



THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

CLASSIFICATION DES TUBES ELECTRONIQUES

Nous avons vu dans la Théorie n° 13 comment l'on obtient dans un tube, les électrons nécessaires à son fonctionnement ; nous pouvons maintenant commencer l'étude des différents types de tubes électroniques employés dans les circuits pour voir comment sont utilisés les électrons émis par le filament ou la cathode.

Dans les remarques qui suivront, nous nous réfèrerons à un tube à chauffage indirect (dans lequel, comme nous le savons, l'émission électronique est produite par la cathode), car ce type de tube est largement employé.

Le fonctionnement des tubes est identique, qu'il s'agisse d'un tube à chauffage direct ou à chauffage indirect. Les explications données sont donc valables dans les deux cas. La seule différence réside dans le câblage du support, et nous reparlerons de cela lorsque nous nous occuperons du câblage des montages.

Les électrons émis par la cathode sont utilisés de la façon voulue en plaçant à l'intérieur de l'ampoule du tube, d'autres éléments qui permettent de les recueillir ou bien d'influencer leurs mouvements.

Tous les éléments se trouvant dans l'ampoule d'un tube, y compris celui qui émet les électrons, sont généralement appelés **ELECTRODES** et l'on distingue les différents types de tubes d'après le nombre de leurs électrodes.

Dans les tubes à chauffage indirect, le filament n'est pas compris dans le nombre d'électrodes, car il n'émet pas d'électrons mais sert uniquement au réchauffement de la cathode ; au contraire, dans les tubes à chauffage direct, le filament est compris dans le nombre d'électrodes car il sert directement à l'émission électronique.

1 - LES DIODES ELECTRONIQUES

Dans cette leçon, nous nous occuperons de la **DIODE**, ainsi appelée parce qu'elle comprend deux électrodes : en plus de la cathode, il y a, dans la diode, une deuxième électrode dont le rôle est de recueillir les électrons émis par la cathode.

Cette seconde électrode est appelée **ANODE** ou aussi **PLAQUE**, car dans la première diode réalisée en 1904 par l'Anglais Jean Fleming (1849-1945) cette électrode était constituée par une petite plaque métallique placée près de la cathode.

Actuellement, pour tous les tubes, l'anode est constitué par un petit cylindre de nickel disposé autour de la cathode et rattaché à une broche qui sert à la relier au circuit extérieur du tube, comme on le voit sur la figure 1-a. Sur cette figure, on n'a pas indiqué par souci de simplicité, les armatures qui soutiennent les électrodes et les maintiennent dans les positions voulues.

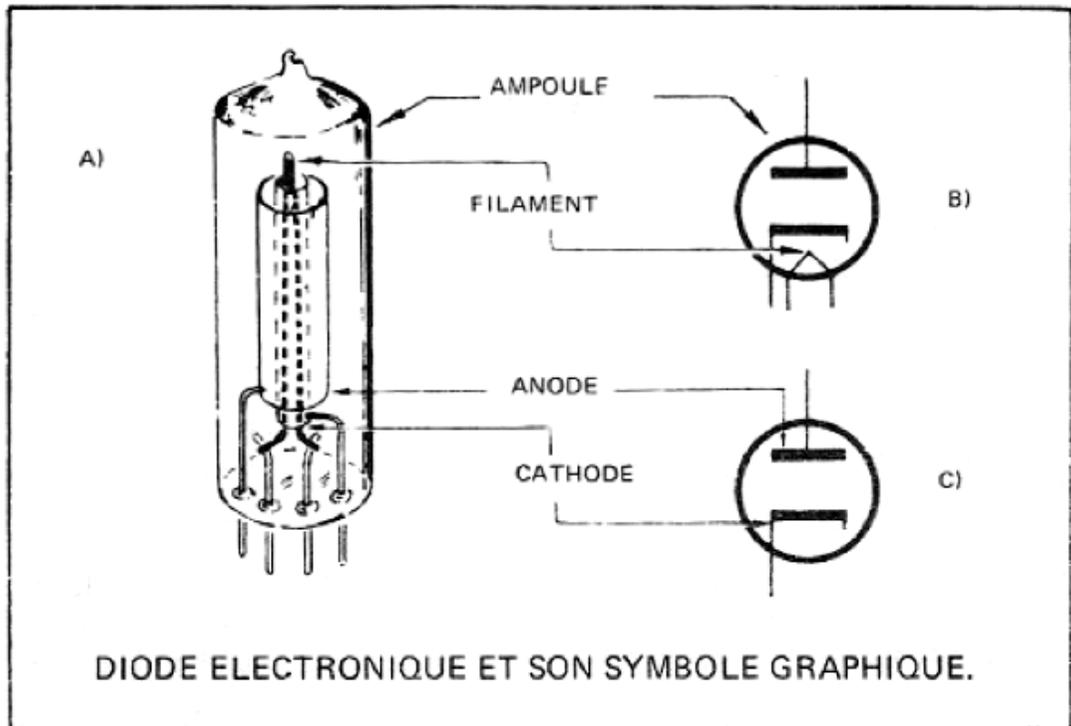


Figure 1

Pour représenter la diode sur les schémas électriques, on utilise le symbole graphique reporté sur la figure 1-b, qui permet d'indiquer le filament, la cathode et l'anode, en les dessinant dans un cercle représentant l'ampoule qui les contient.

Très souvent, on utilise le symbole graphique de la figure 1-c, où le filament n'est plus représenté ; en général, on ne l'indique pas, car on sait qu'il est directement relié au générateur qui fournit le courant de chauffage.

1 - 1 - FONCTIONNEMENT DE LA DIODE

On a dit précédemment que l'anode a pour rôle de recueillir les électrons émis par la cathode ; ceci se produit quand l'anode est à un potentiel positif par rapport à la cathode, car dans ce cas, elle attire les électrons chargés négativement.

Pour porter l'anode à un potentiel positif par rapport à la cathode, on peut utiliser une batterie, en reliant son pôle positif à l'anode et son pôle négatif à la cathode, comme sur la figure 2-a.

Dans ce cas, entre l'anode et la cathode de la diode existe la tension fournie par la batterie B_a ; la tension existant entre l'anode et la cathode est appelée TENSION ANODIQUE de la diode et on l'indique par V_a .

Les électrons émis par la cathode rejoignent l'anode en se dirigeant à l'intérieur du tube dans le sens indiqué par la flèche dessinée entre ces deux électrodes sur la figure 2-a.

Quand les électrons arrivent sur l'anode, ils repoussent de cette électrode un nombre égal d'électrons, qui sont attirés par le pôle positif de la batterie. D'autre part, les électrons que la cathode a cédés à l'anode sont remplacés par autant d'électrons provenant du pôle négatif de la batterie.

Le fait que les électrons émis par la cathode soient remplacés par d'autres électrons fournis par la batterie ne doit pas faire penser que le tube peut fonctionner indéfiniment sans jamais s'épuiser ; le tube s'épuise parce que, après une longue période de fonctionnement, la superficie de sa cathode s'altère et perd sa propriété d'émettre des électrons.

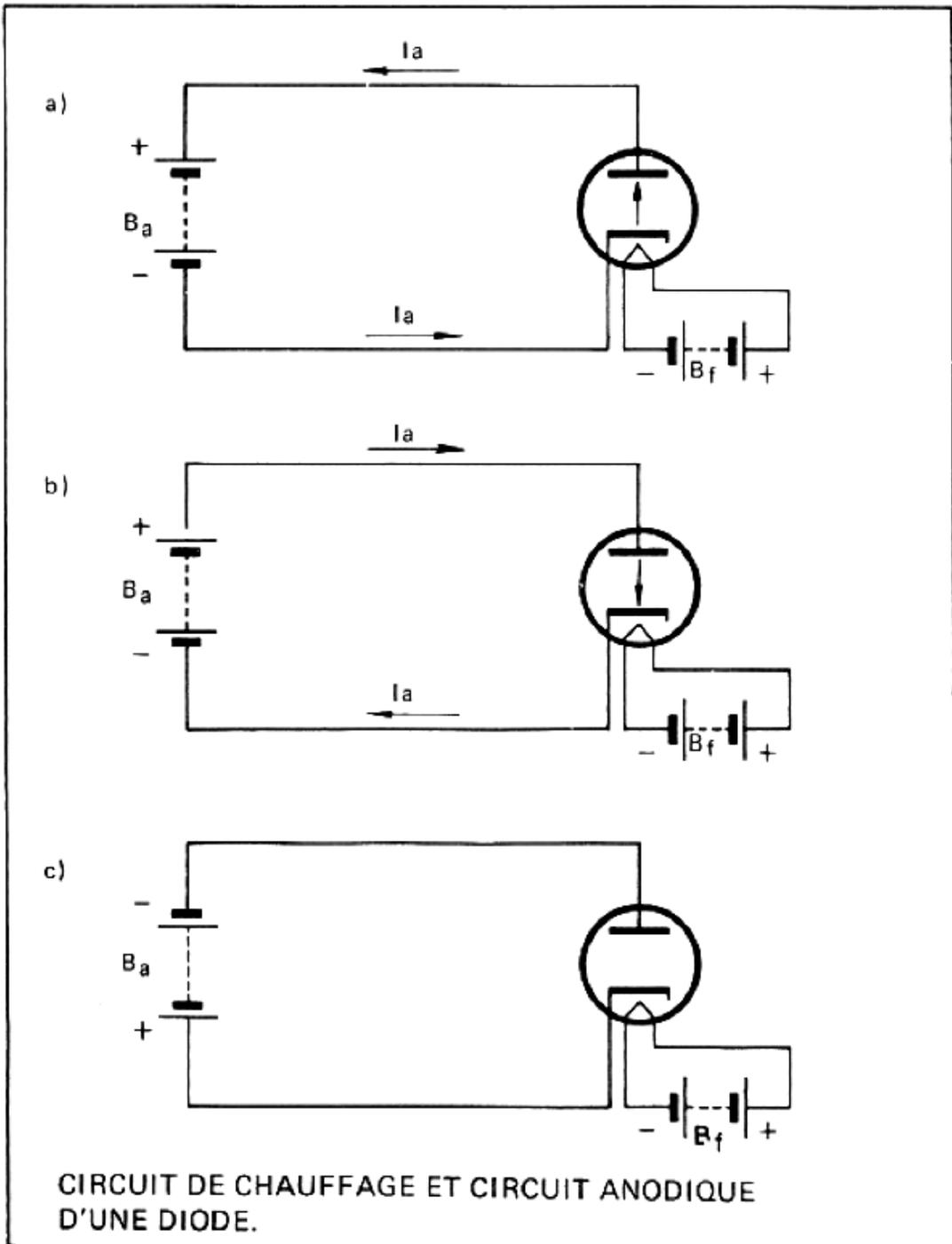


Figure 2

Le déplacement des électrons de l'anode à la batterie et de celle-ci à la cathode constitue un courant appelé **COURANT ANODIQUE** et on l'indique par I_a , comme on l'a fait sur la figure 2-a ; le circuit parcouru par ce courant est appelé **CIRCUIT ANODIQUE**.

Sur la figure 2-a nous avons étudié le mouvement des électrons, en donnant par conséquent au courant anodique le sens électronique, alors qu'on a décidé dans les leçons précédentes de toujours indiquer le sens conventionnel du courant, opposé au sens électronique.

Si nous voulons nous en tenir ici aussi, à la convention adoptée, nous indiquerons donc le sens du courant anodique comme on l'a fait sur la figure 2-b.

Imaginons ainsi que le courant anodique parte du pôle positif de la batterie et qu'il retourne au pôle négatif de celle-ci après avoir traversé la diode de l'anode à la cathode, dans le sens indiqué par la flèche dessinée entre ces électrodes sur la figure 2-b.

Cette façon d'indiquer le sens du courant n'est pas gênante, car il suffit de se souvenir que le courant circule en réalité dans le sens opposé au sens conventionnel, même à l'intérieur de la diode. Cependant, quand nous étudierons des tubes électroniques plus complexes que la diode, nous devons étudier de nouveau les électrons pour voir comment les différentes électrodes influent sur leurs mouvements.

Sachons dès maintenant que, par la suite, nous nous référerons aux électrons quand nous devons étudier leur comportement à l'intérieur d'un tube. Quand, au contraire, nous nous occuperons du circuit extérieur à ce tube, nous indiquerons le sens conventionnel du courant qui y circule.

Sur la figure 2, en plus du circuit anodique, on a indiqué le **CIRCUIT DE CHAUFFAGE** de la diode, dans lequel le filament est relié aux extrémités de la batterie B_f qui fournit le courant de chauffage.

Comme on le voit, le circuit de chauffage est complètement séparé du circuit anodique et ne présente aucune particularité ; par la suite ce circuit ne sera donc plus indiqué et la diode sera représentée au moyen du symbole graphique de la figure 1-c.

D'après ce qui a été dit jusqu'à maintenant, on ne comprend pas quelle est l'utilité de la diode. Supposons cependant que l'on change les liaisons aux pôles de la batterie, en reliant le pôle positif à la cathode et le pôle négatif à l'anode, comme sur la figure 2-c.

Maintenant l'anode est négative par rapport à la cathode et repousse donc les électrons émis par celle-ci au lieu de les attirer comme précédemment.

Le passage des électrons entre les deux électrodes n'ayant pas lieu, le circuit dans lequel est insérée la diode est donc interrompu, et par conséquent, aucun courant ne peut plus y circuler.

Nous voyons donc que la diode est un élément qui a la propriété de laisser passer le courant électronique seulement de la cathode à l'anode et non en sens contraire.

De cette propriété de la diode découle précisément son utilité, par exemple dans la transformation du courant alternatif en courant continu.

La première opération qui s'accomplit au cours de cette transformation consiste dans le REDRESSEMENT du courant alternatif en un courant qui circule dans un seul sens : c'est justement le rôle de la diode.

Etudions, par exemple, le circuit de la figure 3, dans lequel un générateur de courant alternatif alimente une résistance reliée en série à une diode.

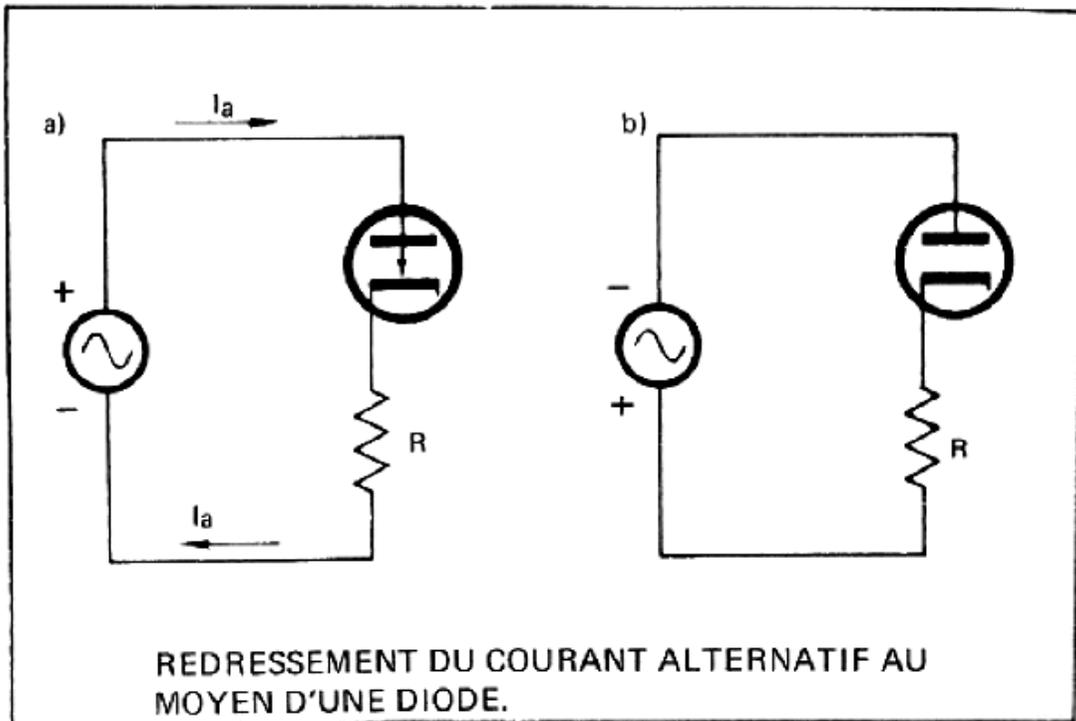


Figure 3

S'il n'y avait pas la diode, le courant changerait son sens de circulation à chaque demi-période et la résistance R serait traversée par un courant dirigé dans un sens pendant une demi-période, et dans le sens contraire pendant la demi-période suivante.

La présence de la diode modifie au contraire le fonctionnement du circuit, car elle permet au courant de ne circuler que dans un seul sens.

En effet, durant la demi-période pendant laquelle le pôle du générateur relié à l'anode de la diode est positif (figure 3-a), le courant peut circuler dans le circuit selon le sens conventionnel indiqué par les flèches.

Quand, au contraire, dans la demi-période suivante, le même pôle du générateur devient négatif (figure 3-b), le courant, qui serait maintenant dirigé dans le sens opposé au précédent, ne peut plus circuler car le circuit est interrompu entre les deux électrodes de la diode.

Le courant se remet à circuler, toujours dans le sens indiqué sur la figure 3-a, quand le pôle du générateur relié à l'anode redevient positif pendant une autre demi-période.

Ainsi la résistance est traversée par un courant dirigé toujours dans le même sens, bien que le passage ne se produise que pendant une demi-période pour chaque période du courant alternatif.

Le courant redressé ainsi obtenu n'est pas encore un véritable courant continu et, pour le rendre tel, il faut d'autres circuits ; nous les étudierons dans la prochaine leçon car il est préférable d'avoir auparavant une connaissance un peu plus approfondie du fonctionnement de la diode.

1 - 2 - COURBE CARACTERISTIQUE DE LA DIODE

Pour étudier plus à fond le fonctionnement de la diode, nous nous arrêterons à un procédé analogue à celui que nous avons déjà adopté dans une des leçons précédentes pour la résistance, pour laquelle nous avons étudié comment varie le courant qui la parcourt lorsque varie la tension appliquée à ses extrémités.

Comme nous l'avons vu, si l'on applique à la résistance des tensions différentes et si l'on mesure pour chacune d'elles le courant qui la parcourt, quand on double, triple, etc..., la tension, le courant lui aussi double, triple, etc... : nous avons ainsi pu déduire la Loi d'Ohm.

Pour la diode on procède de la même façon, en lui appliquant diverses tensions anodiques et en mesurant pour chacune d'elles le courant anodique correspondant. Cet essai s'effectue dans les ateliers de fabrication des tubes, au moyen d'un circuit qui, dans sa forme la plus simple, est reporté sur la figure 4.

Pour pouvoir obtenir des tensions anodiques différentes, on utilise une batterie reliée aux extrémités A et B d'une résistance ajustable.

Dans les leçons précédentes, nous avons vu que la résistance ajustable se relie en série à un générateur lorsqu'on veut faire varier le courant fourni par celui-ci ; dans ce cas, on dit que la résistance ajustable est utilisée comme RHEOSTAT.

Sur la figure 4, au contraire, la résistance ajustable est reliée en parallèle sur le générateur, pour faire varier la tension fournie par celui-ci : dans ce cas, on dit que la résistance ajustable est utilisée comme POTENTIOMETRE.

