



# THEORIE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

## TRIODES ELECTRONIQUES

Les diodes électroniques sont aussi appelées "valves" parce que la diode, qui a été le premier type de tube réalisé, a un comportement analogue à celui des valves utilisées dans les machines hydrauliques. En effet, de même que ces valves ne permettent le passage de l'eau que dans un sens, de même la diode a la propriété de ne laisser passer le courant électronique que de la cathode à l'anode, comme on l'a vu dans les leçons précédentes.

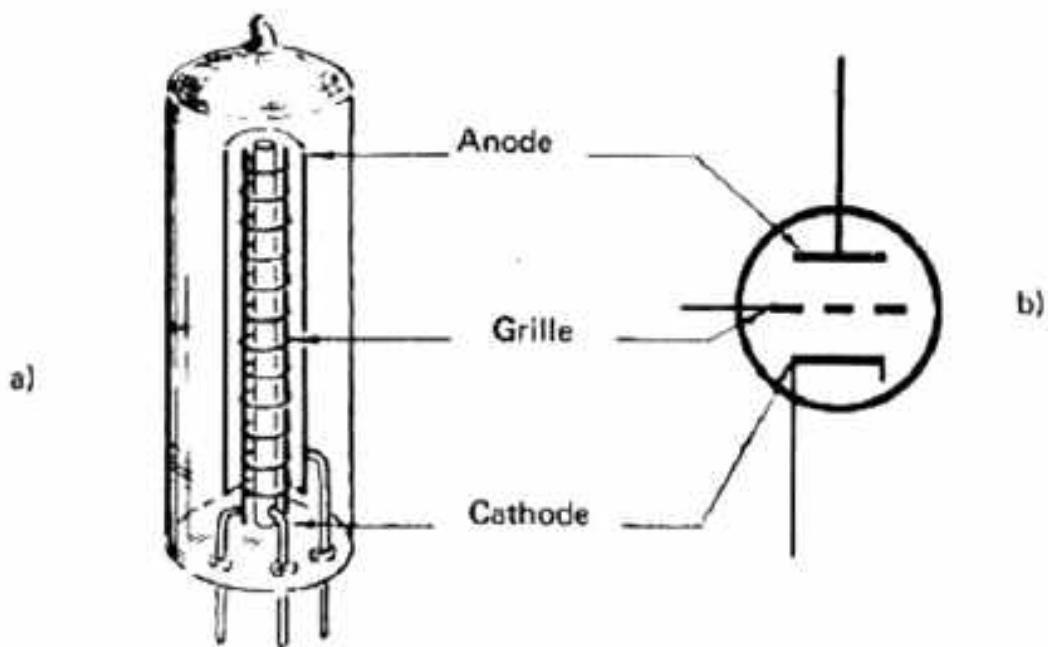
Cette leçon sera consacrée à un type de tube électronique, la *TRIODE* que l'on peut comparer à un robinet car elle permet de faire varier le courant qui la traverse comme un robinet permet de régler l'arrivée d'eau.

### 1 - CONSTITUTION DE LA TRIODE

La triode est ainsi appelée car elle comprend trois électrodes : en plus de l'anode et de la cathode, le tube est muni d'une troisième électrode disposée entre les deux premières. Celle-ci est appelée *GRILLE* parce que, dans la première triode réalisée en 1907 par l'Américain *LEE DE FOREST* (1873-1961), elle était précisément constituée par une grille métallique.

Dans les triodes actuellement utilisées (*figure 1 - a*) la grille est constituée par un mince fil métallique enroulé en spirale autour de la cathode, sans toutefois la toucher ; autour de la grille, on trouve l'anode qui a été dessinée sectionnée pour que la grille soit visible sur la figure.

La grille, comme la cathode et l'anode, est reliée à une broche pour sa liaison au circuit extérieur au tube.



TRIODE ELECTRONIQUE ET SON SYMBOLE GRAPHIQUE.

Figure 1

La triode représentée sur la *figure 1 - a* est très simplifiée ; le filament et les petites broches ne sont pas représentées, ni les supports qui maintiennent les différentes électrodes dans leurs positions : on a montré que les éléments essentiels du tube qui apparaissent aussi sur le symbole graphique de la *figure 1 - b* représentent la triode dans les schémas électriques.

Comme dans la diode, l'anode recueille les électrons émis par la cathode, électrons qui ne sont pas générés par la grille, car ils peuvent passer facilement à travers ses spires.

La grille peut cependant influencer le mouvement des électrons se dirigeant vers l'anode si elle est à un potentiel différent de celui de la cathode : de cette façon, la grille peut servir à faire varier le courant qui traverse la triode, comme on le verra dans le prochain paragraphe.

### 1 - 1 CARACTERISTIQUES DE LA TRIODE

On peut mettre en évidence l'effet de la grille sur le courant qui traverse une triode en traçant les courbes caractéristiques du tube.

Pour cela, on procède comme on l'a fait pour la diode, en appliquant une tension entre l'anode et la cathode et en mesurant pour différentes valeurs de cette tension le courant correspondant qui traverse le tube : pour la triode également, la tension et le courant constituent respectivement la tension anodique et le courant anodique.

Pour effectuer les mesures, on utilise le même circuit que celui déjà employé pour la diode et dont le schéma est reporté sur la *figure 2 - a*. Sur ce schéma, on voit que la grille est reliée à la cathode de façon à ce qu'elle soit au même potentiel électrique que cette électrode, ceci afin d'étudier d'abord comment se comporte la triode lorsque la tension entre ces deux électrodes (appelée *TENSION DE GRILLE* et que l'on indique par  $V_g$ ) est égale à zéro.

Dans ces conditions, la triode équivaut à une diode, car la grille ne fait pas sentir son influence sur le courant anodique : on obtient en effet une courbe caractéristique (*figure 2 - b*) dont l'allure est identique à celle de la courbe caractéristique de la diode.

