterminant ainsi la transformation en travail de toute l'énergie emmagasinée par le condensateur.

Voyons maintenant ce qui se produit si l'armature positive peut s'approcher de l'armature négative, mais sans venir en contact avec elle ; nous verrons ainsi pourquoi la capacité d'un condensateur augmente quand ses armatures se rapprochent.

Revenons au condensateur de la *figure 4 - a*, que nous avons déjà étudié : ce condensateur a été chargé par une pile de 4 V, puis il a été détaché d'elle ; entre ses armatures il y a donc une tension de 4 V.

Puisque la pile a déplacé de l'armature négative à l'armature positive une quantité d'électricité de 12 C, sur l'armature négative il y a en moins les 12 C qui se trouvent en plus sur l'armature positive ; ceci a été indiqué sur la *figure 4 - a* par les inscriptions " – 12 C" et " + 12 C" placées à côté des armatures.

Rappelons-nous que le condensateur a une capacité de 3 F qu'on obtient en divisant la quantité d'électricité par la tension (12 : 4 = 3).



VARIATION DE LA CAPACITE AVEC LA DISTANCE ENTRE LES ARMATURES ET LE DIELECTRIQUE

Figure 4

Supposons maintenant que l'armature positive se soit approchée de l'armature négative comme on le voit sur la *figure 4 - b*, c'est-à-dire de façon à réduire de moitié la distance *d* qu'il y avait au début entre les deux armatures.

On a vu précédemment que quand l'armature positive se déplace de toute la longueur *d* et arrive en contact avec l'armature négative, toute l'énergie emmagasinée est transformée en travail ; on comprend donc que dans ce cas, où l'armature positive ne se déplace que de la moitié de la distance *d*, la moitié du travail précédent est donc produite et par conséquent l'énergie emmagasinée est réduite de moitié.

Puisque cette énergie est donnée par le produit de la quantité d'électricité par la tension, divisé par deux, et qu'elle est réduite de moitié, une de ces grandeurs doit être réduite de la même façon.

La quantité d'électricité présente sur les armatures ne peut pas avoir varié, car les armatures sont isolées; par conséquent, c'est la tension qui doit se réduire de moitié : entre les armatures du condensateur on n'a donc plus qu'une tension de 2 V, comme l'indique la *figure 4 - b.*

Si nous divisons maintenant la quantité d'électricité par la tension (12 : 2 = 6) nous trouvons que la capacité du condensateur a doublé : elle est de 6 F. Nous avons ainsi la confirmation de ce qui a été dit dans la leçon précédente : la capacité du condensateur augmente quand la distance entre ses armatures diminue.

Dans la leçon précédente, nous avons supposé qu'on rapprochait les armatures alors que le condensateur était relié à la pile, et nous avons vu que celle-ci fournissait un courant de charge supplémentaire ; maintenant nous savons que ce courant sert à maintenir la tension entre les armatures à la même valeur que celle donnée par la pile, puisque nous constatons sur la *figure 4* qu'en rapprochant les armatures on fait diminuer la tension.

Supposons maintenant qu'on introduise entre les armatures du condensateur de la *figure 4 - a* un diélectrique solide, comme sur la *figure 4 - c :* d'après ce qui a été dit dans la leçon précédente, si ce diélectrique a une constante diélectrique relative $\epsilon r = 2$, la capacité du condensateur est multipliée par deux.

Puisque, dans ce cas encore la quantité d'électricité sur les armatures n'a pas pu varier, la multiplication de la capacité par deux doit être déterminée par une réduction de moitié de la tension entre les armatures, comme l'indique la *figure 4 - c.*

L'introduction entre les armatures d'un diélectrique solide de constante diélectrique relative $\epsilon r = 2$ amène donc le condensateur dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles il se trouvait sur la *figure 4 - b*, après le rapprochement de ses armatures.

Dans ce cas aussi, la moitié de l'énergie emmagasinée doit donc avoir été transformée en travail ; puisqu'on n'a eu aucun déplacement des armatures, le travail a dû être produit d'une façon différente.

Rappelons à ce propos que le diélectrique se polarise, parce que les électrons de ses atomes viennent tourner sur les orbites déplacées par rapport au noyau, comme on l'a décrit dans la leçon précédente.

Le déplacement des orbites électroniques est déterminé par la force du champ, qui agit sur les électrons de façon à les rapprocher de l'armature positive (puisqu'il s'agit de charges négatives).

Ce travail accompli par la force du champ sur chaque électron est très réduit, le déplacement étant très petit ; mais comme les électrons du diélectrique sont très nombreux, l'ensemble de tous ces travaux représente au total la dépense de la moitié de l'énergie emmagasinée par le condensateur.

Remarquons que la force du champ agit dans tout l'espace compris entre les armatures, partout où il y a des électrons : donc *nous pouvons considérer l'énergie emmagasinée par le condensateur comme répartie dans tout le diélectrique, puisqu'en chaque point de celui-ci il est possible d'obtenir le travail équivalent.*

1 - 3 - RIGIDITE DIELECTRIQUE

Jusqu'à maintenant nous avons vu que les lignes de force permettaient de connaître la direction et le sens dans lesquels agissait la force du champ sur les charges positives qui sont entre les armatures *(figure 3 - b) ;* pour déterminer complètement la force du champ, il faut aussi en connaître la grandeur, c'est-à-dire l'intensité.

Dans ce but, reportons-nous encore à la *figure 3 - a* et souvenons-nous que le travail accompli par la force du champ, quand il produit le déplacement de la charge positive d'une armature à l'autre, s'obtient en multipliant la force par le déplacement, qui dans ce cas est égal à la distance entre les armatures.

Le travail doit être égal à l'énergie perdue par la charge ; mais d'après ce qu'on a dit dans la leçon précédente, nous savons que l'énergie de la charge est donnée par son potentiel électrique : puisque la charge passe de l'armature positive à l'armature négative, l'énergie perdue par celle-ci est donnée par la différence de potentiel entre les armatures, c'est-à-dire par la tension qui existe entre elles.

Nous voyons donc que la tension entre les armatures du condensateur doit être égale au produit de la force du champ par la distance entre les armatures.