En électronique, les résistances ajustables sont généralement utilisées de cette façon, c'est pourquoi on les désigne communément par le terme de potentiomètres.

La tension voulue s'obtient entre le curseur et une extrémité du potentiomètre ; dans le cas de la figure 4, la tension est obtenue entre le curseur C et l'extrémité B.

La valeur de cette tension dépend de la position du curseur : en effet, quand le curseur se trouve à l'extrémité A (figure 4-c) il y a entre les points C et B, la tension entière de 30 V fournie par la batterie ; quand, au contraire, le curseur est entre les deux extrémités A et B (figures 4-a et 4-b), la tension entre B et C est bien inférieure à 30 V, car elle est diminuée par la chute de tension produite par le courant dans la résistance comprise entre l'extrémité A et le curseur.

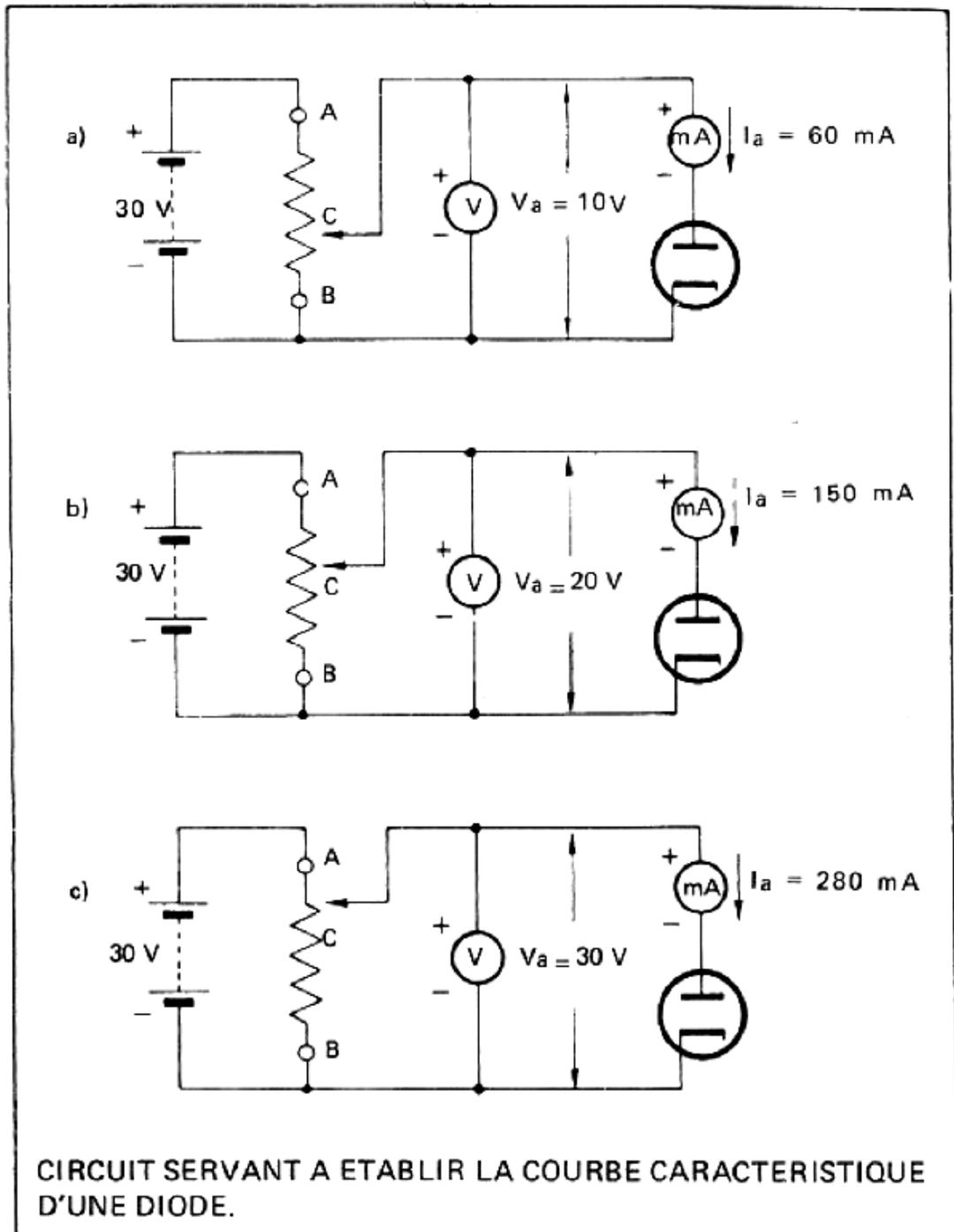


Figure 4

En reliant l'anode au curseur et la cathode à l'extrémité B du potentiomètre, on applique donc à la diode une tension anodique dont la valeur peut varier par le simple déplacement du curseur.

Pour connaître la valeur de cette tension, on relie un voltmètre entre les points B et C, tandis que l'on peut lire la valeur du courant anodique sur un milliampèremètre relié en série avec l'anode.

Il faut utiliser un milliampèremètre d'une faible résistance interne de façon à ce que le courant anodique produise à ses extrémités une chute de tension négligeable, et donc que la tension entre l'anode et la cathode de la diode soit pratiquement égale à la tension indiquée par le voltmètre.

Pour effectuer les mesures, on procède comme suit.

On déplace le curseur du potentiomètre de façon à ce que le voltmètre indique une tension de 10 V (figure 4-a) et on lit le courant indiqué par le milliampèremètre, soit 60 mA.

On déplace ensuite le curseur de façon à ce que le voltmètre indique la tension de 20 V (figure 4-b) et on lit de nouveau le courant indiqué par le milliampèremètre, soit maintenant 150 mA.

On porte enfin le curseur à l'extrémité A de façon à ce que le voltmètre indique la tension de 30 V (figure 4-c) et on lit encore le courant indiqué par le milliampèremètre, soit 280 mA.

Pour évaluer les résultats obtenus, il faut les reporter sur un tableau ; examinons donc le tableau de la figure 5, où sont reportées les valeurs de la tension anodique exprimées en volts, et les valeurs correspondantes du courant anodique obtenues dans les mesures précédentes et exprimées en milliampères.

THEORIE 14

13

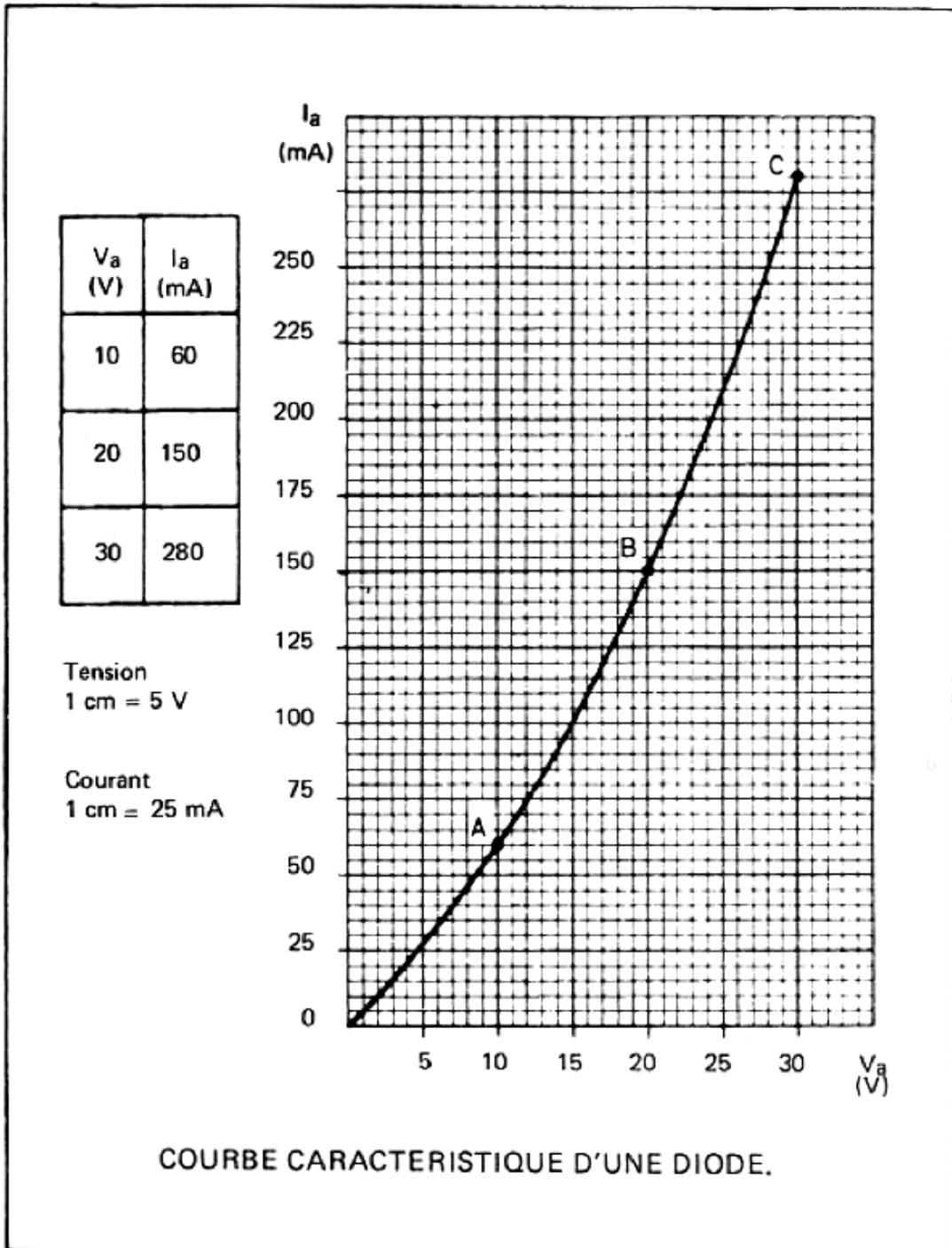


Figure 5

On voit ainsi immédiatement que, lorsqu'on double la tension anodique de 10 V à 20 V, le courant anodique fait plus que doubler, passant de 60 mA à 150 mA ; lorsqu'on triple cette tension de 10 V à 30 V, le courant anodique passe de 60 mA à 280 mA, devenant plus du quadruple.

Il est donc évident qu'une diode se comporte différemment d'une résistance, dont le courant est doublé ou triplé si l'on double ou triple la tension appliquée à ses extrémités, conformément à la Loi d'Ohm.

On en déduit donc que la diode est un élément auquel on ne peut pas appliquer la Loi d'Ohm.

Comme on ne peut pas établir par une relation aussi simple que la Loi d'Ohm, la relation entre la tension et le courant, on a recours à un diagramme cartésien pour connaître la valeur du courant qui traverse la diode pour chaque valeur de la tension anodique.

Ce diagramme est représenté sur la figure 5 ; il a été tracé en utilisant les valeurs reportées sur le tableau de la même figure.

On a indiqué la tension anodique sur l'axe des abscisses en faisant correspondre à chaque centimètre la valeur de 5 Volts, et le courant anodique sur l'axe des ordonnées, en faisant correspondre à chaque centimètre un courant de 25 mA.

D'après les valeurs du tableau, on a ensuite déterminé le point A (10 V et 60 mA), le point B (20 V et 150 mA) et le point C (30 V et 280 mA), en procédant comme on l'a déjà longuement décrit dans les leçons de Mathématiques.

En unissant par une ligne les points A, B et C, on obtient une courbe appelée COURBE CARACTERISTIQUE DE LA DIODE ou, plus simplement CARACTERISTIQUE DE LA DIODE.

La courbe passe par les points A, B, C, mais aussi par l'origine des axes car il est évident que, lorsque la tension anodique est nulle, le courant anodique est également nul.

En se reportant à la courbe caractéristique, on peut savoir quel est le courant qui traverse la diode pour chaque valeur de la tension anodique, sans être obligé d'effectuer les mesures directes.

Les caractéristiques fournies par les constructeurs des tubes sont généralement limitées, comme celles de la figure 5, aux valeurs du courant anodique qu'il est intéressant de connaître pour les applications normales de la diode, comme nous le verrons dans la prochaine leçon.

Il est cependant utile d'avoir une vue complète du comportement d'une diode, aussi nous devons étudier quelle serait la courbe de la figure 5 si la tension anodique augmentait au-delà de la valeur de 30 V.

La courbe ne garderait pas indéfiniment l'allure de la figure 5, mais à un certain moment, deviendrait horizontale, comme on le voit sur la figure 6.

Le diagramme de cette figure a pour seul but de montrer l'allure de la caractéristique, aussi, sur ses axes, on n'a pas indiqué les valeurs de la tension et du courant : de plus, le diagramme de la figure 6 a été diminué par rapport à celui de la figure 5, pour en faciliter le dessin.

Le fait que la caractéristique présente un trait horizontal signifie que le courant a constamment la même valeur, donc qu'il n'augmente plus, même lorsque la tension anodique continue d'augmenter.

Le courant constant qui traverse la diode dans ces conditions, est appelé **COURANT DE SATURATION**, et sa valeur est donnée par la distance entre le trait horizontal de la caractéristique et l'axe des abscisses, comme l'indique la figure 6.

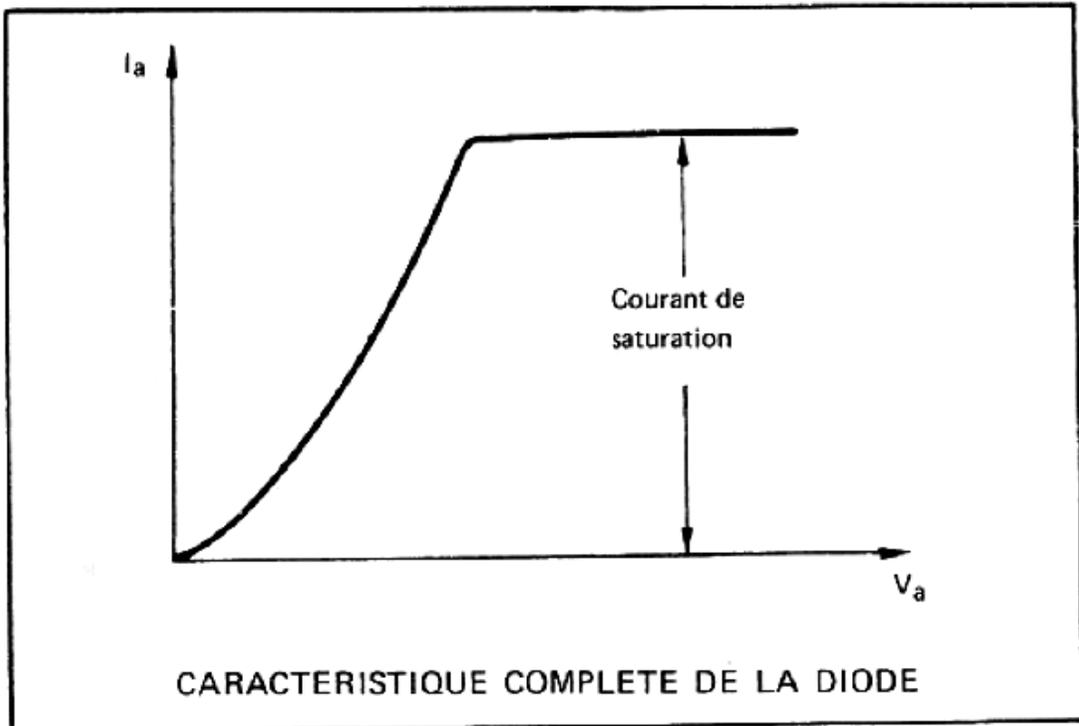


Figure 6

Pour pouvoir expliquer le fonctionnement de la diode, étudions ce qui se produit, à l'intérieur de cette diode, pour les électrons émis par la cathode.

Pour cela rappelons-nous que les électrons sont attirés par l'anode de la même façon qu'un corps est attiré par la Terre : un corps qui tombe vers le sol sous l'effet de l'attraction terrestre augmente sa vitesse, c'est-à-dire subit une accélération, comme on l'a déjà décrit dans les leçons de Physique.

De la même façon, les électrons voient leur mouvement accéléré par l'attraction de l'anode, et leur vitesse augmente donc au fur et à mesure qu'ils s'éloignent de la cathode. L'accélération des électrons

dépend de la tension anodique, et elle est d'autant plus grande que cette tension est plus élevée.

Quand la tension anodique est assez basse, les électrons s'éloignent assez lentement de la cathode et, comme cette électrode continue à en émettre d'autres, il se forme près d'elle une accumulation d'électrons, qui constituent une espèce de nuage électronique de la charge électrique négative analogue à celle que peut présenter un corps sur lequel les électrons sont en excès.

Dans le cas de la diode, les électrons ne sont pas sur un corps, mais sont éparpillés dans l'espace autour de la cathode ; c'est pourquoi la charge électrique du nuage électronique est appelée CHARGE SPATIALE.

Le nuage électronique, après sa formation, exerce une action de répulsion sur les électrons émis ensuite par la cathode, y faisant retourner les moins rapides : ainsi, ce ne sont pas tous les électrons émis qui constituent le courant anodique, car seuls les plus rapides réussissent à rejoindre le nuage électronique puis à se porter sur l'anode.

Si l'on augmente la tension anodique, les électrons accroissent leur vitesse et sont donc moins nombreux à être amassés autour de la cathode car ils restent moins longtemps à proximité de cette électrode : le nombre d'électrons qui constituent le nuage électronique diminue donc et la valeur de la charge spatiale également.

Dans ces conditions, les électrons émis sont repoussés en plus petit nombre sur la cathode ; ceux qui peuvent rejoindre l'anode sont plus nombreux, et le courant anodique augmente.

On explique ainsi pourquoi le premier trait de la caractéristique de la diode indique une augmentation du courant anodique quand la tension anodique augmente.

Si l'on continue à augmenter cette tension, les électrons s'éloignent de la cathode de plus en plus vite, et l'effet de la charge spatiale diminue de plus en plus jusqu'à disparaître complètement.

Quand ceci se produit, on obtient le courant de saturation dont la valeur, comme l'indique le trait rectiligne de la caractéristique, ne peut plus augmenter même si la tension anodique continue à augmenter, car désormais tous les électrons que la cathode est en mesure d'émettre rejoignent l'anode.

Pour augmenter encore le courant, il faudrait augmenter non plus la tension anodique mais la température de la cathode, de façon à obtenir une émission d'électrons plus abondants.

Dans la pratique, ceci ne se fait jamais car dans les applications normales, la diode fonctionne avec des courants correspondant au trait courbe de la caractéristique, qui est la seule fournie par le constructeur, comme on l'a déjà dit précédemment.

1-3-PUISSANCE ELECTRIQUE DANS LA DIODE

Pour avoir une notion complète de la diode, il nous faut encore étudier cet élément du point de vue de la puissance électrique.

Pour cela étudions de nouveau le circuit de la figure 2-a et observons que ce circuit met en jeu une puissance donnée par le produit de la tension de la batterie B_a par le courant anodique.

Cherchons donc ce qui advient de la puissance que la batterie fournit au circuit : cette puissance est dissipée sous forme de chaleur dans la diode, comme cela se produirait s'il y avait une résistance à sa place.