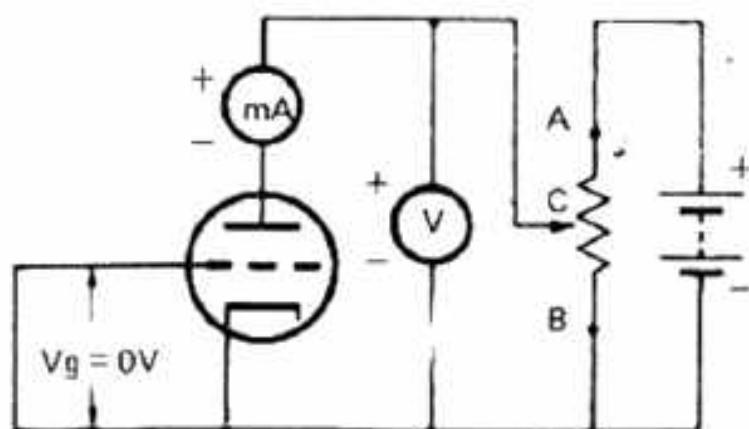
Dans ce cas également, la courbe a été tracée avec un premier trait à ligne pleine pour indiquer les valeurs de la tension et du courant pour lesquels la dissipation anodique maximum n'est pas dépassée.

Pour voir l'effet de la grille sur le courant anodique, il faut porter cette électrode à un potentiel différent de celui de la cathode : on peut obtenir ceci en reliant par exemple, une pile entre les deux électrodes, comme sur la *figure 3 - a*.

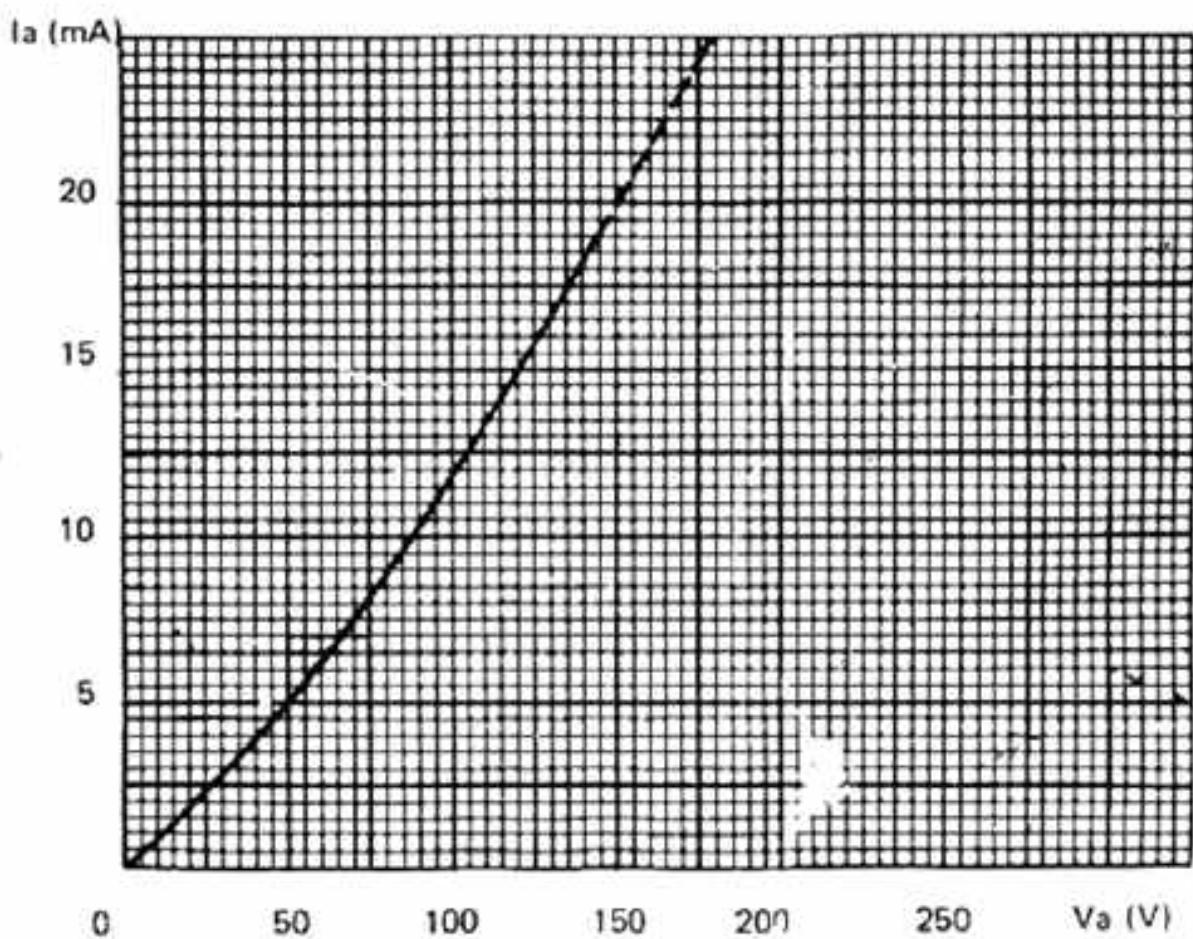
On a utilisé une pile de 2 V, en reliant son pôle positif à la cathode et son pôle négatif à la grille : ainsi la grille se trouve à un potentiel inférieur de 2 V à celui de la cathode et la tension de grille est donc maintenant égale à - 2 V.

On étudie le comportement du tube avec une tension de grille négative car, dans la plupart des applications et spécialement dans les récepteurs radio, les triodes sont utilisées dans ces conditions.

a)