Connaissant la tension et la distance entre les armatures, on peut calculer la force du champ en divisant la première par la seconde : nous pouvons ainsi conclure que *la force du champ qui agit sur le diélectrique d'un condensateur s'obtient en divisant la tension qui existe entre ses armatures par la distance entre elles.*

Cette force est appelée plus précisément *INTENSITE DU CHAMP ELECTRIQUE* ; si la tension est exprimée en volts et la distance en mètres, elle est exprimée en volts par mètre (V/m).

Il en résulte que l'intensité du champ électrique augmente avec la tension entre les armatures et avec la diminution de la distance qui les sépare; de ce fait découle une conséquence d'une grande importance pratique.

Supposons, en effet, que l'on ait un condensateur avec un diélectrique solide et que l'on augmente progressivement la tension appliquée à ses armatures.

Chaque fois que la tension augmente, l'intensité du champ électrique augmente aussi, ainsi que le déplacement des orbites électroniques par rapport aux noyaux du diélectrique.

A un certain point, si on continue d'augmenter la tension, l'intensité du champ peut atteindre une valeur si élevée qu'elle peut détacher les électrons de leurs atomes : dans ce cas, comme il y a des électrons libres dans le diélectrique, celui-ci perd ses propriétés isolantes et laisse passer le courant d'une armature à l'autre.

Le passage du courant se produit sous forme d'une violente décharge électrique, une espèce de foudre en miniature, qui perfore le diélectrique et établit un contact direct entre les armatures du condensateur. Le condensateur est alors en *COURT-CIRCUIT* et donc inutilisable ; nous pouvons considérer la décharge comme une très rapide transformation en chaleur de toute l'énergie emmagasinée par le condensateur.

La valeur de l'intensité du champ qui produit la décharge s'appelle la *RIGIDITE DIELECTRIQUE* de la matière qui constitue le diélectrique ; cette valeur est différente pour chaque type de diélectrique employé et *chaque matière diélectrique est donc caractérisée non seulement par sa constante diélectrique relative, mais aussi par sa rigidité diélectrique.*

Pour mieux comprendre ce qu'on entend par rigidité diélectrique nous pouvons remarquer qu'elle indique la tension à laquelle correspondrait la décharge entre deux armatures distantes de un mètre entre lesquelles serait placé le diélectrique.

Pour les diélectriques couramment employés, cette tension est très élevée, à tel point qu'on l'exprime en général en kilovolts plutôt qu'en volts (le kilovolt vaut 1.000 volts).

Par exemple, entre deux armatures distantes de un mètre séparées par un diélectrique en verre, la décharge se produit pour une tension comprise entre 30.000 kV et 150.000 kV selon le verre employé : ceci signifie que le verre a une rigidité diélectrique comprise entre 30.000 kV/m et 150.000 kV/m.

Si la distance entre les armatures était au contraire de un millimètre, la décharge se produirait pour une tension mille fois plus petite, comprise entre 30 kV et 150 kV ; il y a des condensateurs dans lesquels l'épaisseur du diélectrique peut être de quelques millièmes de millimètre, et on comprend donc que la décharge entre leurs armatures se produise pour des tensions assez faibles ; on trouve de tels condensateurs dans les circuits radio.

Pour ce motif, on indique sur chaque condensateur la tension, appelée *TENSION DE TRAVAIL*, que l'on ne doit pas dépasser durant le fonctionnement pour ne pas détériorer le condensateur.

Souvenez-vous donc qu'*un condensateur est caractérisé non seulement par sa capacité, mais aussi par sa tension de travail.*

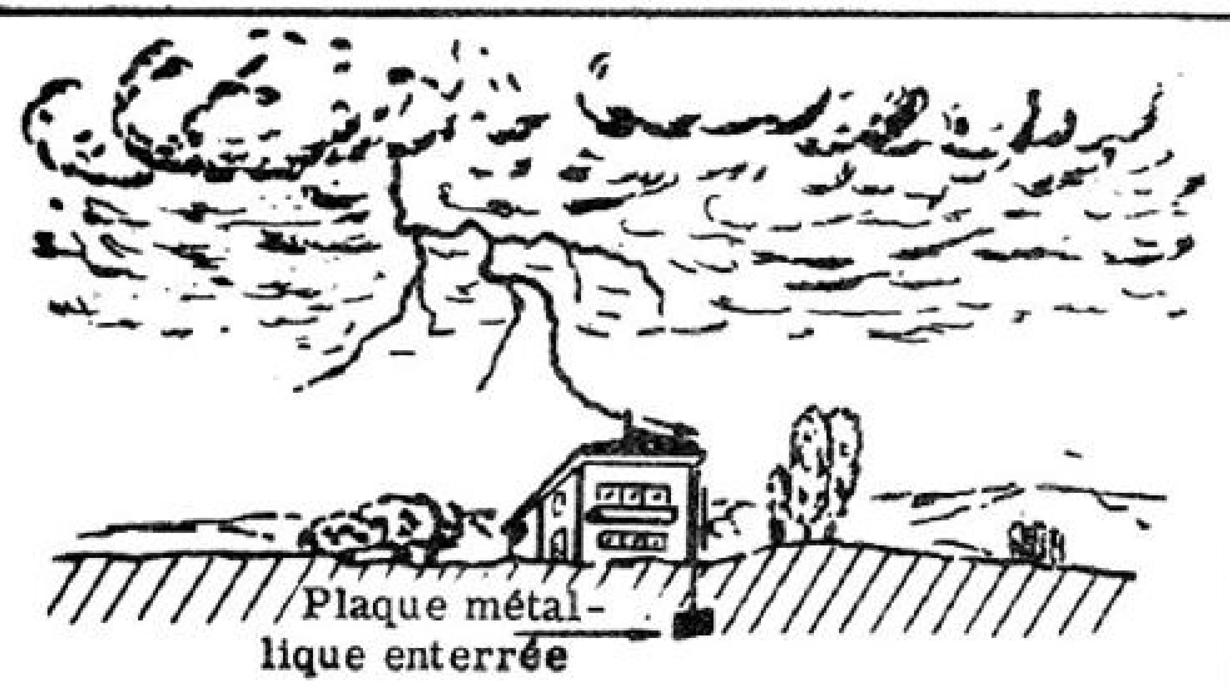
Dans l'air il peut se produire aussi une décharge analogue à celle qui se produit dans les diélectriques solides ; l'air a donc une rigidité diélectrique qui est, pour l'air sec, de 2.400 kV/m.

Dans ce cas l'air perd ses propriétés isolantes sous l'effet de l'*IONISATION*, phénomène dont nous nous occuperons quand nous étudierons les tubes à gaz.