Pour cette dernière, nous savons que la puissance est dissipée en chaleur à cause de la résistance que les électrons constituant le courant rencontrent en la traversant ; dans le cas de la diode ceci ne se produit pas, car les électrons qui passent de la cathode à l'anode se meuvent dans le vide et ne rencontrent donc aucune résistance dans leur mouvement.

Souvenons-nous de tout ce qui a été expliqué dans les leçons de Physique, c'est-à-dire qu'un corps en mouvement possède de l'énergie, appelée précisément énergie cinétique et qui dépend de la masse et du carré de la vitesse du corps.

Les électrons en mouvement dans la diode, bien qu'ils aient une masse extrêmement petite, possèdent donc une énergie cinétique dont la valeur augmente à cause de l'accélération qui fait accroître leur vitesse au fur et à mesure qu'ils s'approchent de l'anode.

Quand ils atteignent l'anode, les électrons sont arrêtés dans leur course rapide par le choc contre cette électrode et, leur vitesse s'étant annulée, ils perdent ainsi toute leur énergie cinétique.

La conséquence du choc des électrons est que l'anode se réchauffe et donc que l'énergie cinétique possédée par les électrons lui a été cédée sous forme de chaleur : on peut donc conclure que, dans une diode, la dissipation de la puissance électrique en chaleur se produit sur l'anode du tube.

Pour cette raison, on dit communément que, dans une diode, se produit la DISSIPATION ANODIQUE de la puissance électrique.

Puisque la vitesse des électrons, et donc leur énergie cinétique transformée en chaleur sur l'anode, dépend de la tension anodique, il est évident que plus cette tension est élevée et plus la dissipation anodique dans la diode est importante.

De deux diodes différentes traversées par le même courant, c'est donc celle dont la tension anodique est la plus élevée qui dissipera la plus grande puissance.

Pour comparer deux diodes à ce sujet, on peut se référer à leurs caractéristiques, en les reportant sur un graphique, comme on l'a fait dans l'exemple de la figure 7 pour la diode, type Européen, EZ 81 et pour la diode, type Américain, 6x4.

On voit immédiatement que, pour faire traverser les deux diodes par le même courant, par exemple de 75 mA, il faut une tension anodique de 12 V pour le type EZ 81 et de 22,5 V pour le type 6x4 : on peut donc déduire que, avec ce courant, la deuxième diode a une dissipation anodique presque égale au double de la première.

Les caractéristiques fournies par les constructeurs de diodes se présentent généralement comme celles qui sont reportées sur la figure 7, c'est-à-dire qu'elles sont formées d'un premier trait plein et d'un deuxième trait en pointillé, pour tenir compte de la dissipation anodique.

Il faut se souvenir en effet que la chaleur cédée à l'anode par suite de la dissipation de puissance détermine une augmentation de température de l'électrode : pour éviter donc que l'anode atteigne une température excessive qui risque de l'endommager, la puissance dans la diode ne doit pas dépasser la valeur maximum.

Le trait plein de la caractéristique indique justement les valeurs de la tension continue et du courant continu pour lesquels la puissance dissipée ne dépasse pas la valeur maximum.

Quand la diode est utilisée pour transformer le courant alternatif en courant continu, la tension et le courant peuvent avoir des valeurs supérieures à celles indiquées par le trait plein, sans que la puissance maximum à dissiper ne soit dépassée, car ces valeurs sont atteintes pendant un temps très court, comme nous le verrons dans la prochaine leçon.

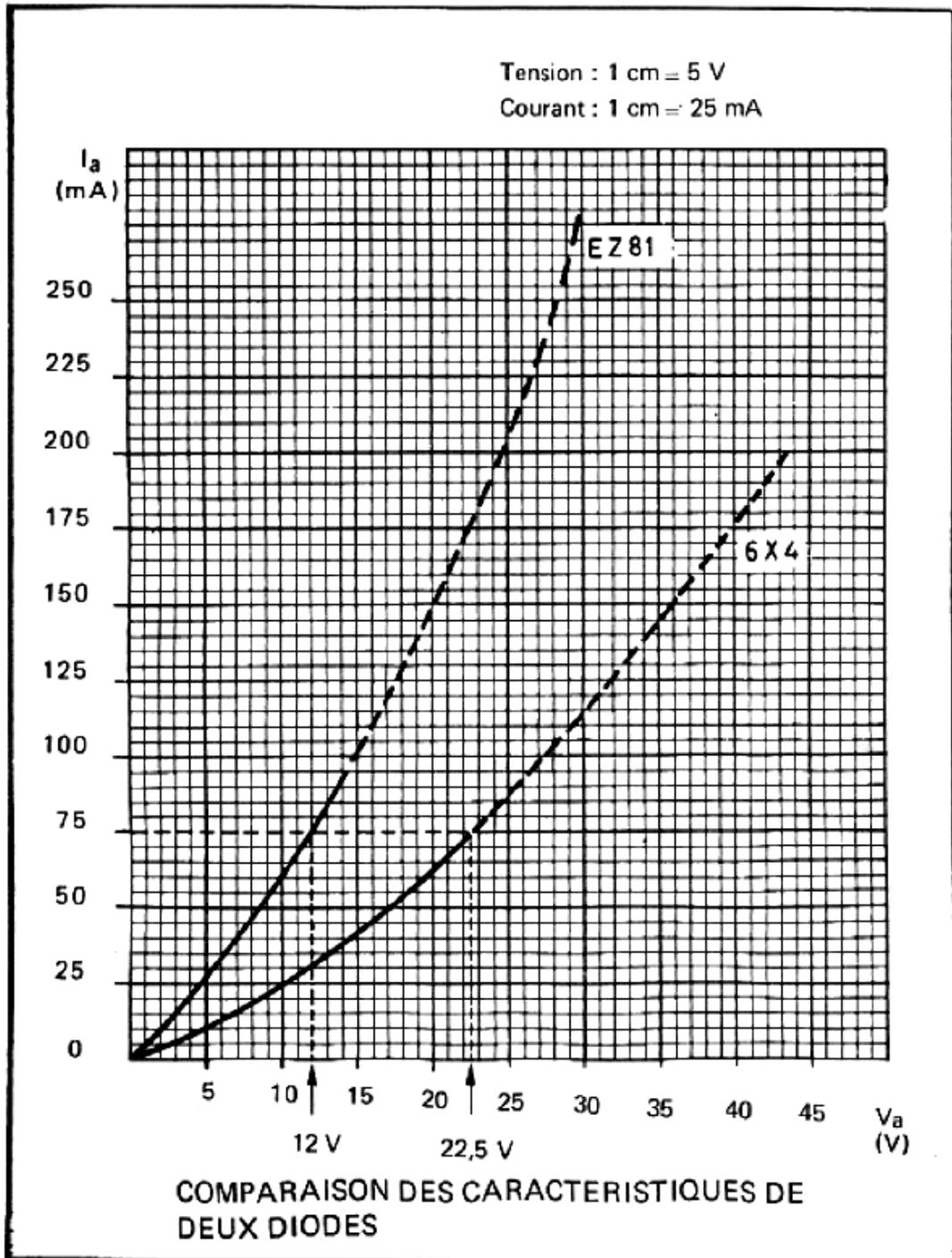


Figure 7

Pour connaître le comportement de la diode dans de telles conditions, on trace donc la deuxième partie de la courbe en pointillé, pour rappeler que les valeurs indiquées se réfèrent à des tensions et des courants d'une brève durée.

Nous avons vu que, pour limiter la dissipation anodique, il faut réduire autant que possible la tension anodique ; quand des puissances importantes sont en jeu, ceci s'obtient en ayant recours à un type de diode différent de celui que nous avons étudié jusqu'à maintenant, et dont nous allons nous occuper.

2 - LES DIODES A GAZ

Les diodes étudiées précédemment sont appelées à VIDE POUSSE, car presque tout l'air est retiré de l'intérieur de leur ampoule au moyen de pompes spéciales.

Il n'est cependant pas possible d'extraire complètement l'air, et dans un tube il reste toujours quelques milliards de molécules des divers gaz qui constituent l'air.

Comme ces molécules sont extrêmement petites, il est pratiquement impossible que les électrons puissent en rencontrer quelques unes qui gêneraient leur bref parcours de la cathode à l'anode ; le tube se comporte donc comme s'il y avait le vide parfait à l'intérieur.

On appelle au contraire DIODES A GAZ les diodes dans lesquelles on introduit volontairement certains gaz pour augmenter le nombre de molécules dans l'ampoule et favoriser ainsi la rencontre des électrons avec ces molécules.

Si la tension anodique, et donc la vitesse des électrons, est basse, le comportement de la diode ne diffère sensiblement pas de celui d'une diode à vide poussé.

Mais, si l'on augmente la tension, les électrons émis par la cathode acquièrent une vitesse plus grande et peuvent heurter les molécules du gaz qu'ils rencontrent sur leur chemin avec une violence capable de détacher un ou plusieurs des électrons périphériques de celles-ci.

Ce phénomène est appelé IONISATION PAR CHOC, car les molécules du gaz qui ont perdu des électrons périphériques par suite du choc des électrons émis par la cathode deviennent positives.

Les électrons détachés des molécules de gaz se dirigent vers l'anode en même temps que les électrons émis par la cathode, tandis que les ions positifs sont repoussés par l'anode, également positive, et se déplacent vers la cathode.

Les ions positifs, d'une masse bien supérieure à celle des électrons, se déplacent à une vitesse très inférieure et restent donc plus longtemps que les électrons dans l'espace compris entre les électrodes, en faisant sentir plus longtemps l'effet de leurs charges positives.

Ainsi ces charges peuvent neutraliser la charge spatiale négative du nuage électronique situé à proximité de la cathode, en annulant par conséquent la répulsion que cette charge exerce sur les électrons émis par la cathode.

Tous les électrons émis peuvent donc atteindre l'anode avec une tension anodique inférieure à celle qui serait nécessaire pour obtenir le même résultat dans une diode à vide poussé, et avec l'avantage d'une dissipation anodique inférieure.

Les diodes à gaz sont particulièrement adaptées aux grandes puissances ; on ne les utilise donc pas dans les appareils, pour lesquels les diodes normales à vide poussé sont suffisantes.

Il est cependant utile d'avoir étudié l'ionisation qui se produit dans les diodes à gaz, car ce phénomène peut parfois se manifester dans les tubes à vide poussé dont nous nous occuperons dans les prochaines leçons.

Dans ce cas l'ionisation constitue un inconvénient, car elle modifie sensiblement le comportement des tubes, en altérant le fonctionnement de tout leur circuit d'utilisation.

Pour éviter les irrégularités de fonctionnement, il faut obtenir dans les tubes un vide poussé, en éliminant les gaz contenus dans le corps de l'ampoule et des électrodes. En effet, ces gaz sont libérés sous l'effet de la température atteinte lors de la fabrication du tube et lors de son utilisation.

Ces molécules sont éliminées au moyen d'un **GETTER**, constitué par une pastille, généralement de baryum ou de magnésium, que l'on introduit dans l'ampoule au moment de la construction du tube puis que l'on fait évaporer : les vapeurs du métal, se condensant sur la paroi interne de l'ampoule, absorbent les gaz libérés pendant le fonctionnement.

En observant un tube, on voit généralement qu'une partie plus ou moins étendue de son ampoule de verre est noircie ou argentée, justement à cause des vapeurs de métal qui se sont déposées à l'intérieur.

L'ionisation qui peut se produire dans un tube explique aussi pourquoi, dans les tubes de moyenne et grande puissance on ne peut pas employer de cathodes à oxydes, comme on l'a dit dans la leçon précédente.

En effet, les ions positifs éventuellement présents seraient énormément accélérés par les tensions élevées appliquées à ces tubes et frapperaient donc la cathode avec une violence qui en désagrégerait en peu de temps la surface émettrice, rendant le tube inutilisable.

Rappelons enfin que, dans l'air qui constitue, par exemple, le diélectrique d'un condensateur, l'ionisation peut également se produire, comme nous l'avons déjà vu.

Dans ce cas, les électrons qui provoquent l'ionisation peuvent se trouver libres dans l'air pour diverses causes accidentelles ; quand la tension appliquée entre les armatures du condensateur atteint une valeur déterminée, les électrons acquièrent une vitesse suffisante pour provoquer l'ionisation des gaz qui constituent l'air, en déterminant le passage du courant d'une armature à l'autre sous forme de décharge électrique et en rendant ainsi le condensateur inutilisable.

Voyons maintenant quelques circuits d'utilisation de la diode.

3 - REDRESSEUR A UNE ALTERNANCE

Pour l'étude de ce montage, référons-nous à la figure 8.

Nous vous rappelons que, durant la demi-période pendant laquelle le pôle du générateur relié à l'anode de la diode est positif (figure 8-a), il passe dans le circuit un courant qui traverse la diode et la résistance reliées en série dans le sens conventionnel indiqué par les flèches de la figure 8-a.

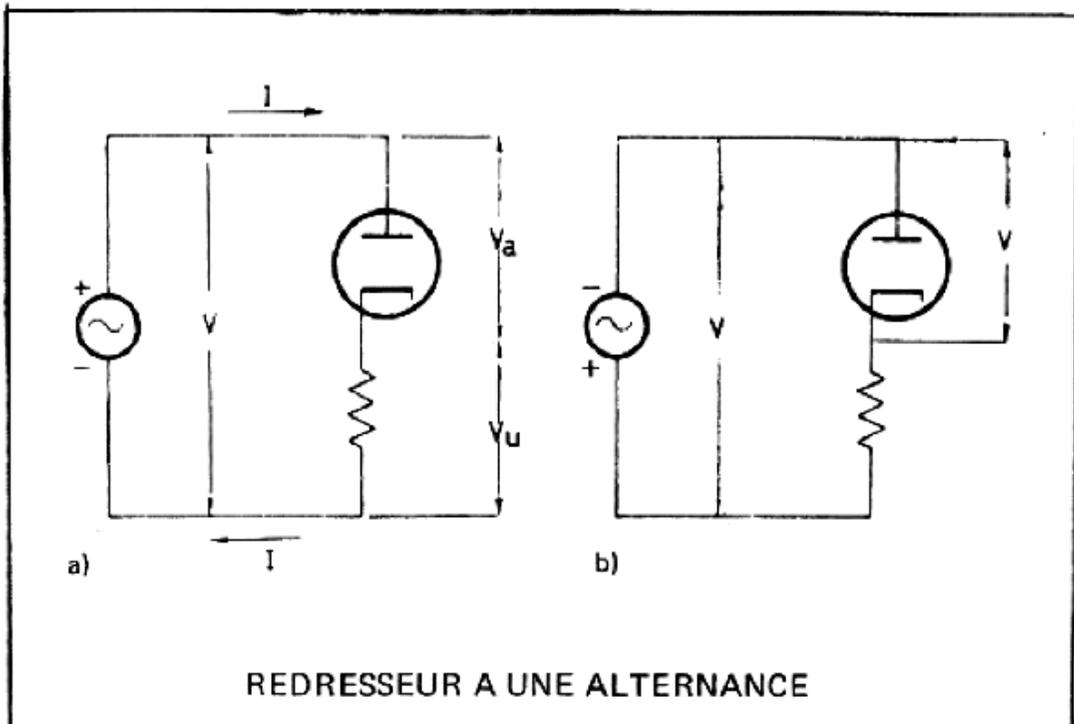


Figure 8

Puisque la diode et la résistance sont reliées en série, la tension alternative V fournie par le générateur se subdivise entre ces deux éléments : aux extrémités de la diode s'établit la tension anodique V_a nécessaire pour qu'elle soit traversée par le courant, tandis qu'aux extrémités de la résistance on obtient la tension indiquée par V_u (tension utile) car, pour le moment, on suppose que la résistance constitue la charge du circuit, c'est-à-dire qu'elle est l'élément où le courant est utilisé.

Pour faire traverser la charge par ce courant, il faut en général une tension V_u de quelques centaines de volts, tandis que pour faire traverser la diode par le même courant, il faut une tension V_a de quelques dizaines de volts seulement, comme on l'a vu dans la leçon précédente ; la tension alternative V est donc appliquée en grande partie aux extrémités de la résistance.

Puisque la tension V_u est un peu inférieure à la tension V , on peut admettre que cette tension V est entièrement appliquée aux extrémités de la résistance, en négligeant la tension V_a très inférieure, que l'on a en réalité aux extrémités de la diode.

Dorénavant on retiendra donc que la tension V entière est appliquée aux extrémités de la résistance, durant la demi-période pendant laquelle le circuit est parcouru par le courant.

Au contraire, durant la demi-période pendant laquelle le pôle du générateur relié à l'anode de la diode est négatif (figure 8-b), cette électrode ne peut plus attirer les électrons émis par la cathode et le courant ne circule pas, car le circuit est interrompu entre les deux électrodes du tube.

Comme il n'y a pas de courant dans le circuit, aucune chute de tension ne se produit aux extrémités de la résistance et, par conséquent, entre les deux électrodes de la diode, il y a la même tension V fournie par le générateur, comme c'est indiqué sur la figure 8-b.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du redresseur à une alternance, il faut voir comment ces tensions et le courant varient dans le temps.

Du moment que la tension V fournie par le générateur est alternative avec une allure sinusoïdale, nous pouvons la représenter comme on l'a fait, pour deux périodes complètes, sur la figure 9-a, en supposant que la tension ait la valeur maximum de 300 V indiquée sur la figure.