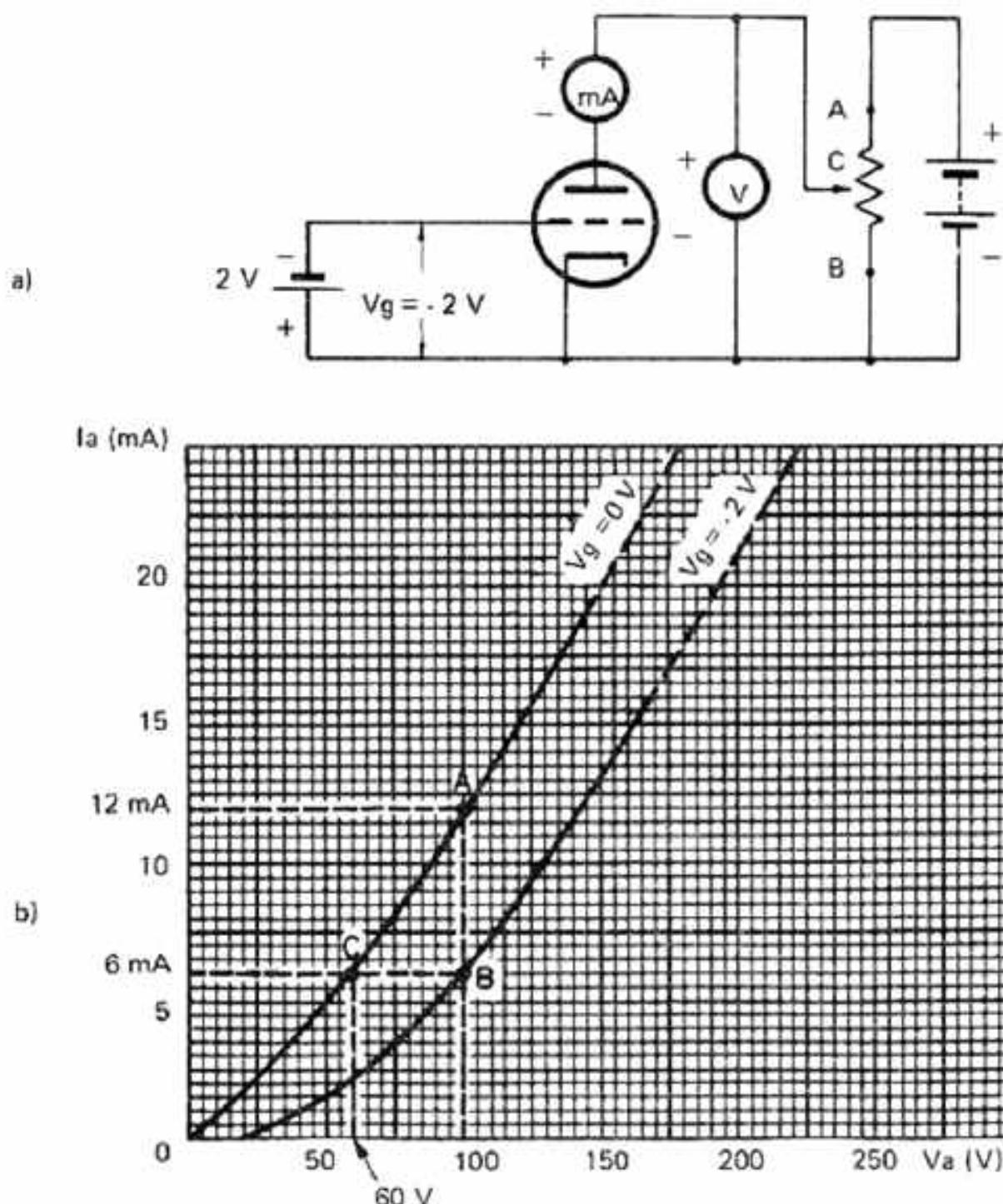


b)



COURBE CARACTERISTIQUE D'UNE TRIODE

Figure 2



COURBES CARACTERISTIQUES D'UNE TRIODE AVEC DES TENSIONS DE GRILLE DE 0V ET DE 2V

Figure 3

En appliquant de nouveau à la triode, une tension anodique et en mesurant encore pour différentes valeurs de cette tension, le courant anodique correspondant, on peut tracer la caractéristique (*figure 3-b*), qui est différente de celle que l'on a obtenue avec une tension de grille nulle. Comme on le voit sur la *figure 3-b*, on distingue les caractéristiques en marquant sur chacune d'elles, la tension de grille avec laquelle elle a été obtenue.

La caractéristique obtenue avec une tension de grille négative est à la droite de celle obtenue avec une tension de grille nulle : ceci entraîne que, pour une tension anodique déterminée appliquée à la triode, le courant anodique est d'autant plus faible que la tension de grille est plus négative.

Sur la *figure 3-b*, on voit par exemple que, lorsque la triode fonctionne dans les conditions indiquées par le point A, c'est-à-dire avec une tension anodique de 100 V et une tension de grille 0 V, le courant anodique est de 12 mA ; quant au contraire, la triode fonctionne dans les conditions indiquées par le point B, c'est-à-dire avec une tension anodique toujours égale à 100 V, mais une tension de grille de - 2 V, le courant anodique est à peine de 6 mA.

Cet exemple démontre clairement que, DANS UNE TRIODE, LE COURANT ANODIQUE DEPEND NON SEULEMENT DE LA TENSION ANODIQUE, COMME DANS LA DIODE, MAIS AUSSI DE LA TENSION DE GRILLE : en effet, en ne modifiant pas la tension anodique, on a pu faire varier le courant anodique en faisant varier la tension de grille.

Ceci est dû au fait que sur les électrons émis par la cathode, s'exerce maintenant non seulement la force d'attraction de l'anode, mais aussi une force de répulsion de la part de la grille négative : par conséquent, seuls les plus rapides parmi les électrons émis peuvent passer à travers la grille et atteindre l'anode, constituant ainsi le courant anodique.

En réalité, dans la triode comme dans la diode, il se forme autour de la cathode un nuage d'électrons qui, avec sa charge spatiale négative, concourt avec la grille à gérer le passage des électrons vers l'anode.

Il faut pourtant noter que, tandis qu'il n'est pas possible de contrôler l'action de répulsion que le nuage électronique exerce sur les électrons, ceci est possible pour la grille, car il suffit de faire varier sa tension.

Les deux caractéristiques de la *figure 3-b*, font ressortir un fait beaucoup plus important.

Comme on l'a vu, on peut réduire le courant anodique de 12 mA à 6 mA en portant la tension de grille de 0 V à - 2 V et en laissant inchangée la valeur de 100 V de la tension anodique.

On peut réduire de la même façon, le courant anodique en faisant varier la tension anodique et en laissant au contraire inchangée la valeur de 0 V de la tension de grille.

Dans ce cas, la triode fonctionne dans les conditions indiquées par le point C, auquel correspond justement un courant anodique de 6 mA et une tension de grille de 0 V : sur la *figure 3 - b*, on voit que l'on peut obtenir ceci en réduisant la tension anodique 100 V à 60 V.

Ces remarques nous permettent de déduire que, pour réduire le courant anodique de 12 mA à 6 mA, une variation de 2 V (de 0 V à - 2 V) est suffisante si l'on agit sur la tension de grille, tandis que si l'on agit sur la tension anodique, il faut une variation d'au moins 40 V (de 100 V à 60 V), vingt fois supérieure à la précédente.

Ce fait est dû à la petite distance qui sépare la grille de la cathode et permet à la grille d'agir sur le courant anodique plus efficacement que l'anode, plus éloignée de la cathode.