Les éclairs que nous observons pendant les orages ne sont autres que des décharges électriques produites dans l'air ; en effet, pour diverses raisons, des charges électriques peuvent s'accumuler sur les nuages, qui se comportent donc comme les armatures d'un condensateur chargé.

Ainsi un champ électrique peut s'établir entre deux bancs de nuages qui sont à des potentiels différents ou entre un nuage et la terre ; quand l'intensité du champ est supérieure à la rigidité diélectrique de l'air, la décharge se produit entre les nuages ou entre le nuage et la terre.

Dans ce dernier cas, la foudre se décharge à la terre ; pour éviter d'éventuels effets nuisibles on protège les édifices au moyen de paratonnerres mis en contact avec le sol *(figure 5)*. On offre ainsi à la décharge électrique un parcours facile vers le sol, en l'empêchant de suivre d'autres voies et de causer des dommages.



DECHARGE A LA TERRE DE LA FOUDRE AU MOYEN D'UN PARATONNERRE

Figure 5

1 - 4 - LIAISONS EN SERIE ET EN PARALLELE

Jusqu'à maintenant, nous avons toujours étudié des circuits qui comprennent un seul condensateur ; maintenant en conclusion de tout ce qui a été dit à propos des condensateurs, nous devons examiner les liaisons qui peuvent être faites entre ces éléments.

Comme les piles et les résistances, les condensateurs peuvent être reliés en série ou en parallèle ; de ces deux liaisons la plus simple est la liaison en parallèle, que nous étudierons donc la première, en nous limitant pour plus de simplicité au cas de deux condensateurs ; tout ce qu'on dira sera pourtant valable pour un nombre quelconque de ces éléments.

Le circuit électrique qui comprend deux condensateurs reliés en parallèle est dessiné sur la *figure 6 - a*, sur laquelle les deux condensateurs sont désignés par les symboles C1 et C2.

Avant tout, nous constatons que les condensateurs ont tous les deux une armature reliée au pôle positif de la pile, et l'autre armature reliée à son pôle négatif, ce qui signifie qu'entre les armatures de chaque condensateur il y a la même tension ; cette caractéristique est commune à tous les éléments reliés en parallèle, comme nous l'avons déjà vu pour les piles et les résistances.

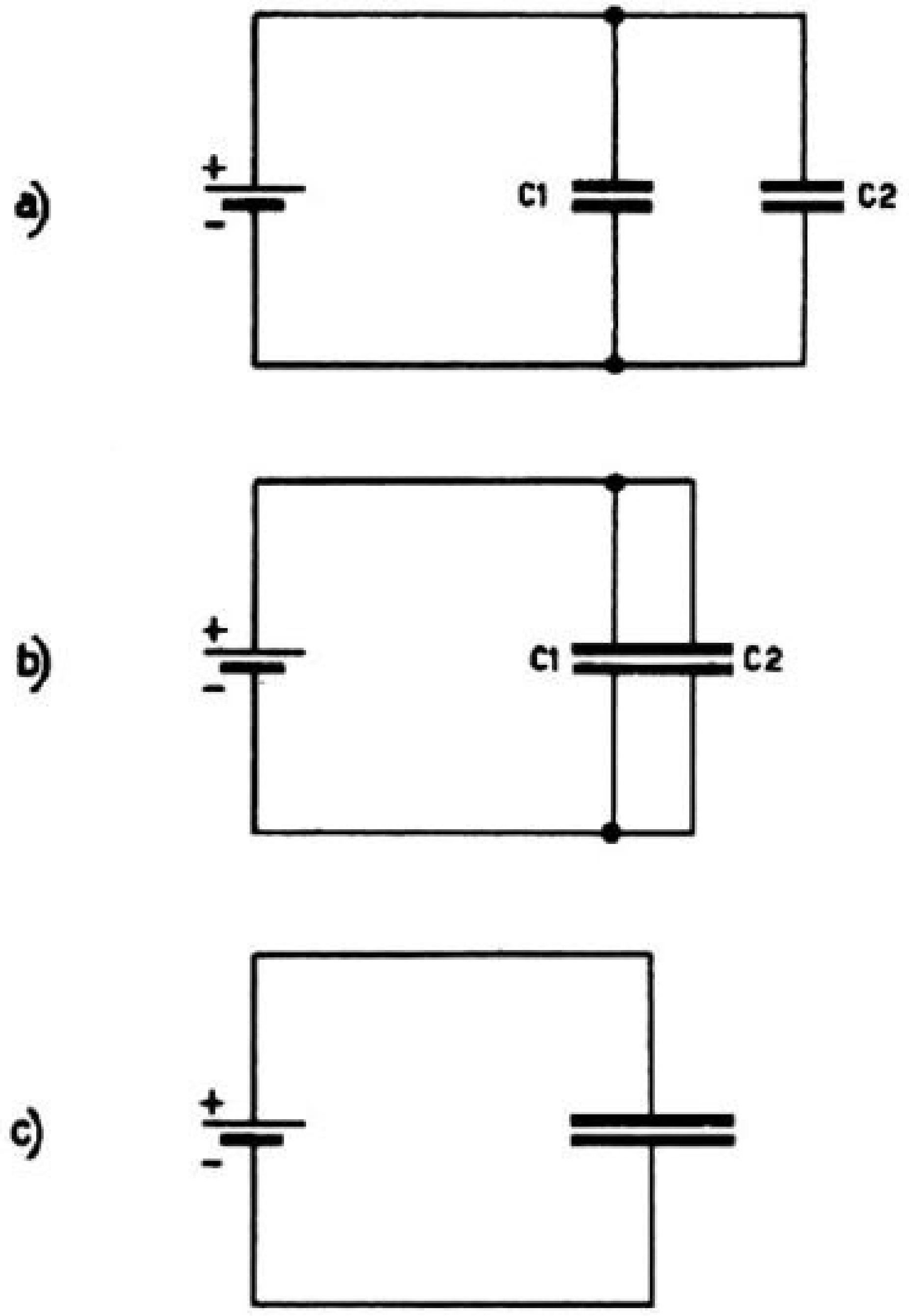
Puisque entre les armatures des deux condensateurs il y a la même tension, chaque condensateur se charge avec une quantité d'électricité d'autant plus grande que sa capacité est plus grande.