Comme la forme d'une sinusoïde rappelle une onde, la sinusoïde utilisée pour représenter l'allure d'une tension ou d'un courant alternatif pendant une période est appelée communément ONDE de la tension ou du courant ; par conséquent, la partie de la sinusoïde qui correspond à la

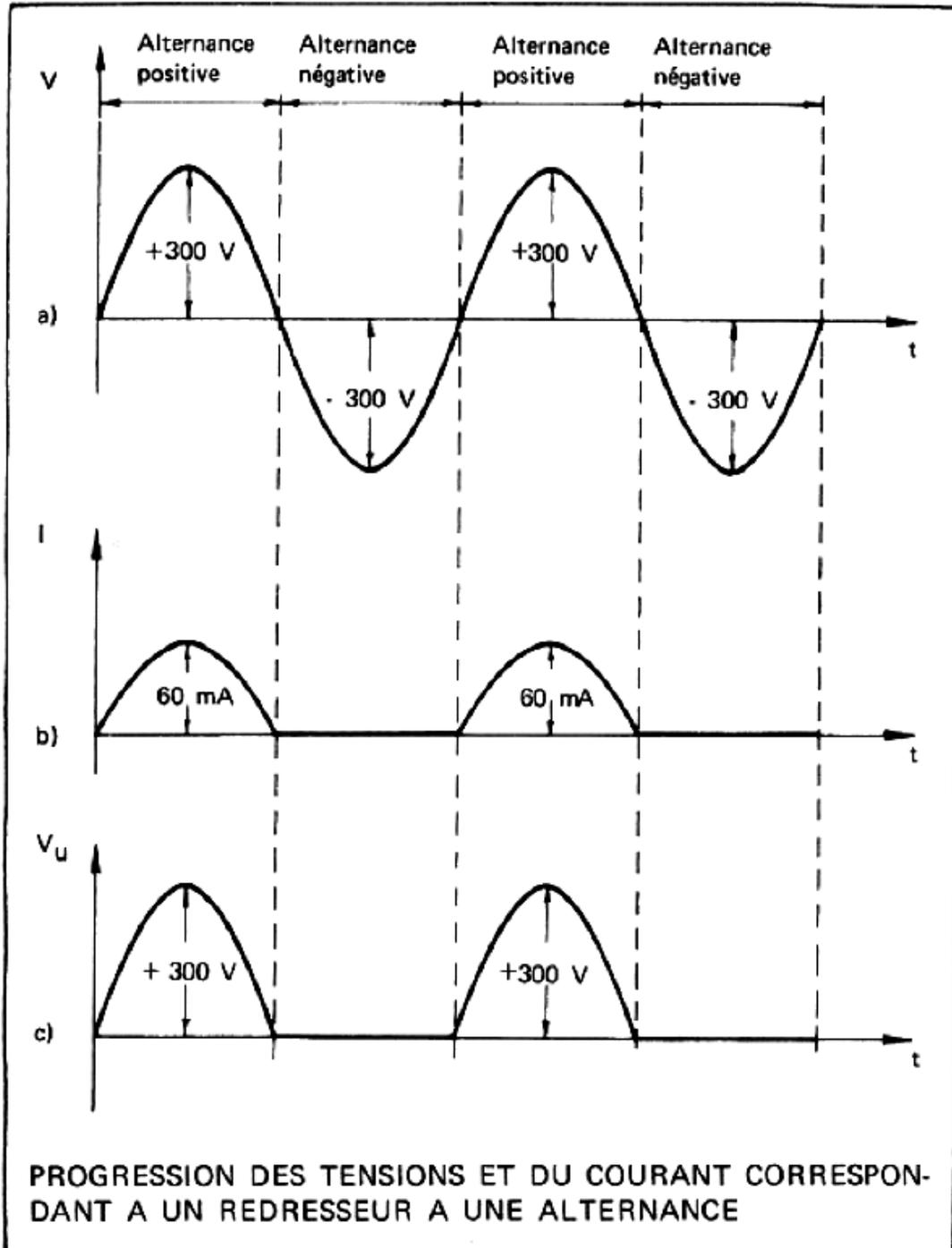


Figure 9

demi-période positive ou à la demi-période négative est appelée DEMI-ONDE positive ou négative : sur la figure 9-a sont indiquées, ces demi-ondes de la tension V . Dans la pratique, ces demi-ondes sont en général appelées ALTERNANCES.

Si l'on suppose que le générateur a ses polarités représentées sur la figure 8-a pendant les alternances positives, et sur la figure 8-b pendant les alternances négatives, on en déduit que le courant I doit circuler dans le circuit pendant les alternances positives de la tension V , et qu'il doit s'interrompre pendant les alternances négatives de la même tension.

Puisque le courant a la même allure que la tension V qui détermine sa circulation, on peut le représenter, comme on le voit sur la figure 9-b, au moyen de deux alternances positives dessinées en correspondance avec les alternances positives de la tension.

On peut considérer ce courant comme un courant alternatif manquant d'alternances négatives, car la diode ne permet pas sa circulation pendant les alternances négatives de la tension V .

Si l'on suppose que la "résistance" de charge a une résistance de $5\text{ K}\Omega$ et si l'on se souvient qu'à ses extrémités, la tension V est entièrement appliquée, la valeur du courant sera de $300 : 5 = 60\text{ mA}$, comme indiqué figure 9-b.

D'autre part, la tension V_U aux extrémités de la "résistance" doit avoir la même allure que le courant qui la parcourt, et l'on peut donc la représenter également au moyen de deux alternances positives d'une valeur maximum de 300 V , comme on le voit sur la figure 9-c.

La tension rectifiée V_U , présente aux extrémités de la charge peut donc aussi être considérée comme une tension alternative sans alternances négatives : le redresseur est justement appelé à une alternance, parce qu'à chaque période de la tension alternative il permet d'obtenir une seule alternance, celle qui est positive éliminant celle qui est négative.

Rappelons-nous maintenant que, dans la pratique, un redresseur à une alternance est un peu différent de celui de la figure 8.

D'abord la tension alternative est obtenue normalement à partir du secteur ; puisque d'habitude, la tension de secteur a une valeur différente de celle que l'on doit utiliser, on alimente le circuit au moyen d'un transformateur, dont le secondaire donne la tension alternative désirée.

On doit savoir aussi que, très souvent, tous les éléments qui constituent le circuit sont fixés à un seul support métallique, généralement en fer ou en aluminium, appelé CHASSIS.

Puisque le châssis est métallique et peut donc conduire le courant électrique, il est utilisé en remplacement d'un des conducteurs du circuit qui servent à relier entre eux les différents éléments.

En tenant compte de ceci, on peut représenter le circuit redresseur comme sur les schémas de la figure 10.

Le transformateur qui remplace le générateur est représenté par le symbole graphique déjà noté, tandis que le châssis est indiqué par un trait plus épais que les autres lignes utilisées pour désigner le circuit.

De même que sur la figure 8, le générateur a un pôle relié directement à l'anode de la diode, de même sur la figure 10, le secondaire du transformateur a une extrémité reliée directement à l'anode de la diode.

Pourtant, tandis que sur la figure 8, l'autre pôle du générateur est relié à la résistance, sur la figure 10 l'autre extrémité du secondaire est reliée au châssis, auquel est reliée la résistance.

Le transformateur et la résistance sont reliés entre eux non plus au moyen d'un conducteur, mais par l'intermédiaire du châssis, dans lequel passe donc le courant qui retourne au transformateur après avoir traversé la diode et la résistance, comme on le voit sur la figure 10-a.

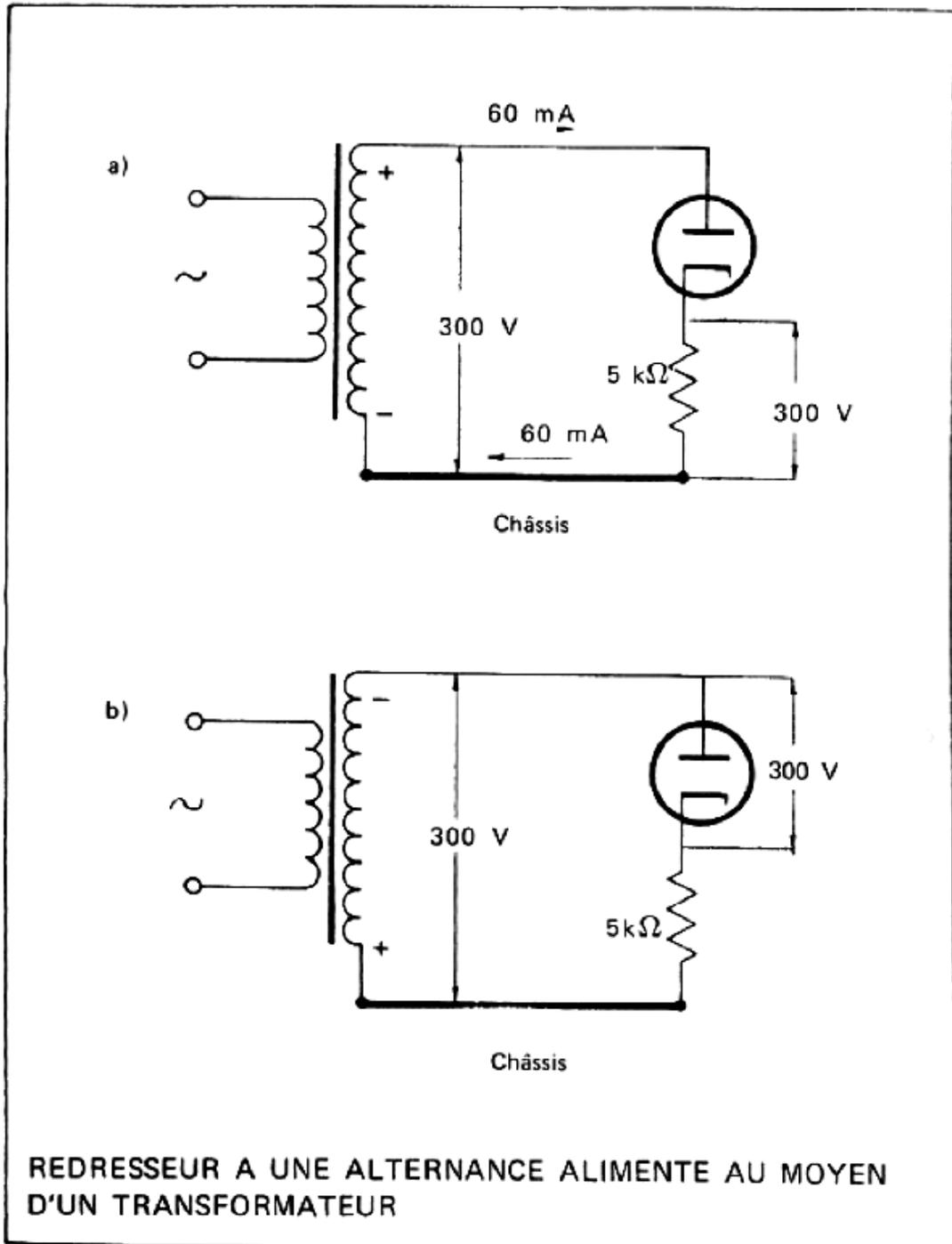


Figure 10

Sur les schémas de la figure 10 sont aussi reportées les valeurs maxima des tensions et des courants indiqués sur les diagrammes de la figure 9, soit pour l'alternance positive, soit pour l'alternance négative (figure 10-a et figure 10-b).

En ce qui concerne l'indication des tensions sur le schéma d'un circuit radioélectrique, il faut faire une observation très importante.

Comme nous le verrons dans les prochaines leçons tous les courants qui circulent dans les différents circuits d'un appareil électronique retournent au transformateur à travers le châssis, que l'on peut donc considérer comme étant un conducteur massif, plutôt que filiforme, et commun à tous les circuits de l'appareil ; on dit couramment que le châssis constitue la MASSE de l'appareil.

Puisque la masse est commune à tous les circuits d'un appareil, les potentiels électriques des différents points des circuits se réfèrent à elle ; on considère que ces potentiels sont positifs ou négatifs selon qu'ils sont supérieurs ou inférieurs à cette masse.

Puisque la tension électrique entre deux points est donnée par la différence entre les potentiels de ces points, dans le cas d'un appareil électronique la tension correspondant à chaque point des différents circuits sera donnée par la différence entre les potentiels de ce point et de la masse.

En résumé, on peut dire que dans un appareil radio, on étudie les tensions qui existent entre les points des différents circuits et la masse.

La tension relative à un point du circuit sera donc positive ou négative selon que ce point se trouve à un potentiel supérieur ou inférieur à celui de la masse.

D'après ce qui a été dit, les tensions relatives au circuit redresseur peuvent aussi être indiquées comme cela a été fait sur la figure 11 d'une

façon plus simple que sur la figure 10 car les flèches qui indiquent qu'entre ces points du circuit existe la tension que l'on étudie ne sont plus nécessaires.

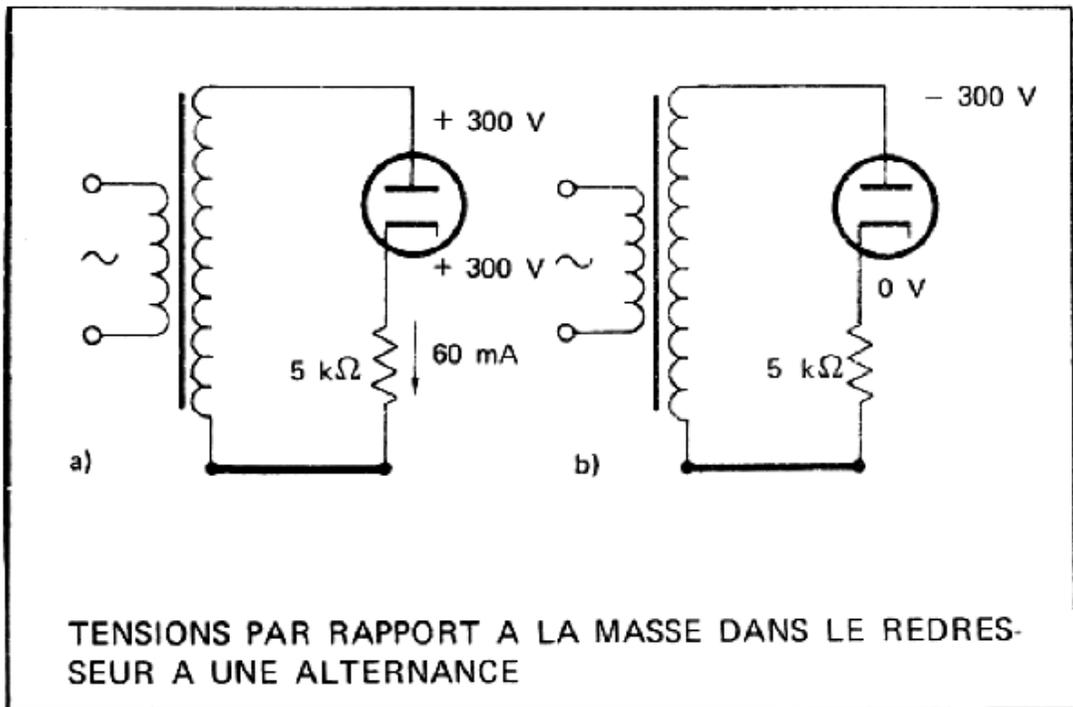


Figure 11

Par exemple, sur la figure 10-a, on a utilisé deux flèches pour indiquer qu'entre les extrémités du secondaire du transformateur, il existe une tension de 300 V : cette tension est due au fait que l'extrémité positive du secondaire (et donc aussi l'anode de la diode qui lui est reliée) se trouve à un potentiel électrique supérieur de 300 V à celui de l'extrémité négative reliée au châssis.

Sur la figure 11-a, la même tension a été indiquée en reportant simplement l'inscription $+ 300 \text{ V}$ près de l'anode de la diode : cette inscription rappelle que l'anode est à un potentiel supérieur de 300 V à celui de la masse, c'est-à-dire qu'entre l'anode et la masse, il y a une tension positive de 300 V .

Près de la cathode l'inscription $+ 300 \text{ V}$, a aussi été reportée pour indiquer qu'entre cette électrode et la masse, il y a une tension positive de 300 V , en considérant la tension entière fournie par le secondaire appliquée aux extrémités de la résistance, qui est reliée entre la cathode et la masse.

En réalité, cette tension sera un peu inférieure à 300 V , parce qu'aux extrémités de la diode, il doit aussi y avoir la petite tension nécessaire pour que le courant la traverse.

Il faut donc savoir que les inscriptions de la figure 11 indiquent les tensions qui existent entre les points proches des inscriptions et la masse.

Par exemple, sur la figure 11-b, l'inscription $- 300 \text{ V}$ indique qu'entre l'anode de la diode et la masse, il y a une tension négative de 300 V , tandis que l'inscription 0 V indique que la tension entre la cathode et la masse est nulle.

On a dit que les potentiels auxquels se trouvaient les différents points d'un appareil électronique se référaient à celui de la masse, mais on n'a pas précisé quel pouvait être ce dernier potentiel.

En réalité, il n'est pas important de connaître à quel potentiel peut se trouver la masse, car le fonctionnement d'un circuit ne dépend que de la différence entre LE POTENTIEL DE CHAQUE POINT ET LE POTENTIEL DE LA MASSE.

Il y a un cas pourtant où l'on note le potentiel de la masse : quand le châssis est mis à la terre en le reliant, par exemple, à une conduite métallique enterrée, qui peut être une conduite d'eau.

Dans ce cas, la masse de l'appareil est au même potentiel que la terre qui, comme nous l'avons vu à propos de l'électrostatique, est choisie par convention égal à zéro.

La liaison du châssis à la terre se fait pour des raisons de sécurité, dans le cas où l'on pense que le châssis peut être touché par quelqu'un. On évite ainsi que celui qui le touche, en ayant les pieds en contact avec la terre, puisse se trouver avec son corps entre deux points aux potentiels différents et donc qu'il puisse recevoir une secousse électrique.

Si nous revenons au redresseur à une alternance, nous observons enfin que le courant ne traverse la résistance de charge que pendant une demi-période pour chaque période complète de la tension alternative fournie par le transformateur ; on peut éviter l'interruption du courant pendant une demi-période en utilisant un circuit différent, appelé circuit REDRESSEUR A DOUBLE ALTERNANCE, que l'on va étudier.

4 - REDRESSEURS A DOUBLE ALTERNANCE

Pour comprendre le fonctionnement d'un redresseur à double alternance, étudions d'abord le transformateur qui alimente le circuit.

Ce transformateur a un secondaire muni d'une prise centrale, comme sur le schéma de la figure 2.

Si l'on suppose que ce secondaire a un nombre de spires deux fois plus grand que celui du transformateur étudié sur la figure 10 et sur la figure 11, on obtient entre ses extrémités A et B une tension d'une valeur maximum de 600 V ; entre la prise centrale C et chaque extrémité du secondaire on a donc une tension d'une valeur maximum de 300 V, comme sur la figure 12-a.

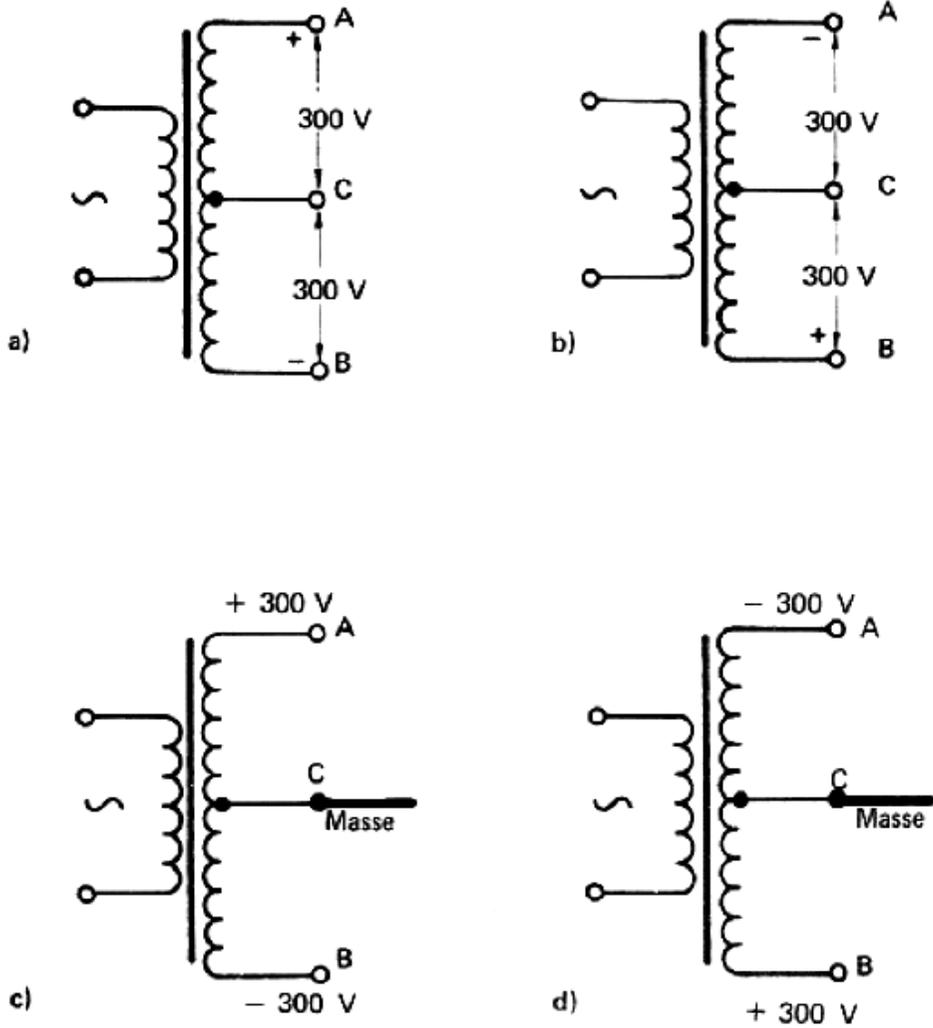
Sur cette figure sont aussi représentées les polarités des extrémités du secondaire : pendant une demi-période, l'extrémité A est positive et l'extrémité B négative, tandis que dans la demi-période suivante les polarités des extrémités du secondaire sont inversées, l'extrémité A est négative et l'extrémité B positive, comme on le voit sur la figure 12-b.