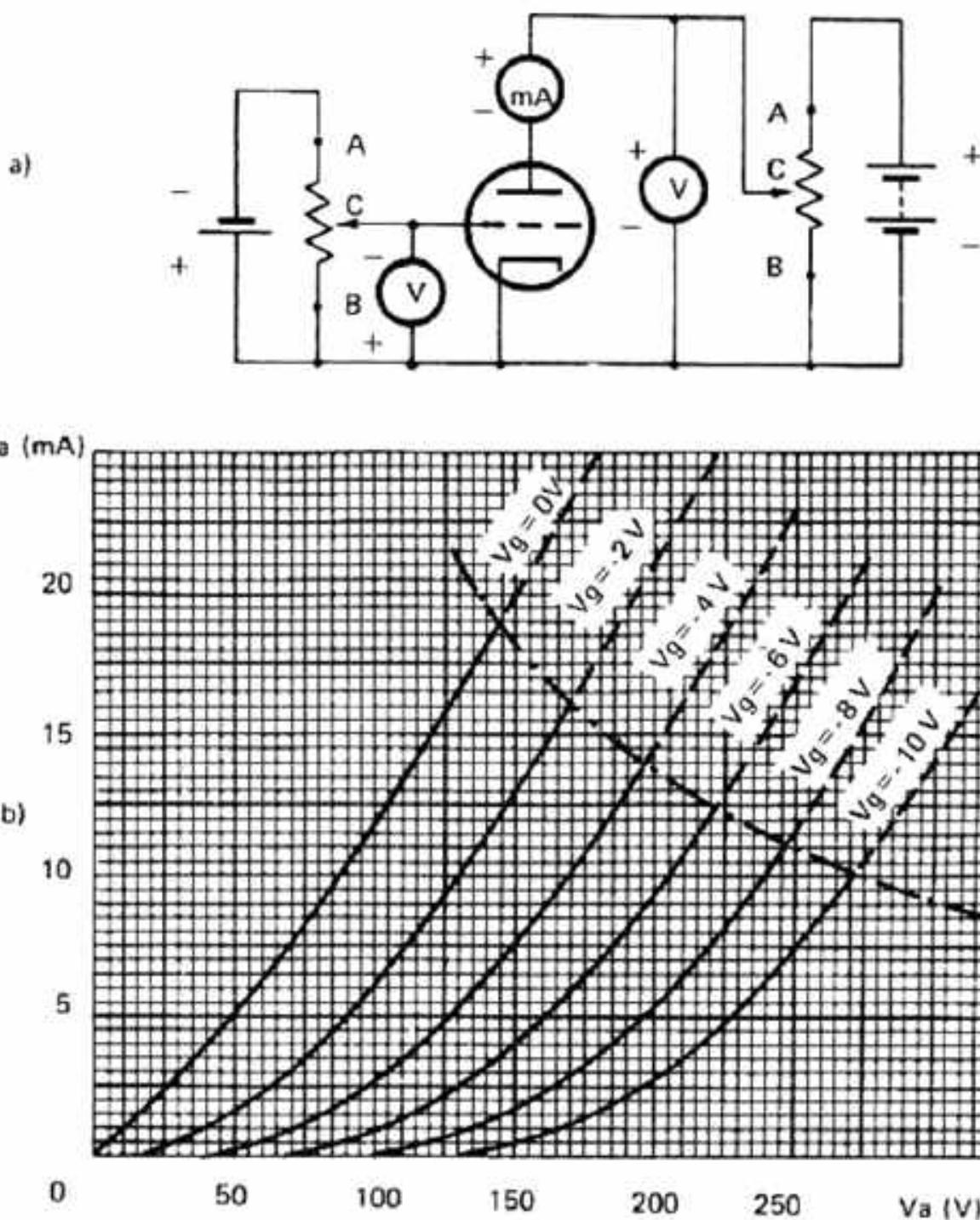
On peut donc conclure que LA GRILLE D'UNE TRIODE EST APTE A CONTROLER LE COURANT ANODIQUE AU MOYEN DES VARIATIONS DE SA TENSION.

Il faut aussi noter que le contrôle du courant anodique par la grille se produit sans dépense d'énergie : en effet, puisque la grille est généralement négative par rapport à la cathode, aucun électron ne peut se porter sur elle et donner lieu à un courant dans le circuit extérieur.

La pile de 2 V, qui, sur la *figure 3 - a* est reliée entre la grille et la cathode, ne débite donc aucun courant et ne fournit pas d'énergie au circuit.

Pour pouvoir faire varier le courant anodique entre des limites assez larges, la tension de grille est portée à des valeurs inférieures à - 2 V et, pour connaître le comportement de la triode dans ces conditions, on trace d'autres caractéristiques (par exemple, pour les tensions de grille de - 4 V, de - 6 V, etc.,).

Pour disposer de ces différentes tensions, on peut adopter le système utilisé pour la tension anodique, en reliant un potentiomètre à la pile qui fournit la tension de grille, comme on le voit sur la *figure 4 - a* : le curseur



CARACTERISTIQUES ANODIQUES D'UNE TRIODE

Figure 4

du potentiomètre se déplace jusqu'à ce que l'on obtienne la tension voulue, dont on lit la valeur sur le voltmètre relié entre la cathode et la grille.

Les caractéristiques obtenues pour les différentes valeurs de la tension de grille sont reportées sur le diagramme de la *figure 4-b*, qui permet de voir que chaque caractéristique est d'autant plus déplacée vers la droite que la tension de grille avec laquelle elle a été obtenue est plus négative.

La ligne en traits et points qui traverse les caractéristiques délimite la zone du diagramme, située en dessous d'elle, où la tension et le courant anodique ont des valeurs qui ne permettent pas de dépasser la dissipation anodique maximum.

L'ensemble des caractéristiques de la *figure 4-b* constitue une *FAMILLE* de courbes caractéristiques de la triode ; ces caractéristiques sont appelées *ANODIQUES* car elles indiquent comment varie le courant anodique lorsque la tension anodique varie, et que la tension de grille a une valeur déterminée.