Voyons maintenant comment on peut évaluer la capacité présentée au total par le circuit, quand on connaît la capacité de chacun des deux condensateurs reliés en parallèle.

Dans ce but imaginons que l'on rapproche les deux condensateurs jusqu'à ce que leurs armatures reliées au même pôle entrent en contact, comme sur la *figure 6 - b* ; ceci est possible, car les armatures mises en contact sont au même potentiel électrique.

En agissant ainsi nous ne changeons pas la capacité totale du circuit car nous ne faisons varier aucun des éléments dont dépend la capacité, c'est-à-dire ni le diélectrique, ni la distance entre les armatures, ni leur superficie.

Les deux condensateurs ainsi réunis constituent un seul condensateur *(figure 6 - c)* dont la capacité est donc égale à celle présentée au total par les deux condensateurs en parallèle de la *figure 6 - a*.



LIAISON EN PARALLELE DES CONDENSATEURS

Figure 6

Pour trouver cette capacité, observons que les armatures du nouveau condensateur ont été obtenues en réunissant les armatures correspondantes des condensateurs C1 et C2 : elles ont donc évidemment une superficie égale à la somme des superficies de celles-ci.

En nous souvenant que la capacité d'un condensateur augmente quand la superficie de ses armatures augmente, nous concluons que la capacité du condensateur de la *figure 6 - c* est égale à la somme des capacités des deux condensateurs en parallèle de la *figure 6 - a.*

Nous pouvons donc conclure que *la capacité totale de deux ou plusieurs condensateurs en parallèle est obtenue en faisant la somme de leurs capacités.*

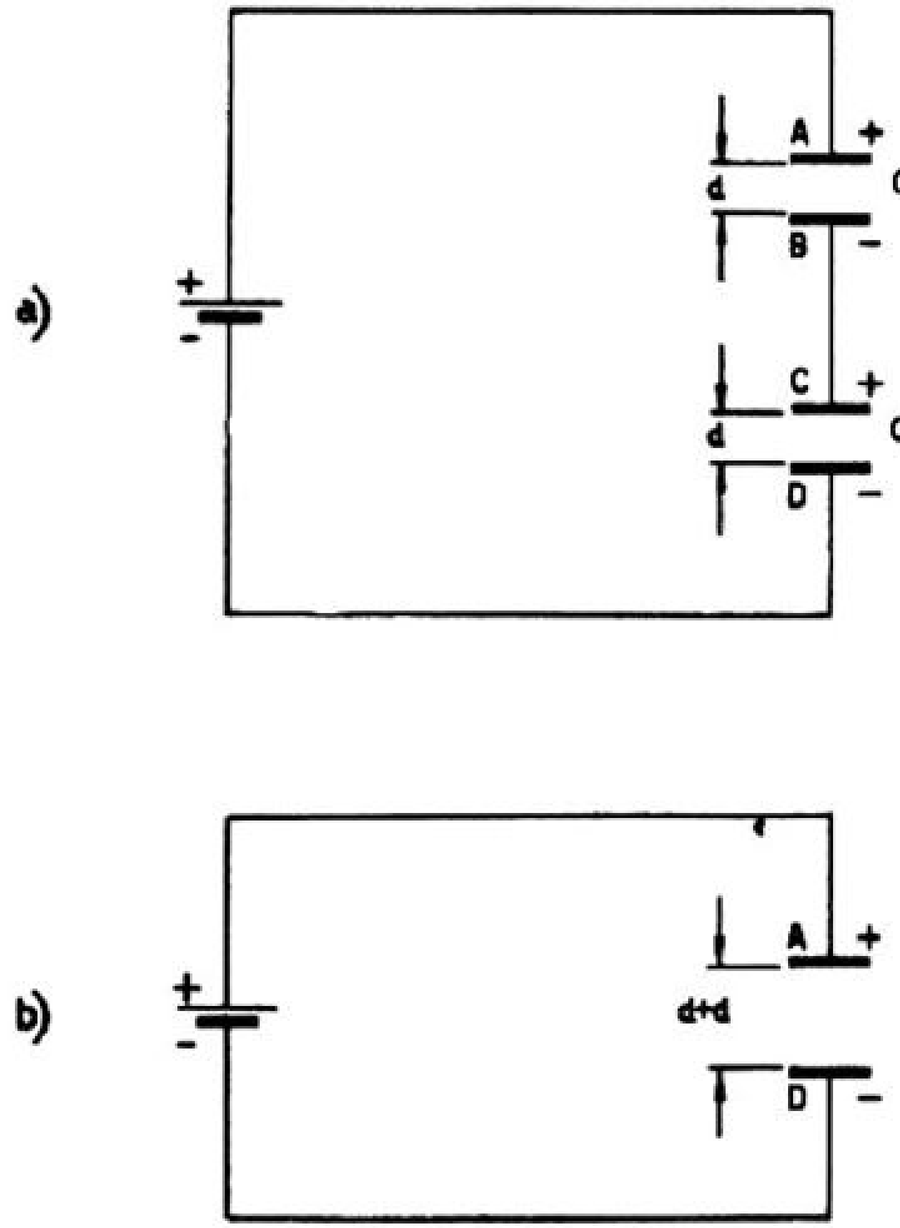
Etudions maintenant deux condensateurs reliés en série, en supposant pour le moment qu'ils sont tous les deux égaux, et qu'ils ont donc la même capacité ; sur la *figure 7 - a* on a indiqué les deux condensateurs C1 et C2 et leurs armatures qu'on a distinguées par les lettres A, B, C, D, pour faciliter l'explication qui va suivre.

Quand les deux condensateurs sont chargés, la pile déplace la quantité d'électricité positive de l'armature D reliée à son pôle négatif à l'armature A reliée à son pôle positif.

Les armatures B et C, non reliées à la pile, peuvent être considérées avec le conducteur qui les unit comme un seul corps métallique, qui est chargé par induction par les armatures A et D entre lesquelles il se trouve placé sur les armatures B et C, il y a donc des quantités d'électricité égales mais de signe contraire à celles qui sont sur les armatures en face d'elles, comme l'indiquent les signes + et — de la *figure 7 - a.*

Puisque sur les quatre armatures il y a la même quantité d'électricité, et puisque nous avons supposé que les deux condensateurs avaient la même capacité, il y a nécessairement aux extrémités de chacun d'eux la même tension ; nous voyons donc que la tension de la pile se divise en deux parties égales entre les deux condensateurs, comme cela se produit pour deux résistances égales en série.