Si l'on relie la prise centrale à la masse, les potentiels des deux extrémités du secondaire peuvent se référer à celle-ci et l'on peut considérer les tensions existant entre ces extrémités et la masse.

Les valeurs maxima des tensions qui correspondent à la figure 12-a peuvent être indiquées comme on l'a fait sur la figure 12-c : près de l'extrémité A, il y a l'inscription + 300 V car entre cette extrémité et la masse il y a une tension positive de 300 V, tandis que près de l'extrémité B il y a l'inscription - 300 V car entre cette extrémité et la masse il y a une tension négative de 300 V.

De la même façon, sur la figure 12-d sont indiquées les valeurs maxima des tensions qui correspondent à la figure 12-b.

En comparant la figure 12-c et la figure 12-d, on voit que, pendant une demi-période, l'extrémité A est positive par rapport à la masse et l'extrémité B négative toujours par rapport à cette masse (figure 12-c), tandis que, pendant la demi-période suivante, la situation est inversée, car l'extrémité A devient négative et l'extrémité B positive par rapport à la masse (figure 12-d).



TRANSFORMATEUR AVEC UN SECONDAIRE A PRISE CENTRALE.

Figure 12

Nous voyons ainsi qu'au moyen du secondaire à prise centrale, on peut réaliser deux circuits redresseurs à une alternance du type de ceux que l'on a déjà étudiés.

On obtient un premier circuit en reliant la diode et la résistance en série entre l'extrémité A et la masse, comme sur la figure 13-a.

Ce circuit est le même que celui que nous avons déjà étudié sur la figure 11, la seule différence étant que maintenant la résistance est dessinée horizontalement et non plus verticalement ; la diode a été indiquée par la lettre A car son anode est reliée à l'extrémité A du secondaire.

On peut obtenir un deuxième circuit redresseur à une alternance en reliant une diode à la résistance située entre l'extrémité B du secondaire et la masse, comme on le voit sur la figure 13-b.

Ce circuit est identique au précédent, car dans ce cas encore l'anode de la diode est reliée à une extrémité du secondaire, tandis que la cathode est reliée à la résistance, liée à son tour à la masse ; la diode a été représentée par la lettre B, car son anode est reliée à l'extrémité B du secondaire.

Les deux circuits de la figure 13 peuvent être réunis, comme on le voit sur la figure 14 pour réaliser un seul circuit constituant justement le circuit redresseur à double alternance ; on peut donc considérer que ce circuit est formé par l'union de deux circuits redresseurs à une alternance.

Les deux circuits redresseurs ainsi unis ne se gênent pas réciproquement car ils ne fonctionnent pas simultanément.

On peut s'en rendre compte en considérant que, pendant une demi-période, les tensions entre les extrémités du secondaire et la masse doivent avoir les signes déjà indiqués sur la figure 12-c et reportés aussi sur la figure 14-a, tandis que pendant la demi-période suivante, les mêmes

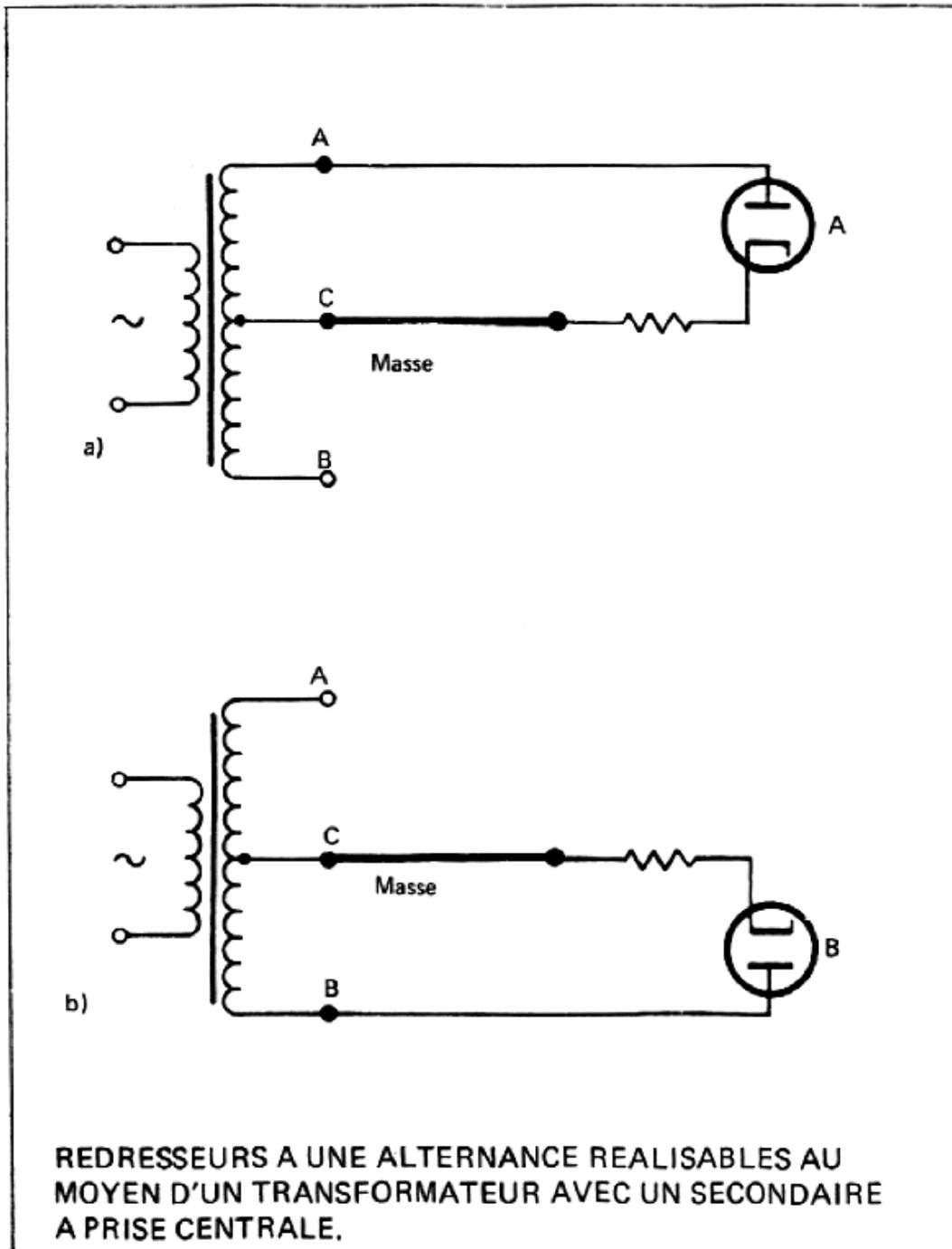


Figure 13

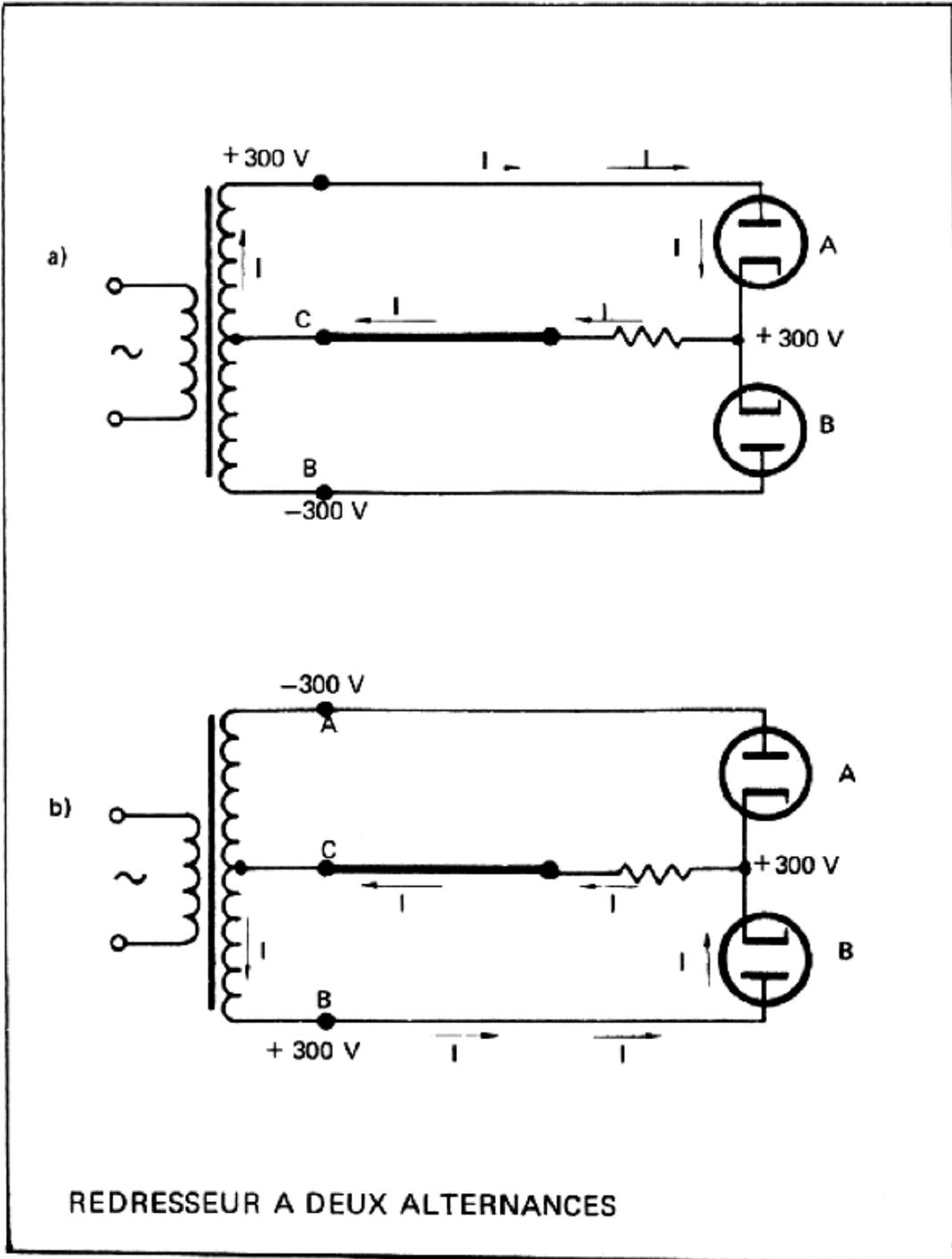


Figure 14

tensions doivent avoir les signes déjà indiqués par la figure 12-d et reportés aussi sur la figure 14-d.

Dans le cas de la figure 14-a, le courant traverse la diode A dont l'anode est positive, tandis qu'aucun courant ne peut traverser la diode B, car son anode est négative ; pendant une demi-période, le courant circule donc dans le circuit redresseur comme l'indiquent les flèches de la figure 14-a.

Dans le cas de la figure 14-b, le courant traverse au contraire la diode B dont l'anode est devenue positive, tandis qu'aucun courant ne peut plus traverser la diode A, dont l'anode est devenue négative : par conséquent, pendant la demi-période suivante, le courant circule dans le circuit redresseur comme l'indiquent les flèches de la figure 14-b.

Ce qu'il est important de retenir, c'est le fait que la résistance est parcourue par le courant qui traverse soit la diode A pendant une demi-période, soit la diode B pendant la demi-période suivante.

Si l'on connaît déjà l'allure du courant qui traverse chaque diode, il est facile de trouver l'allure du courant qui parcourt la résistance, en procédant comme on le voit sur la figure 15.

Sur la figure 15-a est indiquée l'allure du courant qui traverse la diode A, allure identique à celle de la figure 9-b.

Le courant qui traverse la diode B a également la même allure mais, comme on le voit sur la figure 15-b, les alternances sont décalées par rapport à celles du courant qui traverse la diode A, car lorsque l'anode d'une diode est positive, celle de l'autre diode est négative et vice versa.

Puisque les courants qui traversent les diodes passent ensemble dans la résistance, le courant qui parcourt cet élément peut être représenté comme sur la figure 15-c, en superposant les diagrammes de la figure 15-a et de la figure 15-b.

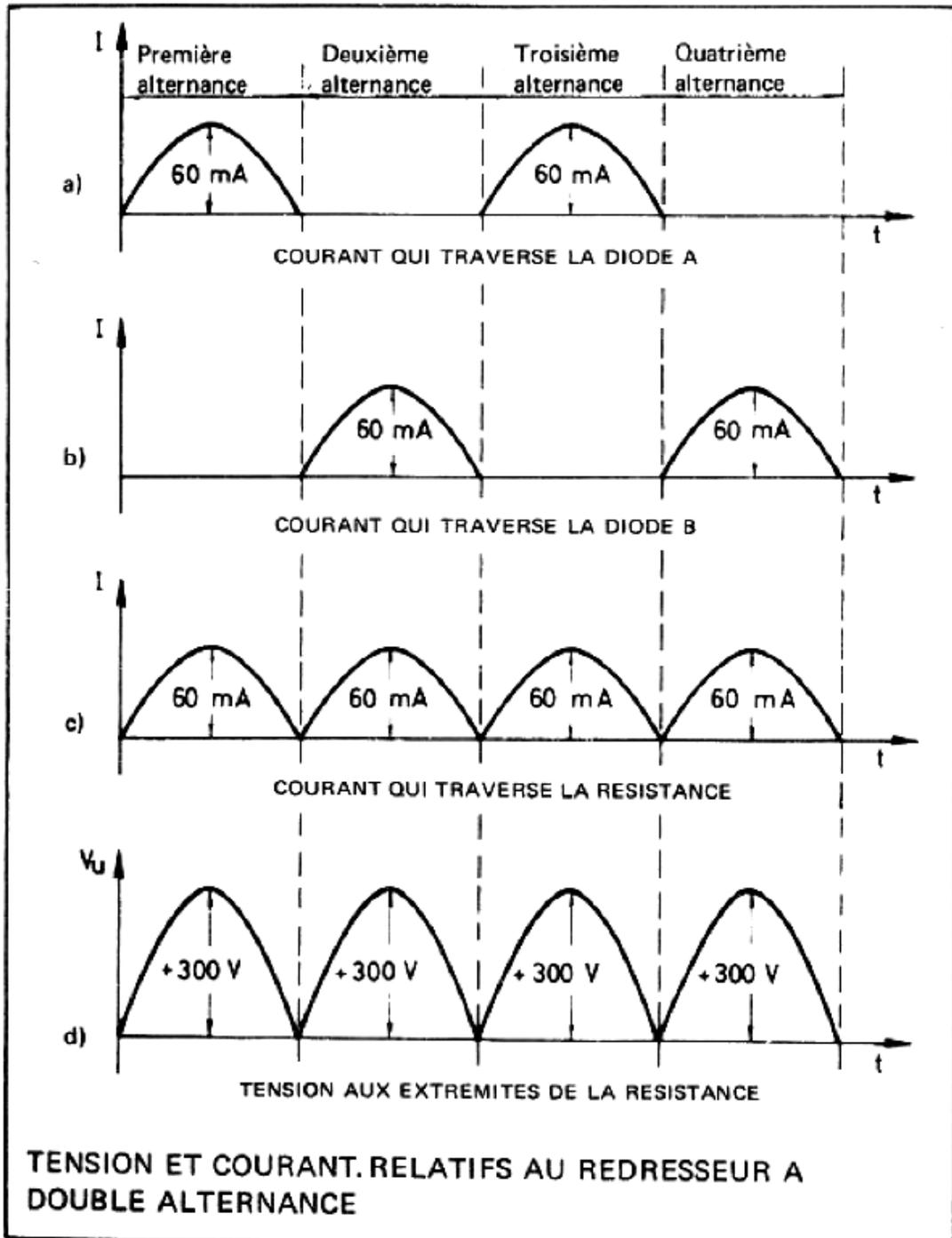


Figure 15

La figure 15-c montre l'allure du courant redressé, constituée par une succession d'alternances positives dont la première, la troisième, etc..., sont fournies par la diode A, tandis que la deuxième, la quatrième, etc..., sont fournies par la diode B.

Le courant redressé donne lieu à une chute de tension en traversant la résistance, aux extrémités de laquelle, on obtient donc la tension V_U constituée maintenant elle aussi par une succession d'alternances positives, comme on le voit sur la figure 15-d.

Le redresseur est appelé A DOUBLE ALTERNANCE parce que l'on obtient deux alternances pour chaque onde de la tension alternative.

En revenant à l'étude des schémas de la figure 14 on peut noter que les deux diodes ont la cathode reliée au même point du circuit. On comprend donc pourquoi, au lieu d'utiliser deux diodes, on peut utiliser un seul tube qui renferme dans la même ampoule deux anodes et une seule cathode.

On construit effectivement des diodes de ce type qui trouvent un large emploi pour l'alimentation des montages : ces diodes sont appelées BIPLAQUES car elles sont munies de deux anodes ou plaques.

Sur la figure 16-a, on voit que les deux anodes sont disposées l'une au-dessus de l'autre autour du petit cylindre de la cathode et que chacune d'elles est reliée à une broche ; sur les schémas électriques la diode biplaque est représentée au moyen du symbole graphique de la figure 16-b.

En général, le schéma d'un circuit redresseur muni d'une diode biplaque est indiqué comme sur la figure 17 ; en ce qui concerne les liaisons, ce schéma ne diffère pas de celui de la figure 15.

En effet, dans les deux cas, les anodes sont reliées aux extrémités du secondaire, tandis que la cathode est reliée à la résistance reliée à la masse.