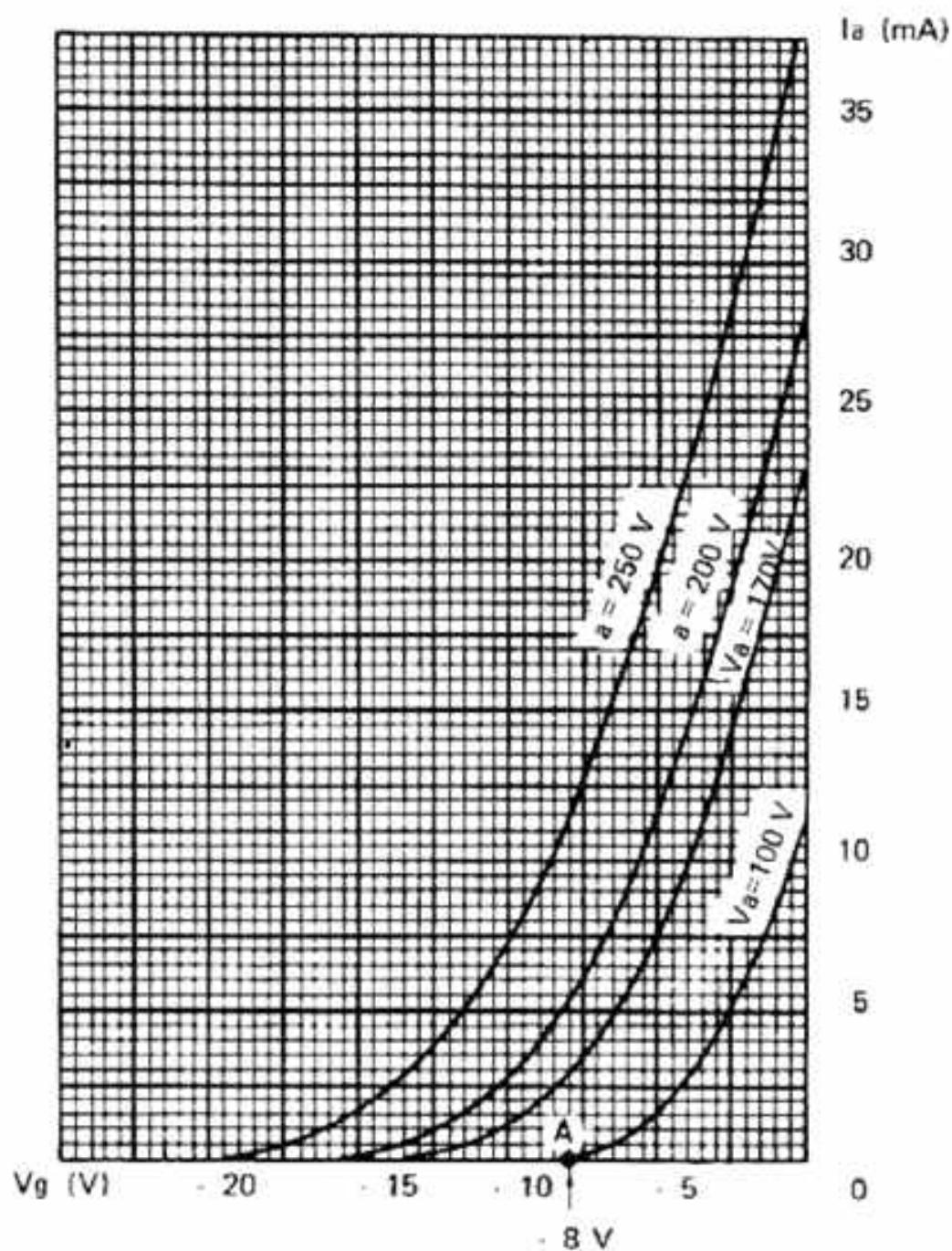
Puisque la grille sert à contrôler le courant qui traverse la triode, il est intéressant de voir directement comment varie ce courant par suite de la variation de la tension de grille, quand la tension anodique a une certaine valeur déterminée.

Pour cela, on détermine la famille des caractéristiques *MUTUELLES* de la triode, en utilisant le même circuit que celui de la *figure 4-a*, mais en procédant d'une façon différente.

Dans ce cas, en effet, on laisse inchangée la tension anodique à une valeur déterminée, par exemple de 100 V, et on applique à la grille une tension négative en mesurant pour différentes valeurs de cette tension le courant anodique correspondant ; en reportant sur un diagramme les valeurs de la tension de grille et du courant anodique, on peut tracer la caractéristique mutuelle relative à la tension anodique de 100 V.

On augmente ensuite la tension anodique, en la portant, par exemple, à 170 V, et on applique de nouveau à la grille une tension négative, en mesurant encore pour différentes valeurs de celle-ci le courant anodique correspondant ; on peut ainsi tracer une seconde caractéristique mutuelle relative à la tension anodique de 170 V.

Sur le diagramme de la *figure 5*, sont reportées quatre caractéristi-



CARACTERISTIQUES MUTUELLES D'UNE TRIODE

Figure 5

ques de la triode étudiée jusqu'à maintenant ; ces caractéristiques ont été obtenues pour les valeurs de la tension anodique le plus souvent utilisées, valeurs qui ont été indiquées sur chacune d'elles.

Les valeurs du courant anodique sont encore reportées sur l'axe vertical comme dans le cas des caractéristiques anodiques, tandis que sur l'axe horizontal sont maintenant reportées les valeurs de la tension de grille ; puisque ces valeurs sont négatives, l'axe a été tracé à la gauche de l'axe vertical.

Etudions maintenant, par exemple, la caractéristique mutuelle relative à la tension anodique de 100 V et on note que cette caractéristique rencontre l'axe horizontal au point A, en regard duquel est indiquée la valeur de -8 V de la tension de grille.

Quand la triode se trouve dans les conditions indiquées par le point A, sa tension anodique est donc de 100 V et sa tension de grille de -8 V ; puisque le point A est situé sur l'axe horizontal, le courant anodique est égal à zéro.

On voit ainsi que, lorsqu'une tension anodique de 100 V est appliquée à la triode, le courant ne peut la traverser que si la tension de grille a des valeurs supérieures à -8 V : pour cette valeur, le courant ne peut évidemment plus traverser la triode, car la grille est suffisamment négative pour repousser tous les électrons émis par la cathode, en neutralisant l'attraction exercée sur eux par l'anode.

Dans ces conditions, on dit que la triode est *BLOQUEE* ; la tension de grille qui réduit à zéro le courant anodique est donc appelée *TENSION DE GRILLE DE BLOCAGE* et on l'indique par  $V_{gc}$ .

La tension de blocage (appelée aussi Tension de cut-off) est différente selon la tension anodique appliquée à la triode : en effet, en augmentant la tension anodique, on augmente aussi l'attraction que l'anode exerce sur les électrons et, par conséquent, la grille doit devenir plus négative pour réussir à neutraliser cette attraction et à empêcher les électrons d'atteindre l'anode.

Sur la figure 5, on voit justement que, plus la tension anodique marquée sur chaque caractéristique est grande, plus la tension de grille relative au point où la caractéristique rencontre l'axe horizontal est négative.