Dans ce cas les deux résistances sont traversées par le même courant, caractéristique commune de toutes les liaisons en série ; dans le circuit formé par les condensateurs en série il n'y a pas de passage du courant, c'est-à-dire de passage d'une certaine quantité d'électricité chaque seconde, mais il y a



LIAISON EN SERIE DE DEUX CONDENSATEURS DE MEME CAPACITE

Figure 7

égalité de la quantité d'électricité immobilisée sur chaque armature.

Pour déterminer la capacité totale du circuit qui comprend les deux condensateurs en série, nous constatons que les armatures B et C, qui sont isolées de la pile, n'échangent avec elle aucune quantité d'électricité pendant la charge des deux condensateurs ; en ce qui concerne la pile rien ne change donc quand on élimine les deux armatures, et qu'on ne laisse que les armatures A et D reliées directement à ses pôles, de façon à constituer un seul condensateur, comme sur la *figure 7 - b.*

Pour que la pile ne se ressente pas de l'élimination des armatures B et C, il est donc nécessaire que la capacité totale du circuit reste inchangée et dans ce but il faut ne pas faire varier l'épaisseur du diélectrique qui est donnée par la distance entre les armatures, indiquée par *d* sur la *figure 7 - a.*

Puisque dans le circuit de la *figure 7 - a* il y a deux diélectriques qui ont chacun l'épaisseur *d*, l'unique condensateur de la *figure 7 - b* devra avoir un diélectrique d'épaisseur double, c'est-à-dire une distance entre les armatures égale à d + d.

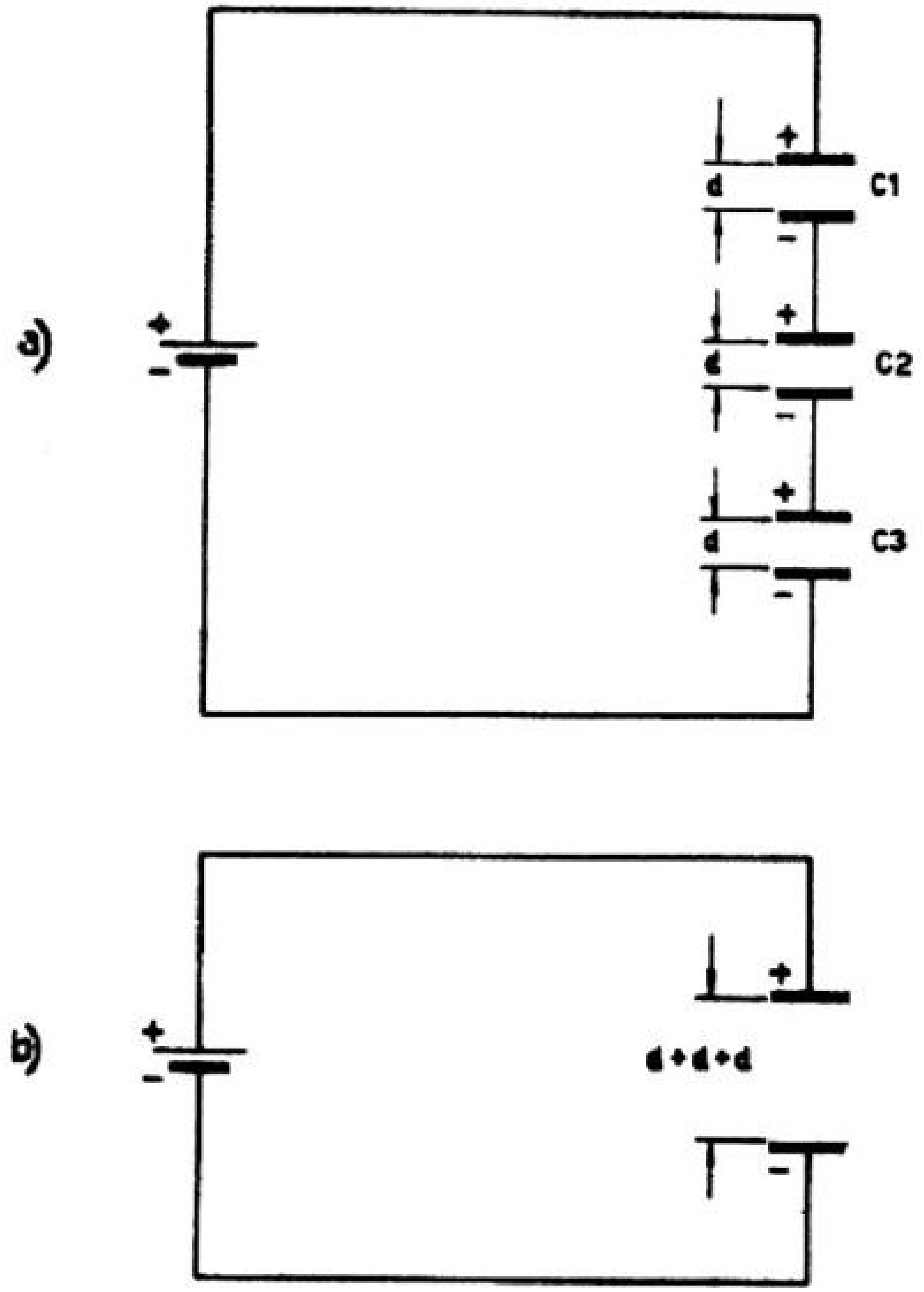
Si nous nous souvenons de tout ce qui a été dit dans la leçon précédente, c'est-à-dire que la capacité d'un condensateur diminue quand la distance entre ses armatures augmente, on comprend que le condensateur de la *figure 7 - b* a une capacité qui est la moitié de celle de chacun des condensateurs de la *figure 7 - a*, puisque la distance entre ses armatures est multipliée par deux.

On constate donc que *la capacité totale de deux condensateurs reliés en série qui ont la même capacité est égale à la moitié de la capacité de chaque condensateur.*

Quand il y a trois condensateurs en série *(figure 8 - a)* et qu'ils ont tous la même capacité, on peut agir de la même façon, en éliminant toutes les armatures intermédiaires, et en laissant seulement les deux armatures qui sont reliées aux pôles de la pile, comme sur la *figure 8 - b.*

Dans ce cas la distance entre les armatures du condensateur de la *figure 8 - b* doit être trois fois plus grande que celle qui est entre les armatures de chacun des trois condensateurs en série ; par conséquent la capacité totale du circuit est donc égale à un tiers de la capacité de chacun des condensateurs en série.