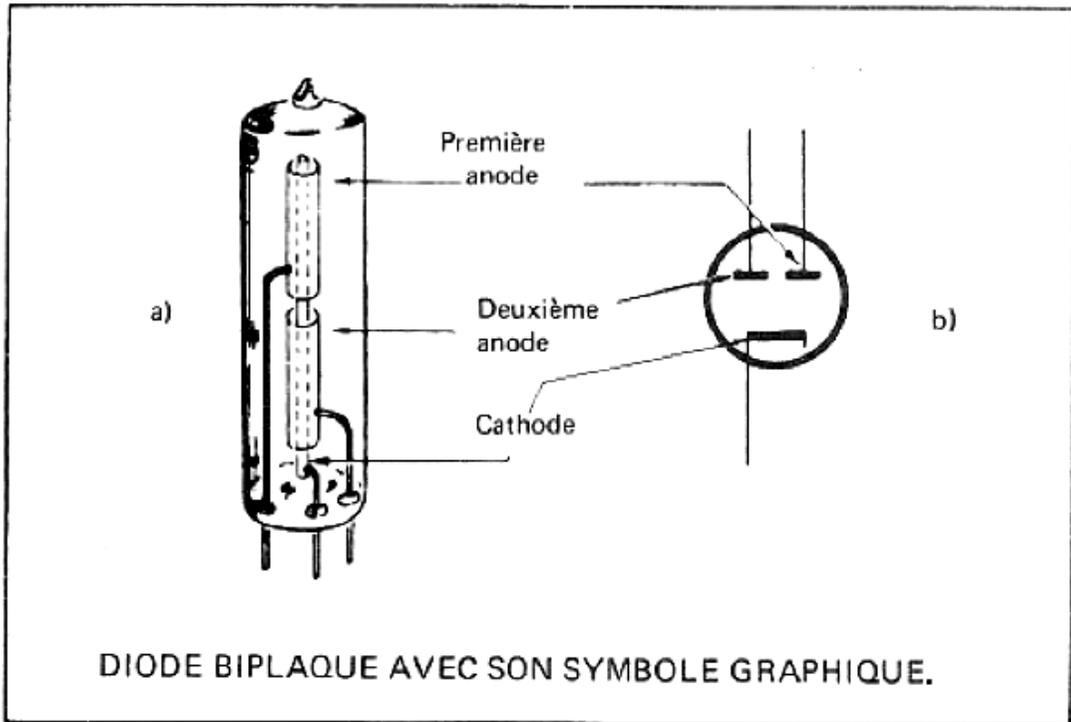


Figure 16

Nous avons donc vu qu'avec une diode, on peut redresser le courant alternatif, en obtenant un courant qui a l'allure indiquée par la figure 9-b ; avec deux diodes ou une diode biplaque, on peut redresser le courant alternatif, en obtenant un courant qui a l'allure indiquée par la figure 15-c.

Ces deux courants sont appelés UNIDIRECTIONNELS car ils circulent toujours dans le même sens comme le courant continu. Ils sont aussi appelés courants PULSES car leur intensité n'est pas constante mais varie entre la valeur zéro et la valeur maximum, à la différence de ce qui se produit pour le courant continu qui a constamment la même intensité.

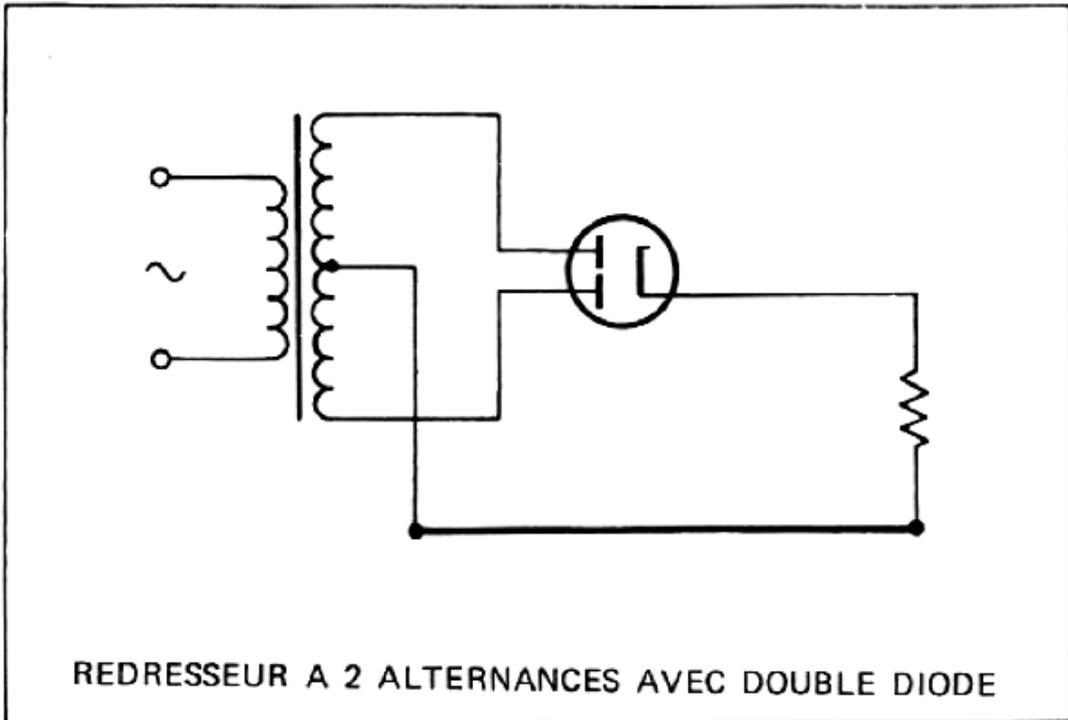


Figure 17

On voit donc que, pour compléter la transformation du courant alternatif en courant continu, il faut encore rendre constante l'intensité du courant pulsé, obtenu d'un circuit redresseur ; le prochain chapitre est justement consacré à l'examen des circuits utilisés dans ce but.

5 - CIRCUITS DE FILTRAGE

Les circuits qui permettent de rendre constante l'intensité du courant dans la résistance de charge, en transformant ainsi le courant pulsé en courant continu, sont appelés CIRCUITS DE FILTRAGE.

Il est plus exacte de dire qu'à partir de ces circuits on obtient une tension continue, laquelle, appliquée à la résistance, y fera circuler un courant continu.

On représente graphiquement une tension continue au moyen d'une ligne parallèle à l'axe des abscisses, comme sur la figure 18 : en effet, puisque cette tension maintient constamment la même valeur (qui est de 300 V sur la figure), il doit y avoir à n'importe quel instant entre la ligne et l'axe des abscisses la même distance de 3 cm, correspondant à la valeur de 300 V, puisque 1 cm = 100 V comme le rappelle l'inscription en haut à droite.

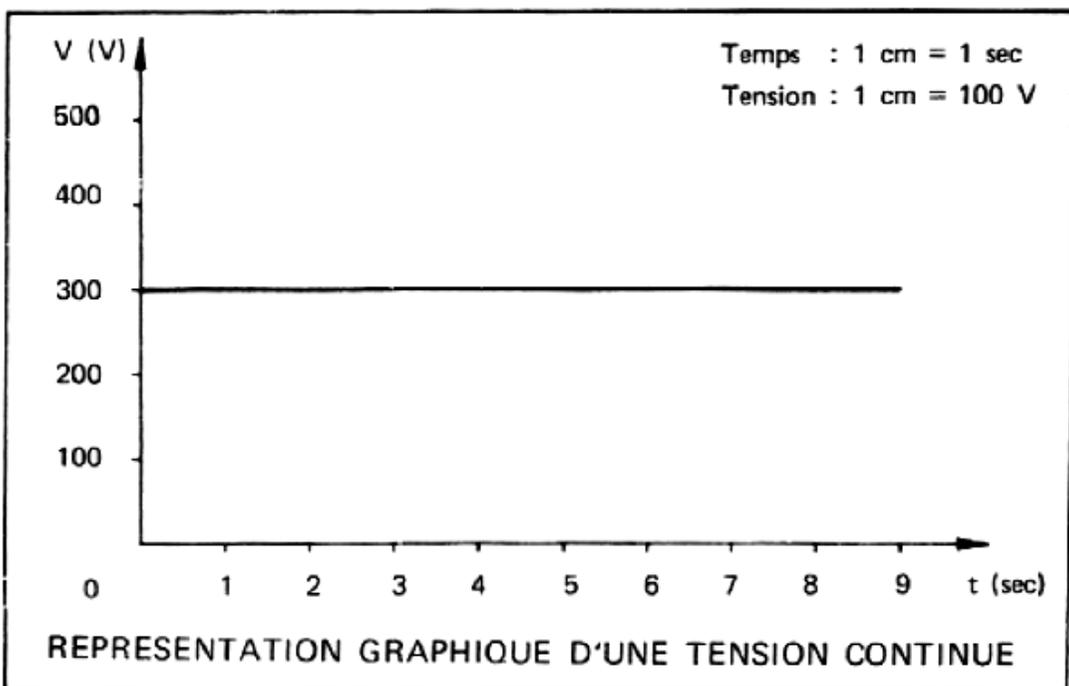


Figure 18

Evidemment, le courant continu est aussi représenté graphiquement au moyen d'une ligne horizontale, comme la tension.

Il faut donc voir comment doit être constitué un circuit de filtrage pour modifier l'allure de la tension redressée, de façon à la rendre le plus possible semblable à celle de la tension continue indiquée sur la figure 18.

Avant tout, il faut étudier ce qui se produit quand on relie un condensateur en parallèle à une résistance placée en série avec une diode redresseuse à une alternance, comme on le voit sur les schémas de la figure 19.

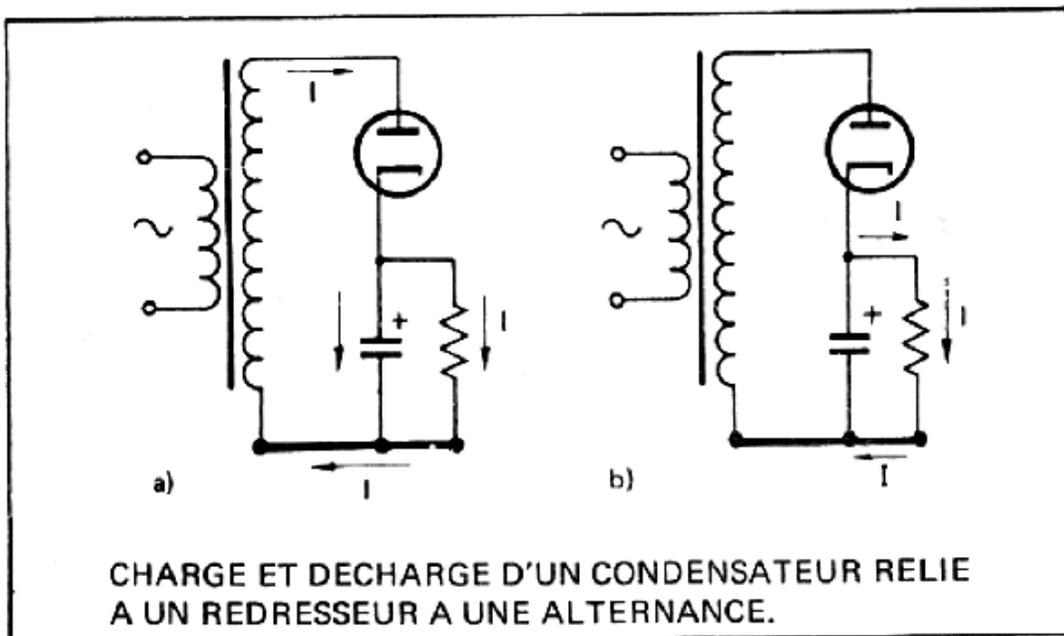


Figure 19

Quand la diode est traversée par le courant (figure 19-a), une partie de ce courant **CHARGE LE CONDENSATEUR**, de façon à ce que son armature reliée à la cathode de la diode soit positive par rapport à l'autre armature reliée à la masse ; l'autre partie du courant qui traverse la diode parcourt normalement la résistance.

Quand la diode n'est plus traversée par le courant (figure 19-b), le condensateur se décharge comme on l'a déjà vu dans les leçons précédentes : les charges positives, présentes en surplus sur l'armature positive, vont sur l'armature reliée à la masse, en traversant la résistance et en constituent le courant de décharge qui circule dans le sens indiqué par les flèches de la figure 19-b.

Ainsi la résistance est toujours parcourue dans le même sens par un courant qui provient tantôt de la diode, tantôt du condensateur. Pour voir quelle est l'allure de ce courant, il faut étudier comment varie la tension aux extrémités de la résistance et donc aux extrémités du condensateur qui lui, est relié en parallèle.

Pour cela, reportons-nous à la figure 20, où sont dessinés les diagrammes de la tension alternative V fournie par le secondaire du transformateur (figure 20-a) et de la tension V_U (figure 20-b) déjà indiquée sur la figure 9-c dans le cas où entre la cathode et la masse, il n'y a que la résistance sans le condensateur en parallèle : les alternances positives qui constituent la tension V_U , dessinées maintenant en pointillés, permettent de voir la modification de leur allure quand le condensateur est en parallèle avec la résistance.

Etudions le comportement du circuit à partir de l'instant indiqué par t_1 , pour lequel la tension V_U atteint sa valeur maximum et le condensateur est chargé à cette tension.

A partir de cet instant t_1 , la tension alternative (figure 20-a) diminue et s'il n'y avait pas le condensateur, la tension V_U aux extrémités de la résistance diminuerait aussi selon l'allure indiquée par la demi-onde en pointillé de la figure 20-b.

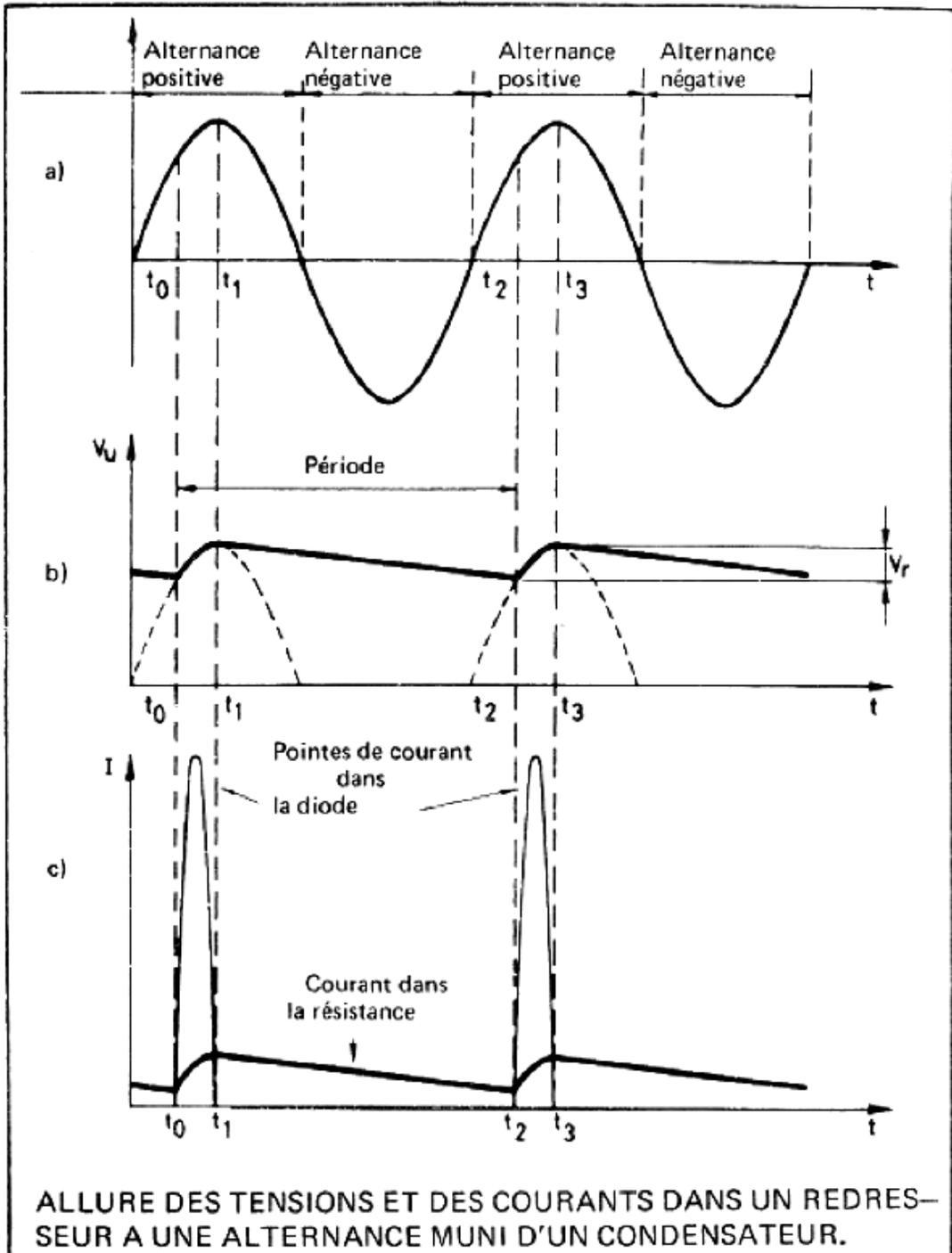


Figure 20

Aux extrémités de la résistance est donc relié le condensateur, qui, lorsque la tension diminue, doit se décharger en donnant lieu au courant de décharge à travers la résistance.

A cause de la résistance opposée par la résistance au courant de décharge, il faut un certain temps pour que toutes les charges présentes sur l'armature positive du condensateur aillent sur l'autre armature : par conséquent, la tension V_U diminue plus lentement, selon l'allure indiquée sur la figure 20-b par la ligne à trait fort comprise entre les instants t_1 et t_2 .

Entre ces deux instants, la tension V_U est toujours positive et d'une valeur supérieure à celle de la tension alternative V qui, entre temps, termine l'alternance positive, accomplit l'alternance négative et commence une autre alternance positive.

Puisque la tension alternative V est appliquée entre l'anode et la masse, le fait que, dans le temps compris entre les instants t_1 et t_2 , la première ait toujours une valeur inférieure à la seconde signifie que l'anode est constamment à un potentiel inférieur à celui de la cathode : par conséquent, entre les instants t_1 et t_2 la diode ne peut pas être traversée par le courant.

A partir de l'instant t_2 donc, la tension alternative, qui est en train d'augmenter car elle accomplit la deuxième alternance positive, surpasse la valeur de la tension V_U en portant l'anode à un potentiel supérieur à celui de la cathode, et la diode est donc traversée par le courant qui charge le condensateur.

La tension aux extrémités de cet élément augmente en même temps que la tension alternative jusqu'à ce qu'elle atteigne de nouveau la valeur maximum à l'instant t_3 , pour lequel se répète la même allure que celle décrite à partir de l'instant t_1 .

Maintenant que nous avons vu comment est modifiée l'allure de la tension V_u aux extrémités de la résistance du fait du condensateur, il est facile de déduire que le courant qui circule dans cette résistance doit aussi avoir la même allure, comme l'indique le trait fort de la figure 20-c.

Nous observons que, dans le temps compris entre les instants t_1 et t_2 , le courant traversant la résistance est fourni par le condensateur qui se décharge en perdant ainsi une certaine quantité d'électricité ; cette même quantité d'électricité est fournie de nouveau au condensateur par le courant qui traverse la diode dans le temps compris entre les instants t_2 et t_3 .

Puisque ce temps, pendant lequel le condensateur se charge, est beaucoup plus court que le temps compris entre les instants t_1 et t_2 pendant lequel le condensateur se décharge, le courant de charge doit être beaucoup plus intense que le courant de décharge, car la quantité d'électricité est toujours la même.