Les caractéristiques anodiques et mutuelles étudiées sont aussi appelées *STATIQUES*, car chacune d'elles indique comment varie le courant an-

dique quand on fait varier une seule des deux tensions dont dépend ce courant, tandis que l'autre tension est maintenue à une valeur constante.

On a vu en effet que chaque caractéristique anodique s'obtient pour une tension de grille déterminée, qui reste constante quand la tension anodique et le courant anodique varient tandis que chaque caractéristique mutuelle s'obtient pour une tension anodique déterminée, qui reste constante quand la tension de grille et le courant anodique varient.

Quand la triode fonctionne dans son circuit d'emploi normal, la tension de grille comme la tension anodique varient au contraire simultanément en plus naturellement, du courant anodique ; pour connaître le comportement de la triode dans ces conditions de fonctionnement, on utilise une autre caractéristique, que nous traiterons quand nous étudierons le circuit d'emploi de la triode.

## 1 - 2 CIRCUIT D'EMPLOI DE LA TRIODE

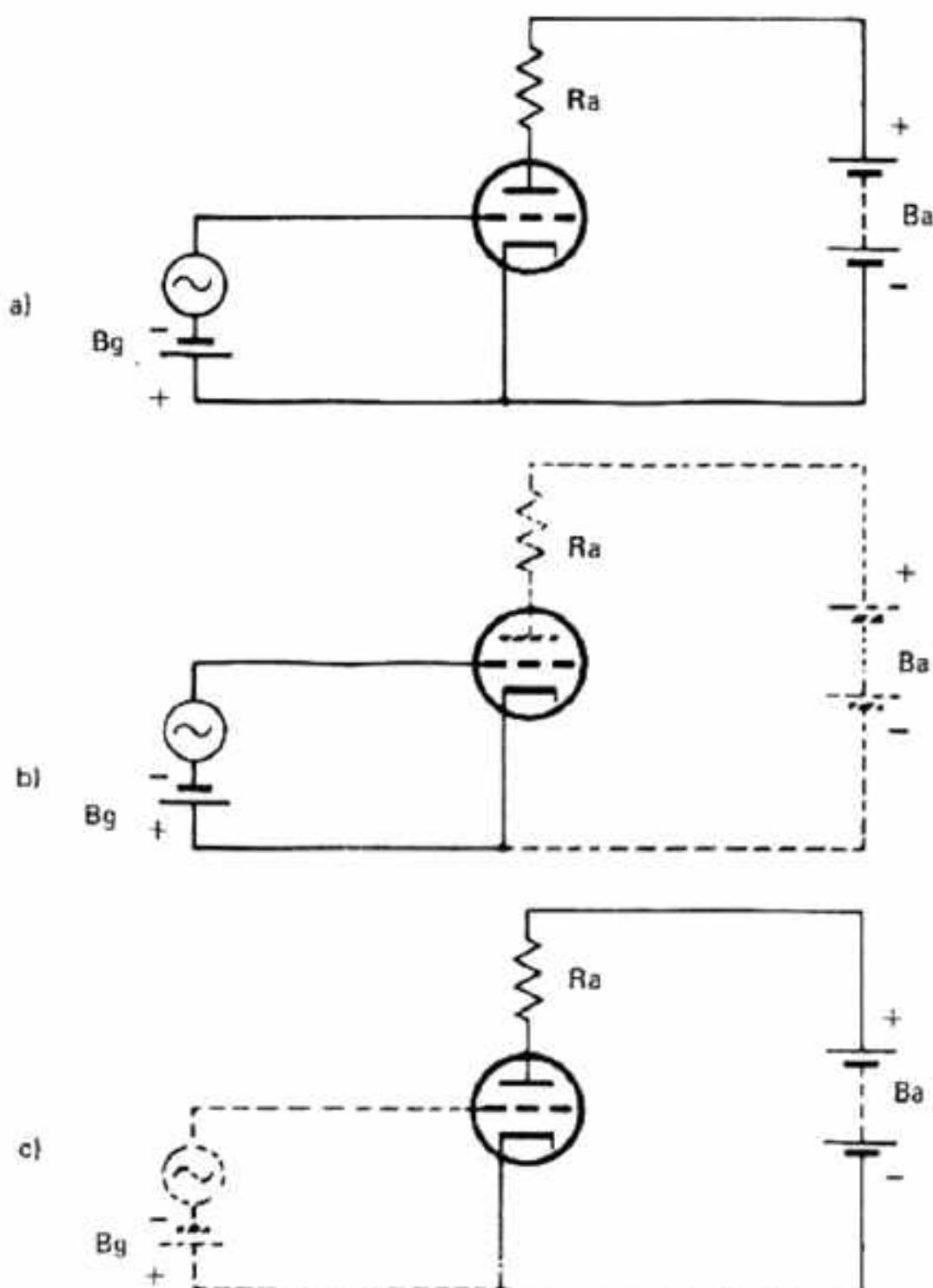
Sur la *figure 6-a*, on voit le schéma du circuit dans lequel on emploie la triode, en utilisant sa propriété de permettre le contrôle du courant anodique au moyen de la tension de grille.

Pour bien comprendre le fonctionnement de la triode, il faut distinguer dans ce circuit le *CIRCUIT DE GRILLE* et le *CIRCUIT ANODIQUE*.

Le circuit de grille est dessiné en trait plein sur la *figure 6-b*, et l'on peut voir qu'il comprend deux générateurs en série reliés entre la grille et la cathode.

Le générateur de tension alternative fournit la tension qui fait varier le courant anodique ; pour éviter que pendant les alternances positives de cette tension la grille devienne positive, on place en série avec ce générateur la *BATTERIE DE GRILLE*  $B_g$ , reliée de façon à rendre la grille négative par rapport à la cathode.

La tension continue fournie par la batterie de grille est appelée *TENSION DE POLARISATION*, et elle a une valeur telle que la grille ne peut pas devenir positive même quand la tension alternative atteint sa valeur maximum positive, comme nous le verrons mieux plus tard : ainsi, aucun courant ne circule dans le circuit de grille.



CIRCUIT D'EMPLOI DE LA TRODE

Figure 6

Le circuit anodique, dessiné en ligne continue sur la *figure 6-c*, comprend la *BATTERIE ANODIQUE*  $B_a$ , avec en série la *RESISTANCE ANODIQUE*  $R_a$ , aussi appelée *RESISTANCE DE CHARGE* ; ces deux éléments reliés en série sont placés entre l'anode et la cathode de la triode.