Nous pouvons donc conclure que *la capacité totale de deux ou plusi-*



LIAISON EN SERIE DE TROIS CONDENSATEURS DE CAPACITE EGALE

Figure 8

eurs condensateurs qui ont la même capacité et qui sont reliés en série, est obtenue en divisant la capacité d'un seul condensateur, par le nombre des condensateurs.

Puisque cette règle n'est valable que quand les condensateurs en série ont tous la même capacité, voyons maintenant comment on peut déterminer la capacité totale pour un circuit qui comprend des condensateurs de capacité différente.

Etudions d'abord un circuit constitué par deux condensateurs en série, en nous référant à la *figure 9 - a*, sur laquelle on voit que l'un des condensateurs a une capacité de 3 F et que l'autre a une capacité de 2 F.

D'après tout ce qu'on a dit précédemment, le condensateur de 3 F peut être considéré comme étant égal à deux condensateurs en série de 6 F, comme on le voit sur la *figure 9 - b* : en effet, en divisant la capacité de ces deux condensateurs (6 F) par leur nombre (2), nous obtenons bien la capacité du condensateur de 3 F (6 : 2 = 3).

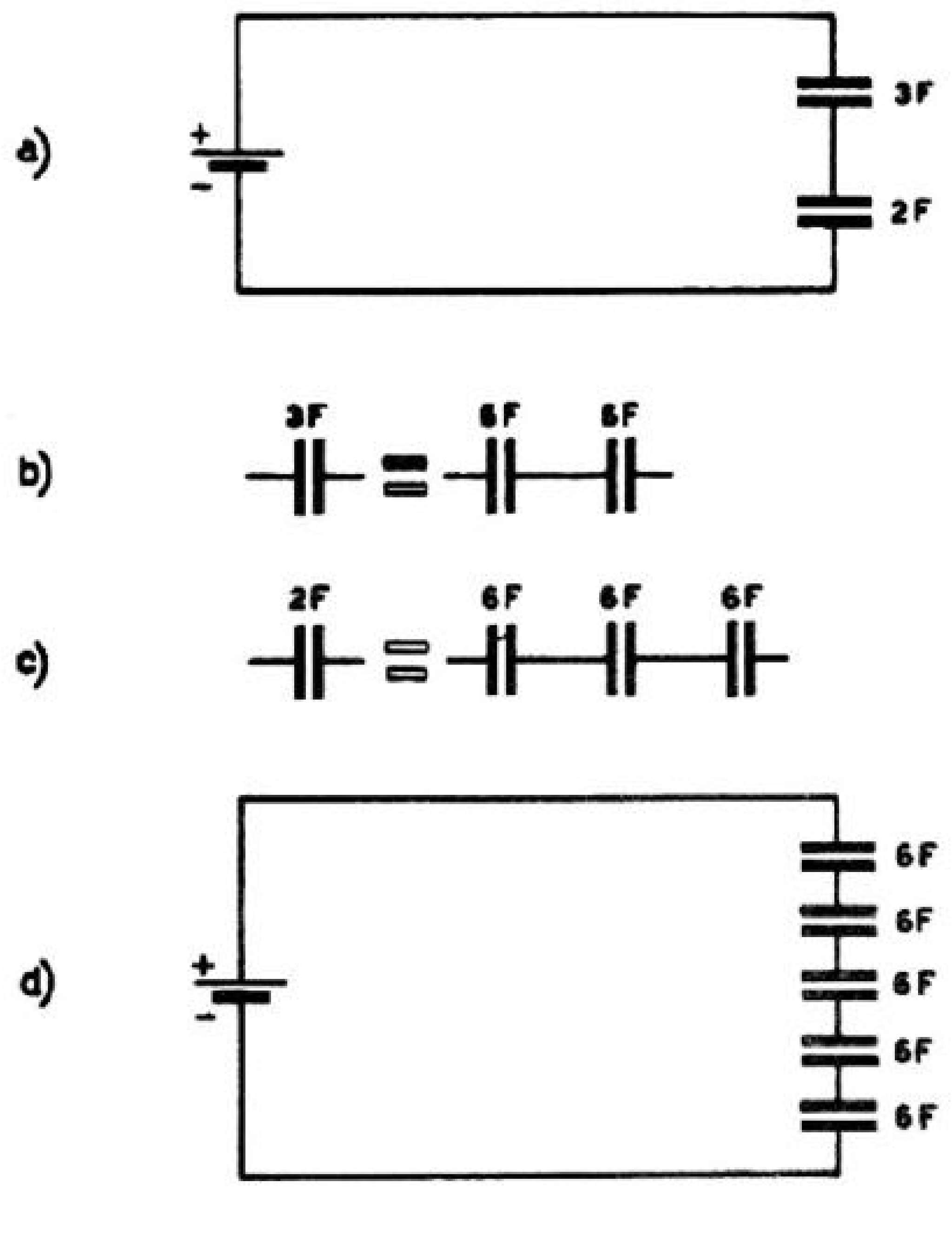
De la même façon nous pouvons considérer que le conducteur de 2 F équivaut à trois condensateurs en série de 6 F *(figure 9 - c)*, en effet en divisant la capacité de ces trois condensateurs (6 F) par leur nombre (3), nous obtenons la capacité du condensateur de 2 F (6 : 3 = 2).

On constate donc que dans le circuit de la *figure 9 - a* on peut mettre deux condensateurs de 6 F en série à la place du condensateur de 3 F, et trois condensateurs de 6 F en série à la place du condensateur de 2 F : on obtient ainsi le circuit de la *figure 9 - d*, sur laquelle il y a maintenant cinq condensateurs en série, qui ont tous la même capacité de 6 F.

Nous sommes donc en mesure de déterminer la capacité totale de ce dernier circuit en nous servant de la règle apprise précédemment : en effet, en divisant la capacité d'un des cinq condensateurs en série (6 F) par leur nombre (5), nous trouvons que le circuit de la *figure 9 - d* (et donc aussi le circuit de la *figure 9 - a* dont il découle) a une capacité totale de 1,2 F (6 : 5 = 1,2).

La méthode suivie est assez laborieuse, mais on peut trouver une règle d'application immédiate.