Sur la figure 20-c, on voit aussi comment varie le courant qui traverse la diode pour charger le condensateur : par suite de l'allure caractéristique de ce courant, on dit que dans la diode on a des POINTES de courant.

Dans la leçon précédente, on a dit que la caractéristique d'une diode comprenait un premier trait plein et un second trait en pointillé : ce deuxième trait sert justement à connaître le comportement du tube lors des pointes de courant.

On a dit aussi que le tube pouvait fonctionner dans ces conditions sans que la puissance maximum dissipable ne soit dépassée et ceci est confirmé par le fait que, comme on le voit sur la figure 20-c, on a entre deux pointes de courant une période de temps assez longue pendant laquelle aucun courant ne traverse la diode, dont l'anode peut cependant écouler la chaleur.

Il faut toutefois s'assurer que, pendant les pointes de courant, celui-ci n'est pas assez intense pour pouvoir produire une dissipation anodique excessive.

Pour cela on imagine que la diode, au lieu d'être traversée par des pointes de courant, est traversée par le courant continu qui, comme nous le verrons, est obtenu en appliquant aux pointes un circuit de filtrage.

On peut voir ainsi immédiatement si la valeur de ce courant est comprise dans l'espace de la caractéristique à ligne pleine, qui indique justement les valeurs du courant continu qui ne font pas dépasser la dissipation anodique maximum.

On doit aussi savoir que la cathode de la diode ne doit pas émettre de courant supérieur à une certaine valeur, parce qu'au-delà de cette valeur elle peut se détériorer.

Il faut s'assurer aussi que le courant de pointe n'a pas une valeur qui permette la détérioration de la cathode de la diode qui doit l'émettre.

Puisque le courant de pointe est d'autant plus intense que la capacité du condensateur qu'il doit charger est plus grande, les constructeurs des diodes indiquent généralement la puissance maximum du condensateur qu'il est possible de relier en parallèle à la charge sans que les pointes du contact ne soient dangereuses pour l'intégrité de la cathode.

Dans le cas d'un redresseur à double alternance aussi, en reliant un condensateur en parallèle à la résistance, on obtient une tension qui, comme on le voit sur la figure 21, a une allure semblable à celle que nous avons étudiée pour le redresseur à une alternance.

Dans le redresseur à double alternance, les alternances positives ne sont plus séparées par un intervalle d'une demi-période, mais elles se succèdent d'une façon ininterrompue, comme l'indique la ligne pointillée de la figure 21.

Par conséquent, tandis que la tension obtenue avec le redresseur à une alternance varie en reprenant les mêmes valeurs après un temps égal à la période de la tension alternative, comme on le voit sur la figure 20-b, la tension obtenue avec le redresseur à double alternance reprend les mêmes valeurs après un temps égal à la moitié du précédent, et sa période, indiquée sur la figure 21, est donc égale à la moitié de celle de la tension alternative.

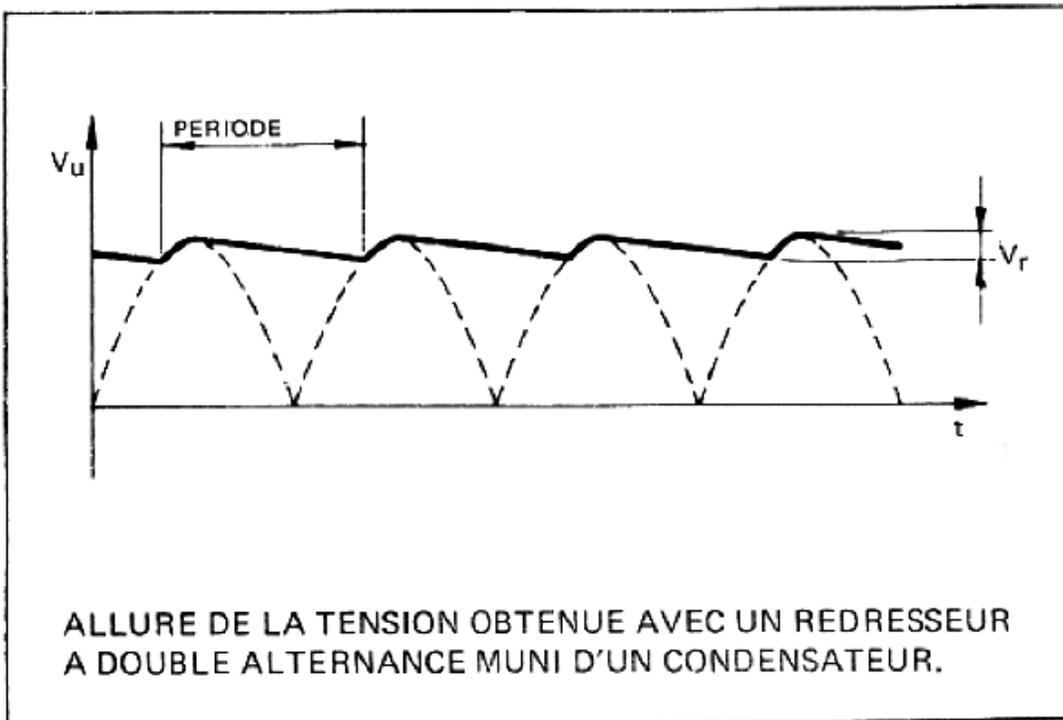


Figure 21

C'est pour cela que le temps pendant lequel le condensateur se décharge est aussi diminué de moitié et donc la diminution de la tension V_u ainsi que sa variation, sont donc inférieures dans le cas d'un redresseur à double alternance.

On peut le voir en comparant les diagrammes de la figure 20-b et de la figure 21, où cette variation, indiquée par V_r , est donnée par la différence entre les valeurs maximum et minimum de la tension V_u .

Si avec cette tension on alimentait un appareil, le fonctionnement de celui-ci serait défectueux, car la tension d'alimentation des montages électroniques doit être parfaitement stable.

Sur un récepteur de radio par exemple, les variations de V_u produisent un RONFLEMENT.

Pour cette raison, les variations de V_u sont désignées sur les ALIMENTATIONS par les termes TENSION DE RONFLEMENT (V_r).

La tension de ronflement, étant due aux charges et décharges successives du condensateur, doit dépendre et de la capacité du condensateur, et du courant que cet élément fournit à la résistance durant sa décharge.

Il est évident que, plus le courant absorbé par la charge est important, plus la décharge du condensateur est importante comme aussi la diminution de la tension à ses extrémités, qui constitue justement la tension de ronflement V_r .

D'autre part, pour un courant déterminé fourni à la charge, le condensateur se décharge d'une quantité d'électricité donnée par le produit de sa capacité par la tension V_r , qui indique justement la diminution de la tension qui correspond à la décharge : cette diminution de tension, c'est-à-dire la tension de ronflement V_r , est d'autant plus petite que la capacité du condensateur est plus grande.

Pour éliminer le ronflement qui accompagne la retransmission, il n'est pas nécessaire que la tension V_r soit absolument nulle et que la tension V_u ait donc la même allure que celle de la tension continue de la figure 18, car de petites variations de tension V_u ne gênent pas sensiblement la retransmission.

En général, on peut tolérer des variations de 1 V ou même de 2 V par centaines de volts de la tension V_U ; en résumé, on peut dire que la tension V_r peut représenter 1% ou même 2% de la tension V_U .

D'après ce qui a été dit précédemment, on comprend pourquoi, pour réduire la tension de ronflement à ces valeurs, il faudrait utiliser un condensateur d'une capacité très élevée, en encourageant ainsi le risque d'avoir des pointes de courant excessives ; c'est pour cela qu'on a recours à l'utilisation d'une CELLULE DE FILTRAGE disposée entre le condensateur et la résistance du circuit redresseur.

Cette cellule de filtrage est constituée d'une bobine munie d'un noyau ferromagnétique et d'un condensateur, reliés comme on le voit sur la figure 22-a ; la bobine est plus précisément une INDUCTANCE car son enroulement est formé de nombreuses spires.

Le courant dû à la décharge du condensateur relié entre la cathode et la masse doit maintenant traverser d'abord le bobinage avant d'atteindre la résistance et, puisque ce bobinage a la propriété de combattre les variations du courant, la résistance est donc parcourue par un courant presque continu ; d'autre part, le condensateur relié aux extrémités de la résistance se comporte à l'égard de la tension comme le condensateur relié entre la cathode et la masse, en contribuant à réduire les tensions de ronflement.

L'ensemble formé par deux condensateurs et par le bobinage constitue un filtre de nivellement appelé à ENTREE CAPACITIVE, car le premier élément du filtre est justement le condensateur relié entre la cathode et la masse.

Par suite des importantes capacités nécessaires, les deux condensateurs sont toujours du type ELECTROLYTIQUE, déjà décrit dans les leçons pratiques ; comme on le voit sur la figure 22.

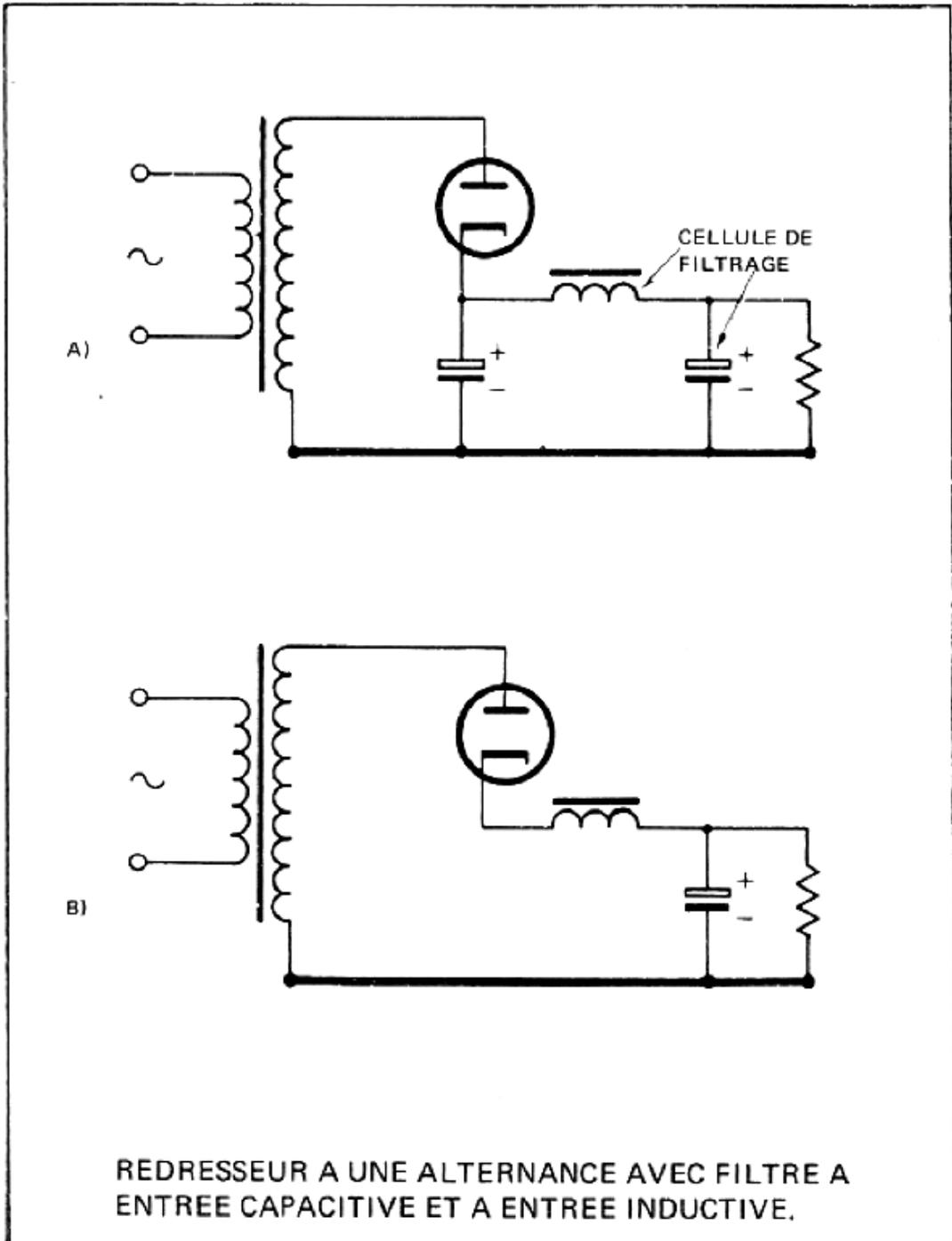


Figure 22

Ces condensateurs ont leur armature négative reliée à la masse, et leur armature positive reliée à des points qui sont à un potentiel supérieur à celui de cette masse.

Cette bobine étant coûteuse et encombrante, on la remplace souvent par une simple résistance qui, bien qu'elle n'ait pas la propriété d'empêcher les variations du courant, ralentit cependant la décharge du premier condensateur rendant moins importante la variation du courant. L'effet de nivellement est renforcé par le deuxième condensateur.

Ces filtres sont aussi appelés filtres A RESISTANCE ET CAPACITE (en abrégé RC), tandis que les filtres munis d'une impédance sont appelés filtres A BOBINE ET CAPACITE (en abrégé LC).

On utilise aussi des filtre A INDUCTANCE D'ENTREE car, comme on le voit sur la figure 22-b, leur premier élément est une bobine, le condensateur relié entre la cathode et la masse étant absent.

Par suite de l'absence de ce condensateur, la diode n'est plus traversée par les pointes de courant qui pourraient être dangereuses, spécialement dans les cas où l'on doit fournir un courant important à la charge.

Les filtres à inductance d'entrée sont donc utilisés pour l'alimentation d'appareils qui demandent une puissance importante ; dans les montages courants ces filtres ne sont pratiquement pas utilisés, car la puissance d'alimentation est toujours assez réduite.

Nous reprenons l'étude des circuits REDRESSEURS et des CELLULES DE FILTRAGE dans la leçon "CIRCUITS ELECTRONIQUES 2" et allons voir maintenant une autre application importante de la diode : LA DETECTION.

6 - LA DETECTION

Le rôle de la DETECTION est de séparer un SIGNAL MODULE (signal variable), d'un autre signal servant de support.

Dans le cas le plus connu de tous, il peut s'agir par exemple de SEPARER le signal BF d'une émission radio, du signal HF utilisé comme moyen de transport.

La figure 23-a représente le schéma type du montage de la diode détectrice, la figure 23-b la forme du signal émis par un émetteur (signal HF modulé en AMPLITUDE) et la figure 23-c, la forme du signal obtenu à la sortie du circuit DETECTEUR.

Ce détecteur est équipé d'une diode spéciale appelée DIODE DETECTRICE.

A l'entrée du détecteur, on applique la tension V_e due au signal HF modulé en amplitude par le signal BF.

Sur la figure, le signal BF est représenté par une ligne en pointillé. Au début du diagramme, le signal HF n'est pas modulé (son amplitude est constante), elle varie ensuite sous l'effet d'un signal BF sinusoïdal.

A la sortie du DETECTEUR, on obtient une tension V_u qui a la même progression que la ligne en pointillé (figures 23-b et 23-c).

D'après la figure 23-c, on voit que la tension V_u est formée de la superposition du signal BF sur une COMPOSANTE CONTINUE, dont la valeur V_0 est égale à la valeur maximum V_M de la tension V_e non modulée.

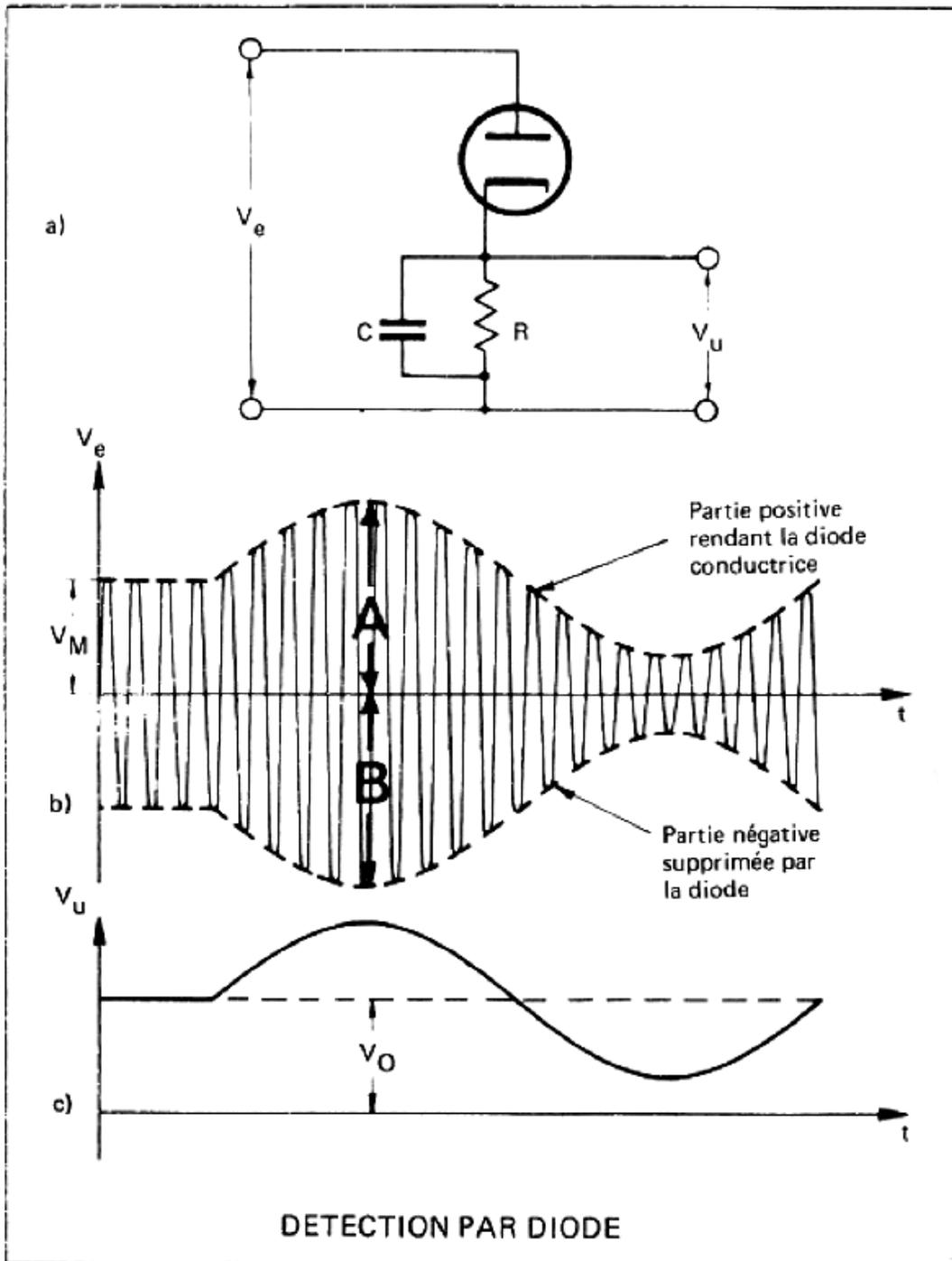


Figure 23

En reliant à la sortie du DETECTEUR, un condensateur bloquant LA COMPOSANTE CONTINUE, il est possible de ne prélever que le signal BF.

Après avoir vu le fonctionnement des circuits REDRESSEURS, il n'est pas utile de s'étendre sur le passage de la figure 23-b à la figure 23-c.