La batterie anodique fournit le courant anodique, dont l'intensité varie quand on fait varier la tension de la grille ; la résistance de charge sert à faire varier la tension anodique conformément aux variations du courant anodique.

En effet, le courant anodique qui parcourt la résistance  $R_a$  donne lieu à une chute de tension à ses extrémités : par conséquent, la tension anodique obtenue entre l'anode et la cathode de la triode est d'autant inférieure à celle fournie par la batterie anodique, que la chute de tension qui se produit aux extrémités de la résistance de charge est plus grande.

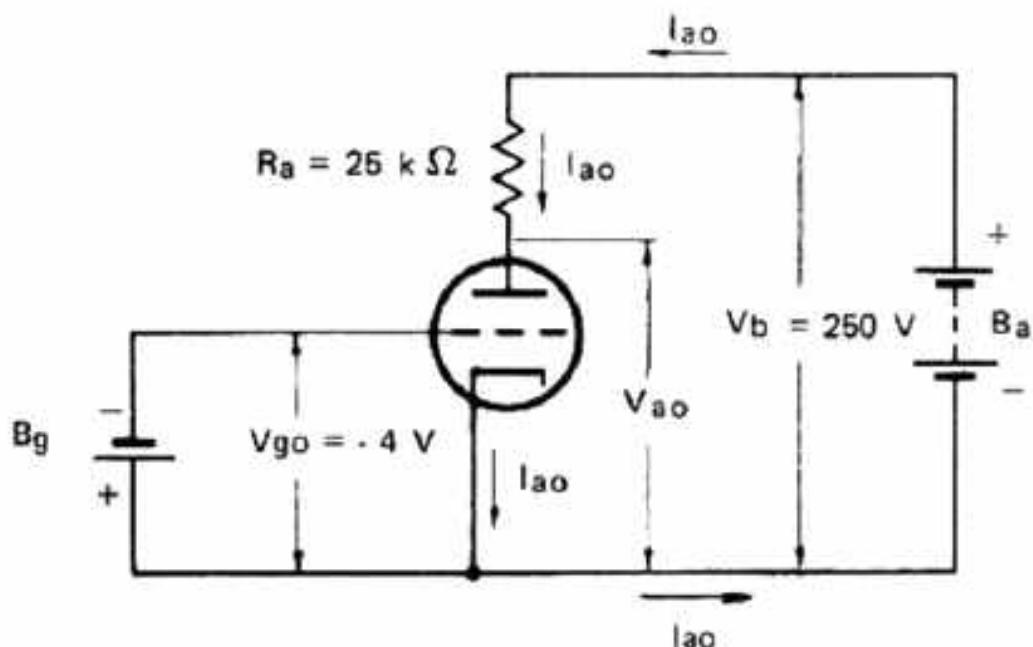
Quand l'intensité du courant anodique varie, la chute de tension aux extrémités de la résistance de charge varie, ainsi évidemment que la tension anodique.

En choisissant opportunément les valeurs des tensions fournies par les batteries  $B_g$  et  $B_a$  et la valeur de la résistance  $R_a$ , on peut faire en sorte que la tension anodique varie de la même façon que la tension de grille mais avec une plus grande amplitude.

En somme, entre l'anode et la cathode de la triode, on peut obtenir une tension semblable à celle qui a été appliquée à la grille mais d'une valeur supérieure ; on dit pour cela que la triode donne lieu à une *AMPLIFICATION DE TENSION*.

L'amplification de tension a une importance fondamentale en radio-technique, car dans les circuits des appareils radio, on a souvent des tensions d'amplitude très réduites qu'il faut amplifier pour pouvoir les utiliser convenablement.

Sur la *figure 6*, on a indiqué par souci de simplicité un générateur de tension alternative, mais dans la pratique, la tension appliquée à la grille sera due à un signal HF obtenu, par exemple, avec une antenne, ou bien à un signal BF obtenu, avec un microphone : entre l'anode et la cathode de la triode, on obtiendra donc un signal HF ou BF avec une amplitude supérieure à celui qui a été appliqué à la grille.



CIRCUIT D'EMPLOI DE LA TRIODE DANS LES CONDITIONS DE REPOS

Figure 7

Etant donnée la grande importance de l'amplification de tension, il faut voir plus en détail comment fonctionne la triode dans cette application typique.

Pour cela, étudions d'abord le circuit de la triode quand aucun signal n'est appliqué à la grille et que les tensions continues sont fournies par les batteries  $B_g$  et  $B_a$  : dans ce cas, on dit que la triode est en *CONDITION DE REPOS*, et le schéma de son circuit est représenté sans le générateur de tension alternative, comme on le voit sur la figure 7.

Sur cette figure, on a supposé que la tension de polarisation, appelée aussi *TENSION DE REPOS DE LA GRILLE* (que l'on indique par  $V_{go}$ ), avait la valeur de  $-4$  V et que la tension  $V_b$  fournie par la batterie anodique avait la valeur de  $250$  V.

Dans le circuit anodique, circule le courant anodique de repos (que l'on indique par  $I_{ao}$ ) : selon le sens conventionnel, ce courant part du pôle positif de la batterie  $B_a$ , traverse la résistance de charge de  $25$   $k\Omega$ , et donc

aussi la triode qui lui est reliée en série, et retourne au pôle négatif de la batterie  $B_a$ .

Par suite de la chute de tension aux extrémités de la résistance de charge, la tension anodique de repos (que l'on indique par  $V_{ao}$ ) est inférieure à la tension  $V_b$  fournie par la batterie anodique.

Pour déterminer la valeur du courant  $I_{ao}$ , on ne peut plus utiliser la loi d'Ohm car la triode, comme la diode, n'obéit pas à cette loi : on adopte donc une méthode graphique, en ayant recours aux caractéristiques anodiques de la triode et en procédant de la façon suivante.

On étudie d'abord deux cas extrêmes, c'est-à-dire le cas où la tension anodique  $V_a$  aurait la même valeur de 250 V que la tension  $V_b$ , et le cas où la tension  $V_a$  aurait la valeur zéro.

La tension  $V_a$  aurait la valeur de 250 V, si la triode se trouvait bloquée comme on l'a supposé sur la *figure 8-a*, où l'on a indiqué le courant anodique égal à zéro.

Dans ce cas, en effet, le courant ne circulant pas, on n'aurait aucune chute de tension aux extrémités de la résistance de charge, et la tension entière  $V_b$  serait appliquée entre l'anode et la cathode de la triode.