Examinons dans ce but la division 6 : 5. Nous constatons que le nombre 6 s'obtient en multipliant les nombres 2 et 3 qui indiquent la capacité des deux condensateurs en série, tandis que le nombre 5 est donné par la



LIAISON EN SERIE DE DEUX CONDENSATEURS DE CAPACITES DIFFERENTES

Figure 9

somme de ces mêmes nombres.

Ceci est applicable en général, quelle que soit la capacité des deux condensateurs en série, comme vous pourrez le constater vous-même en essayant de refaire d'après le même procédé que celui indiqué sur la *figure 9*, le calcul pour deux autres condensateurs de capacité quelconque que vous choisirez.

Nous pouvons donc conclure que *la capacité totale de deux condensateurs en série s'obtient en multipliant leurs capacités et en divisant ce produit par leur somme.*

Cette règle est aussi valable quand les deux condensateurs ont la même capacité.

En effet, supposons par exemple, que l'on ait deux condensateurs en série de 4 F : en multipliant leurs capacités (4 x 4 = 16) et en divisant le produit par leur somme (4 + 4 = 8) nous obtenons le résultat (16 : 8 = 2) qui est le même que nous obtiendrions en appliquant la règle précédente, c'est-à-dire en divisant la capacité d'un seul condensateur (4) par le nombre (2) des condensateurs (4 : 2 = 2 F).

Quand les condensateurs en série sont plus de deux et ont des capacités différentes, on peut appliquer la règle dont on vient de parler à deux condensateurs chaque fois.

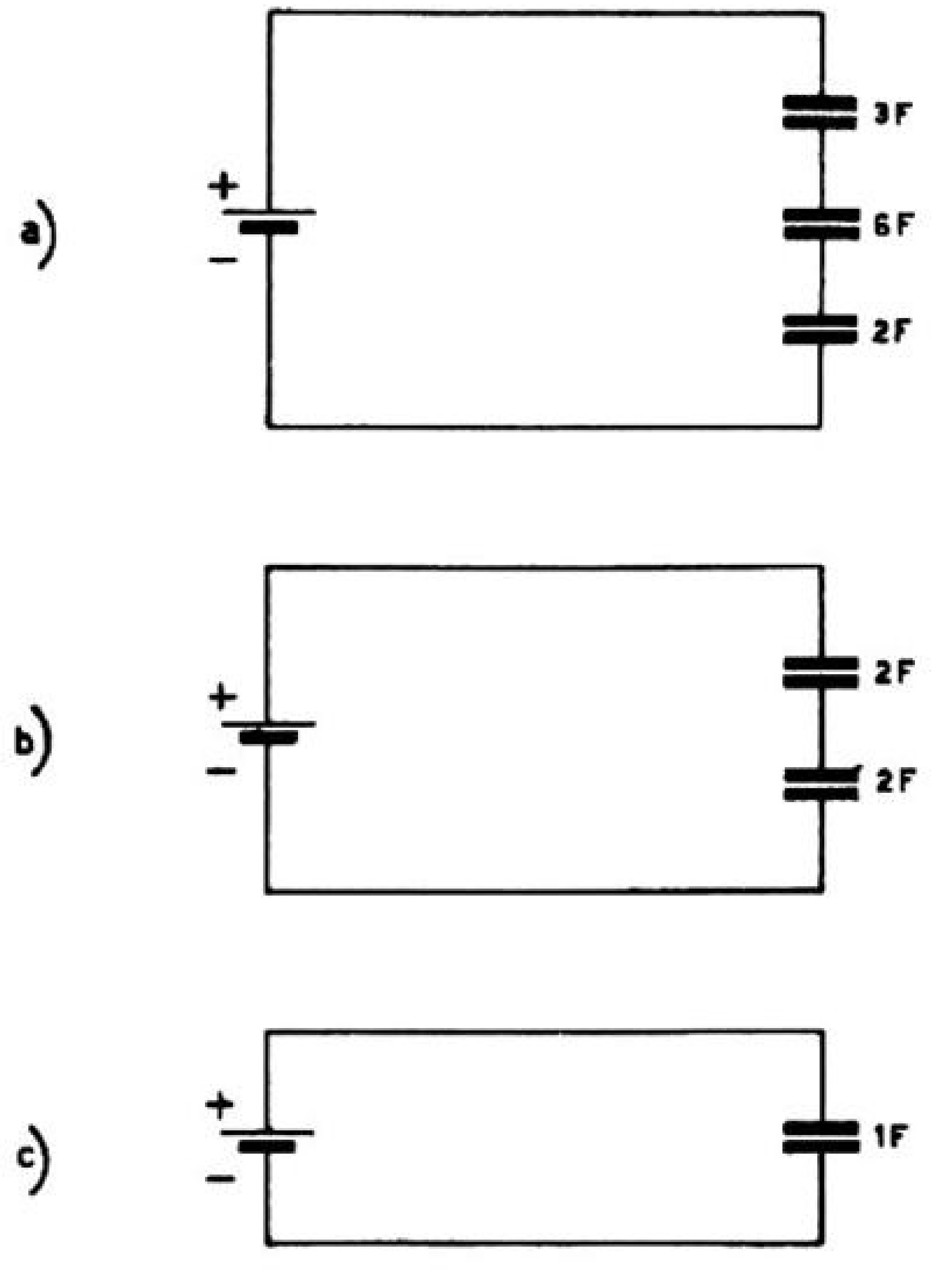
Un exemple montrera clairement comment on procède dans ce cas.

Nous nous proposons de déterminer la capacité totale présentée par le circuit de la *figure 10 - a*, qui comprend trois condensateurs en série, de capacités 3 F, 6 F, 2 F.

Commençons par appliquer la règle aux deux premiers condensateurs de capacités 3 F et 6 F : multiplions ces capacités (3 x 6 = 18) et divisons le produit par leur somme (3 + 6 = 9), on obtient une capacité de 2 F (18 : 9 = 2).

Nous trouvons ainsi que les deux condensateurs de 3 F et de 6 F en série équivalent à un seul condensateur de 2 F, que l'on peut donc substituer aux deux autres, et on obtient le circuit de la *figure 10 - b*, dans lequel au lieu des deux condensateurs il n'y a que celui de 2 F.