En effet, lorsque la PLAQUE de la diode est rendue POSITIVE par le signal appliqué (partie A) elle devient conductrice. Par contre elle est NON CONDUCTRICE pour la partie B, qui est ainsi purement et simplement éliminée.

La possibilité de séparer la tension V_e de la tension V_u , sans modifier l'allure du signal, dépend en grande partie de la valeur des composants du groupe de détection (groupe R.C).

Il faut donc étudier quelques notions générales sur le comportement d'un groupe R.C.

Etudions par exemple le groupe R.C de la figure 24-a et supposons que le condensateur C est chargé à la tension de 10 Volts.

Comme nous le savons, le condensateur, dès qu'il est relié à la résistance, commence à se décharger. Dans ces conditions, les charges électriques passent de l'une à l'autre de ses armatures en traversant la résistance.

En raison de la résistance ohmique présentée par la résistance, il faut un certain temps pour que toutes les charges passent d'une armature à l'autre (décharge complète du condensateur).

Au fur et à mesure que cette décharge se produit, la tension V entre les armatures du condensateur diminue et devient nulle, lorsqu'il est complètement déchargé.

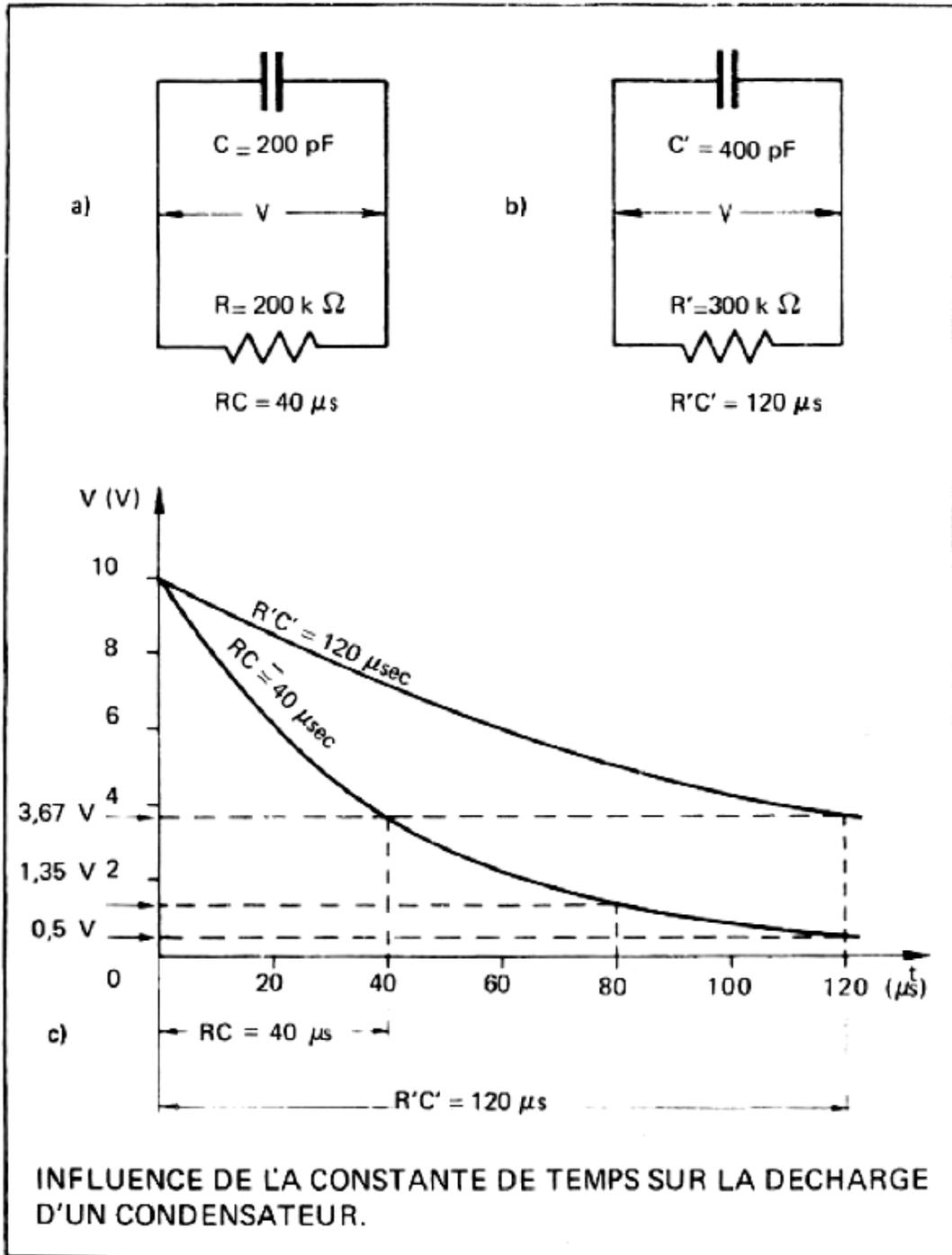


Figure 24

Pour comprendre le fonctionnement du circuit détecteur, il est intéressant de savoir comment diminue la tension V lors de la décharge du condensateur.

Il est évident que celui-ci se décharge d'autant plus lentement que la résistance a une valeur élevée.

D'autre part, plus le condensateur a une capacité importante, plus le nombre des charges électriques recueillies sur ses armatures est grand, et par conséquent, plus le temps nécessaire à sa décharge est long.

La rapidité de la décharge, donc la rapidité de la diminution de la tension V , dépend ainsi, soit de la valeur de la résistance, soit de la valeur du condensateur (plus précisément du produit de ces valeurs, appelé **CONSTANTE DE TEMPS**).

La constante de temps est très utile pour définir le comportement d'un groupe R.C. En effet, les Mathématiciens ont démontré que pour chaque intervalle de temps égal à la constante de temps, la tension V se réduit de 2,72 fois.

Par exemple, dans le cas de la figure 24-a, nous avons $R = 200 \text{ K}\Omega$ et $C = 200 \text{ pF}$.

En exprimant cette valeur capacitive en nanofarad, nous obtenons $200 \text{ pF} = 0,2 \text{ nF}$.

La constante de temps du groupe R.C, exprimée en microseconde est égale à :

$$200 \times 0,2 = 40 \mu\text{s}$$

Ceci signifie que pour chaque intervalle de temps de $40 \mu\text{s}$, la tension V se réduit de 2,72 fois.

Etant donné que le condensateur a été chargé initialement à la tension de 10 volts, après $40 \mu\text{s}$, la tension V aura pour valeur :

$$10 : 2,72 = 3,67 \text{ volts}$$

Cette tension après un deuxième temps de $40 \mu\text{s}$ se réduit encore de 2,72 fois. On obtient ainsi :

$$3,67 : 2,72 = 1,35 \text{ volt après } 80 \mu\text{s}$$

Après un troisième temps de $40 \mu\text{s}$, c'est-à-dire $120 \mu\text{s}$, nous avons :

$$1,35 : 2,72 = 0,5 \text{ volt}$$

La tension V continue à diminuer de cette façon jusqu'à la décharge complète du condensateur.

D'après ces calculs, il est possible de tracer la courbe représentant l'allure de la tension V en fonction de la constante de temps du circuit (voir figure 24-c)

Pour mieux voir l'influence de la constante de temps, étudions le groupe R.C. de la figure 24-b, comportant une résistance de $300 \text{ K } \Omega$ et un condensateur de 400 pF ($400 \text{ pF} = 0,4 \text{ nF}$).

La constante de temps de ce deuxième circuit est donc égale à :

$$300 \times 0,4 = 120 \mu\text{s}$$

Ceci signifie qu'il faut dans ce cas $120 \mu\text{s}$, c'est-à-dire un temps trois fois supérieur au précédent, pour que la tension V se réduise 2,72 fois.

La courbe qui représente l'allure de la tension de ce second circuit est également illustrée figure 24-c.

On peut voir sur celle-ci que la diminution de la tension est beaucoup moins rapide que dans le cas précédent.

Par exemple, après $120 \mu\text{s}$, la tension a une valeur de 0,5 volt dans le premier cas et de 3,67 volts dans le second cas.

Retournons maintenant au circuit détecteur et étudions l'influence de la constante de temps sur la détection.

Supposons d'abord que le circuit soit formé uniquement d'une diode et d'une résistance en série.

Dans ce cas, la constante de temps est égale à zéro.

Etant donné que la diode ne laisse circuler le courant que lorsque l'anode est positive par rapport à la cathode, seules les demi-ondes positives engendreront une tension V_U .

L'allure de cette tension est représentée figure 25-a.

Les demi-ondes positives des tensions V_e et V_U auront pratiquement la même amplitude, en raison de la chute de tension limitée introduite par la diode.

Supposons maintenant que l'on ajoute un condensateur C en parallèle sur la résistance, et que ces éléments aient les valeurs indiquées figures 24-a (constante de temps de $40 \mu\text{s}$).

Dans ce cas, la tension V_U ne diminue plus jusqu'à zéro comme sur la figure 25-a, en raison de la présence du condensateur.

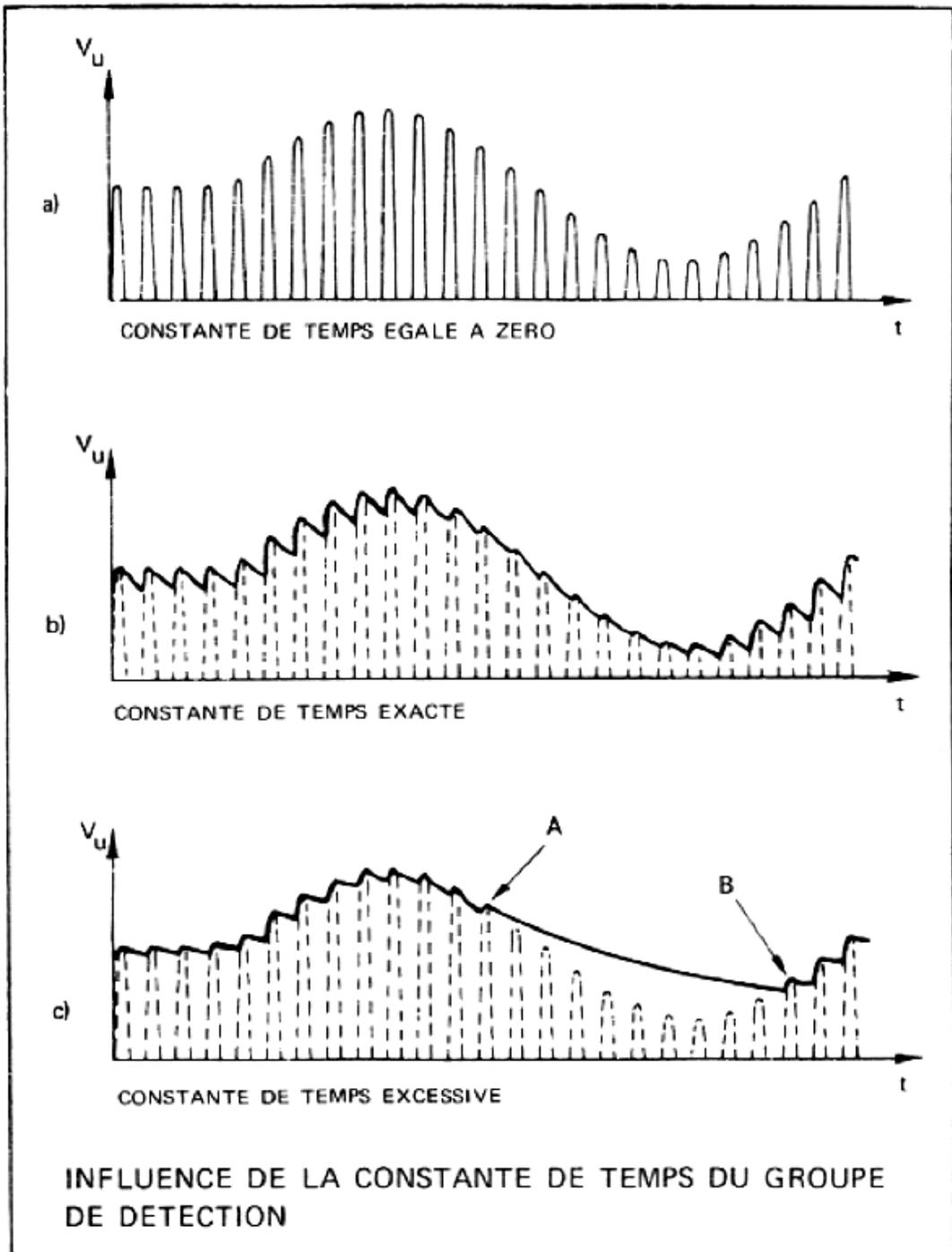


Figure 25

Dans le circuit détecteur, il se produit maintenant le phénomène déjà étudié lors de l'examen des circuits redresseurs.

Toutefois, tandis que dans les circuits redresseurs les demi-ondes positives ont toutes la même amplitude, dans le circuit détecteur, l'amplitude des demi-ondes positives varie à cause de la modulation.

Ainsi, dans le circuit détecteur, le condensateur se charge à chaque demi-onde positive. La tension entre ses armatures augmente jusqu'à la valeur maximum de la demi-onde et SE DECHARGE ENSUITE LENTEMENT LORSQUE LA TENSION ENTRE SES ARMATURES DIMINUE.

Par conséquent, bien avant que la tension n'ait atteint la valeur zéro, survient une autre demi-onde positive qui recharge le condensateur.

La tension V_u prend l'allure illustrée figure 25-b. Sur celle-ci, les demi-ondes positives ont été représentées en pointillés pour mettre en évidence les charges et décharges du condensateur.

On voit que la tension V_u est représentée par une ligne dentelée qui a une allure générale assez proche de la ligne représentée figure 23-c.

En réalité la dentelure est beaucoup moins marquée que sur la figure 25-b car il faut tenir compte du fait que durant un cycle du signal BF, on a au moins une centaine de cycles du signal HF. Le condensateur se charge et se décharge donc au moins une centaine de fois pour chaque cycle du signal BF.

On pourrait penser qu'il est possible de réduire la dentelure en adoptant une constante de temps plus élevée, de façon à ce que la tension diminue moins entre deux demi-ondes successives.

La figure 25-c illustre la progression de la tension lorsque le circuit détecteur est équipé d'un groupe R.C comme celui de la figure 24-b (constante de temps = 120 μ s).

Dans les espaces où l'amplitude des demi-ondes positives reste constante, la dentelure est effectivement réduite, mais dans les espaces où l'amplitude des demi-ondes diminue, la tension V_u ne suit plus la progression du signal BF.

Dans ce cas en effet, la décharge du condensateur est trop lente et la tension ne diminue pas assez rapidement.

Sur la figure 25-c, on voit qu'entre les demi-ondes indiquées par A et B, la tension V_u diminue plus lentement que les demi-ondes en pointillé.

Il est évident que dans ce cas, la tension V_u n'a pas la progression sinusoïdale du signal BF émis et que ce signal est distordu ce qui entraîne une mauvaise reproduction des sons.

EN PRATIQUE, ON ADOPTE GENERALEMENT UNE CONSTANTE DE TEMPS COMPRISE ENTRE 20 μ s et 60 μ s.

Nous avons pris ici comme exemple un circuit DETECTEUR de récepteur de radio, mais celui-ci reste valable quelle que soit l'application envisagée (détecteur VIDEO c'est-à-dire détecteur image en Télévision - détecteur D'ERREURS dans certains montages d'électronique industrielle, etc...).

Dans la prochaine leçon nous verrons un nouveau type de tube électronique : LA TRIODE, dont la propriété est de pouvoir AMPLIFIER un tension.

NOTIONS A RETENIR

- La diode à vide est un composant ne laissant passer le courant que dans un seul sens : de la cathode vers l'anode (sens électronique).
- D'autre part la diode n'est conductrice que si son ANODE est POSITIVE par rapport à sa CATHODE.
- La courbe caractéristique d'une DIODE, indique L'INTENSITE qui circule dans le tube en fonction de la valeur de la TENSION D'ANODE.
- La SATURATION est obtenue lorsque le courant reste à une valeur constante même si l'on continue à augmenter la tension d'anode.

L'inverse de la SATURATION s'appelle le BLOCAGE (état de NON-CONDUCTION). Dans ce cas le débit du tube est nul. Ce phénomène se produit lorsque la CATHODE est plus POSITIVE que l'ANODE.

On dit alors que la diode est "bloquée".

- La diode est principalement utilisée pour le REDRESSEMENT de la TENSION ALTERNATIVE (transformation de la tension alternative du secteur par exemple, en tension continue) et pour la DETECTION.
- La DETECTION est l'opération qui consiste à séparer un signal modulé d'un autre signal, servant généralement de "SUPPORT" ou de "MOYEN DE TRANSPORT".

Dans le cas d'un récepteur de radio, le CIRCUIT DETECTEUR a pour rôle de restituer le signal BF modulant le signal HF, celui-ci étant donné sa propriété de pouvoir se propager dans l'espace, ne servant que de "moyen de transport" au premier.

Actuellement la DIODE A VIDE est le plus souvent remplacée par la DIODE à SEMI-CONDUCTEURS (voir leçons SEMI-CONDUCTEURS).



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA "THEORIE 13"

- 1) Les ondes radio se classent d'après leur longueur ou d'après leur fréquence.
- 2) Quand on connaît la longueur des ondes radio, on détermine leur fréquence en divisant la vitesse de la lumière par la longueur des ondes.
- 3) Les ondes entretenues sont des ondes qui se succèdent uniformément, toujours égales les unes aux autres.
- 4) Les deux types de modulation utilisés dans les émetteurs radio-téléphoniques sont la modulation d'amplitude et de fréquence.
- 5) Le détecteur d'un récepteur extrait le signal BF du signal HF modulé en amplitude ou en fréquence.
- 6) L'émission thermo-électrique est l'émission d'électrons à partir d'un métal porté à une haute température.
- 7) L'émission des électrons nécessaires au fonctionnement des tubes s'obtient à partir du tungstène pur, du tungstène mélangé, ou des oxydes de baryum et de strontium.
- 8) Par rapport au système de chauffage des tubes on peut distinguer les tubes à chauffage direct et les tubes à chauffage indirect.
- 9) Dans un tube à chauffage indirect l'émission des électrons est produite non pas à partir du filament, mais à partir de la cathode.

EXERCICES DE REVISION SUR LA "THEORIE 14"

- 1) Quelles sont les électrodes d'une diode à vide à chauffage indirect ?
- 2) Quelle est la propriété fondamentale d'une diode ?
- 3) Qu'indique la courbe caractéristique d'une diode ?
- 4) Que signifie l'expression "la diode est SATURÉE ?
- 5) Quelle est la différence entre le REDRESSEMENT SIMPLE ALTERNANCE et le REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE ?
- 6) Entre ces deux types de redressement quel est celui qui fournit la tension la moins variable ?
- 7) Qu'appelle-t-on TENSION DE RONFLEMENT ?
- 8) Quel est le rôle de la CELLULE DE FILTRAGE.
- 9) Quel est le rôle du circuit de DETECTION.
- 10) Quelle est la constante de temps d'un groupe R.C. avec $R = 2000 \Omega$ et $c = 0,004 \mu F$.