Dans le nouveau circuit il y a encore deux condensateurs en série, auxquels nous pouvons de nouveau appliquer la même règle ; mais puisque les deux condensateurs ont la même capacité, nous pouvons déterminer plus



LIAISON EN SERIE DE TROIS CONDENSATEURS DE CAPACITES DIVERSES

Figure 10

rapidement la capacité totale en divisant cette capacité (2 F) par le nombre de condensateurs (2), et on obtient ainsi 1 F (2 : 2 = 1).

Nous trouvons donc que les trois condensateurs en série de la figure 10 - a ont une capacité totale de 1 F ; ce qui signifie qu'on pourrait les remplacer par un seul condensateur de 1 F, comme on le voit sur la figure 10 - c, sans changer la capacité présentée par le circuit.

Nous en avons ainsi terminé avec les condensateurs, sur lesquels nous avons dit tout ce qu'il est nécessaire de savoir pour commencer en toute sécurité l'étude des circuits électriques.

Dans la prochaine leçon, nous étudierons le troisième type de composants fondamentaux : les *BOBINAGES*, et nous verrons tous les phénomènes auxquels ils donnent lieu quand ils sont insérés dans des circuits électriques.

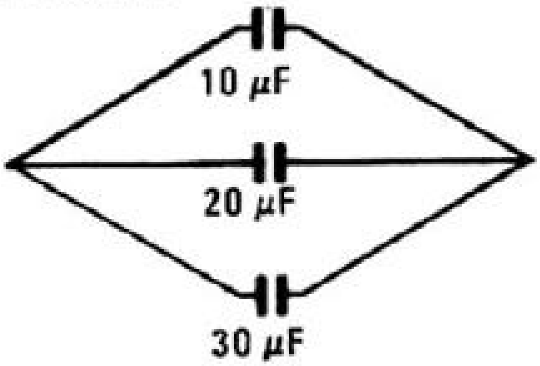
****

NOTIONS A RETENIR

- Le **CONDENSATEUR** est un composant en mesure d'emmagasiner l'**ENERGIE ELECTRIQUE**.

- La **CAPACITE TOTALE** de deux ou plusieurs **CONDENSATEURS**, montés en **PARALLELE**, s'obtient en faisant la somme de leurs capacités.

EXEMPLE

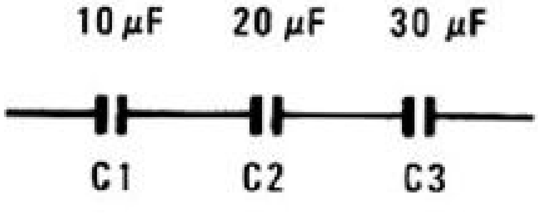


capacité totale :
$10 + 20 + 30 = \boxed{60\ \mu F}$

- La **CAPACITE TOTALE** de deux ou plusieurs **CONDENSATEURS**, montés en **SERIE**, s'obtient à l'aide de la formule :

$$Ct = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2} = Cx \quad \frac{Cx \times C3}{Cx + C3} \text{ etc}$$

EXEMPLE :



$$\frac{10 \times 20}{10 + 20} = 6{,}6\ \mu F$$

$$\frac{6{,}6 \times 30}{6{,}6 + 30} = \boxed{5{,}4\ \mu F}$$

- Pour EVITER DE GROSSES ERREURS, bien retenir que :

1) La capacité totale de plusieurs CONDENSATEURS montés en PARALLELE, est TOUJOURS PLUS ELEVEE que la plus forte des valeurs capacitives en jeu.

2) La capacité totale de plusieurs CONDENSATEURS montés en SERIE, est TOUJOURS PLUS FAIBLE que la plus petite des valeurs capacitives en jeu.

Dans le premier exemple (condensateurs en parallèle), la plus forte valeur en jeu était de 30 μF et la capacité totale de 60 μF.

Dans le second exemple (condensateurs en série), la plus petite valeur en jeu était de 10 μF et la capacité totale de 5,4 μF.

EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 5

1 - Pourquoi dit-on que le condensateur est un élément conservateur de l'énergie ?

2 - De l'énergie qu'une pile dépense pour charger un condensateur, quelle est la quantité emmagasinée par le condensateur ?

3 - Comment calcule-t-on l'énergie emmagasinée par un condensateur ?

4 - Que devient la moitié de l'énergie qui n'est pas emmagasinée par le condensateur ?

5 - Quand peut-on dire qu'une zone déterminée de l'espace est un champ électrique ?

6 - Comment calcule-t-on l'intensité du champ électrique qui existe dans le diélectrique d'un condensateur ?

7 - Quelle est l'indication donnée par la tension de travail d'un condensateur ?

8 - Comment calcule-t-on la capacité totale de deux ou plusieurs condensateurs en parallèle ?

9 - Comment calcule-t-on la capacité totale de deux ou plusieurs condensateurs en série qui ont la même capacité ?

10 - Comment calcule-t-on la capacité totale de deux condensateurs en série ?

REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 4

1 - Le potentiel électrique indique l'énergie possédée par une seule charge

2 - On peut calculer la puissance électrique de trois façons : a) en multipliant la tension par le courant ; b) en multipliant la résistance par le carré du courant ; c) en divisant le carré de la tension par la résistance.

3 - L'énergie consommée par un appareil électrique qui fonctionne pendant un temps déterminé s'obtient en multipliant sa puissance exprimée en watts par le temps exprimé en secondes, et elle est exprimée en joules.

4 - La grande calorie est l'unité de mesure de la quantité de chaleur, et on la définit comme étant la quantité de chaleur qu'il faut pour augmenter de un degré la température de un kilogramme d'eau.

5 - La quantité de chaleur, en grandes calories, se calcule en multipliant par 0,000238 l'énergie en joules consommée pour la produire.

6 - Une résistance est caractérisée non seulement par sa valeur, mais aussi par la puissance maximum qu'elle est en mesure de dissiper sans se détériorer .

7 - Le coefficient de température indique de combien augmente la résistance d'un conducteur qui a une résistance de un ohm, quand sa température augmente de un degré.

8 - La capacité électrique d'un corps indique la quantité d'électricité qu'il doit posséder pour atteindre le potentiel de un volt.

9 - La capacité d'un condensateur à air se calcule en multipliant la constante diélectrique de l'air par la superficie de ses armatures et en divisant ensuite par la distance entre les armatures.

10 - La constante diélectrique relative à l'air ou au vide indique de combien de fois la capacité d'un condensateur à air augmente, quand on remplace l'air par un diélectrique.