La triode serait donc dans les conditions indiquées par le point A de la *figure 8-c*, auquel correspondent un courant anodique  $I_a = 0$  et une tension anodique  $V_a = 250$  V.

La tension anodique  $V_a$  aurait, au contraire, la valeur zéro si la triode était mise en court-circuit au moyen d'un conducteur relié extérieurement entre son anode et sa cathode, comme sur la *figure 8-b*.

Dans ce cas, la résistance de charge est reliée directement aux extrémités de la batterie  $B_a$  et l'on peut calculer le courant qui la traverse avec la loi d'Ohm, en divisant la tension  $V_b$  de 250 V par la valeur de 25 k $\Omega$  de la résistance de charge et l'on obtient 250 : 25 = 10 mA.

La triode se trouverait maintenant dans les conditions indiquées par le point B de la *figure 8-c*, auxquelles correspondent justement un courant anodique  $I_a = 10$  mA et une tension anodique  $V_a = 0$ .

Quand la triode n'est ni bloquée, ni en court-circuit, mais qu'elle se trouve dans les conditions de la *figure 7*, son courant anodique devra avoir une valeur comprise entre les valeurs extrêmes de 0 mA et de 10 mA et sa

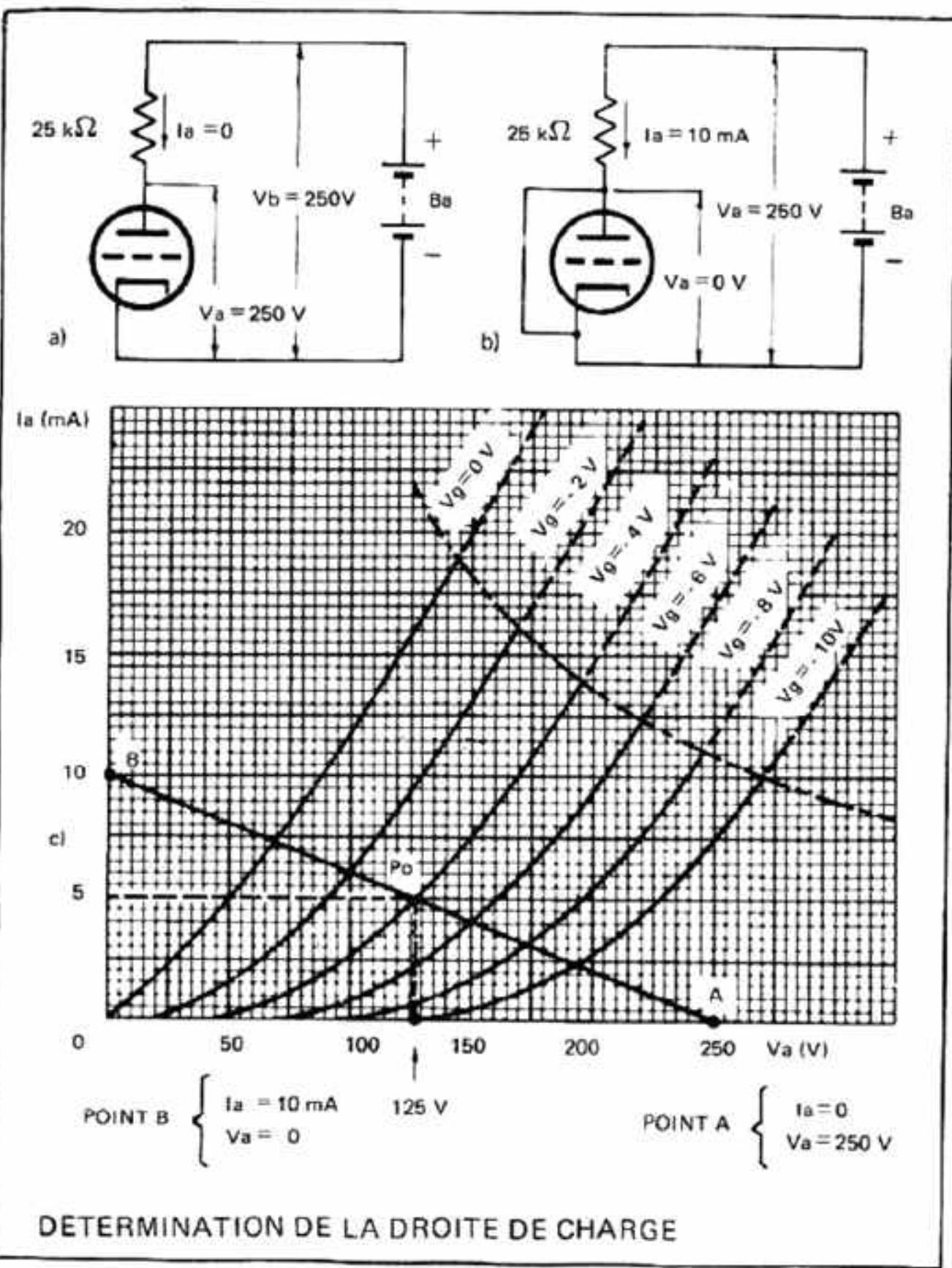


Figure 8

tension anodique devra avoir elle aussi une valeur comprise entre les valeurs extrêmes de 0 V et de 250 V.

Pour trouver ces valeurs, on joint les points A et B par une ligne, comme sur la *figure 8-c* et l'on étudie le point, indiqué par  $P_o$  sur la figure, où cette ligne rencontre la caractéristique anodique relative à la tension de grille  $V_g = -4$  V, qui est précisément la tension de grille de repos indiquée sur la *figure 7*.

La ligne est appelée *DROITE DE CHARGE*, tandis que le point  $P_o$  est appelé *POINT DE FONCTIONNEMENT* de la triode, car il indique les conditions qui permettent le fonctionnement du tube.

En effet, en regard du point  $P_o$ , on peut lire sur l'axe vertical la valeur du courant anodique de repos, qui est  $I_{ao} = 5$  mA, tandis que sur l'axe horizontal, on lit la valeur de la tension anodique de repos, qui est  $V_{ao} = 125$  V.

Pour trouver une confirmation de l'exactitude de ces résultats, il suffit d'observer que la chute de tension produite par le courant  $I_{ao}$  aux extrémités de la résistance de charge, ajoutée à la tension anodique  $V_{ao}$ , doit être égale à la tension  $V_b$  fournie par la batterie anodique.

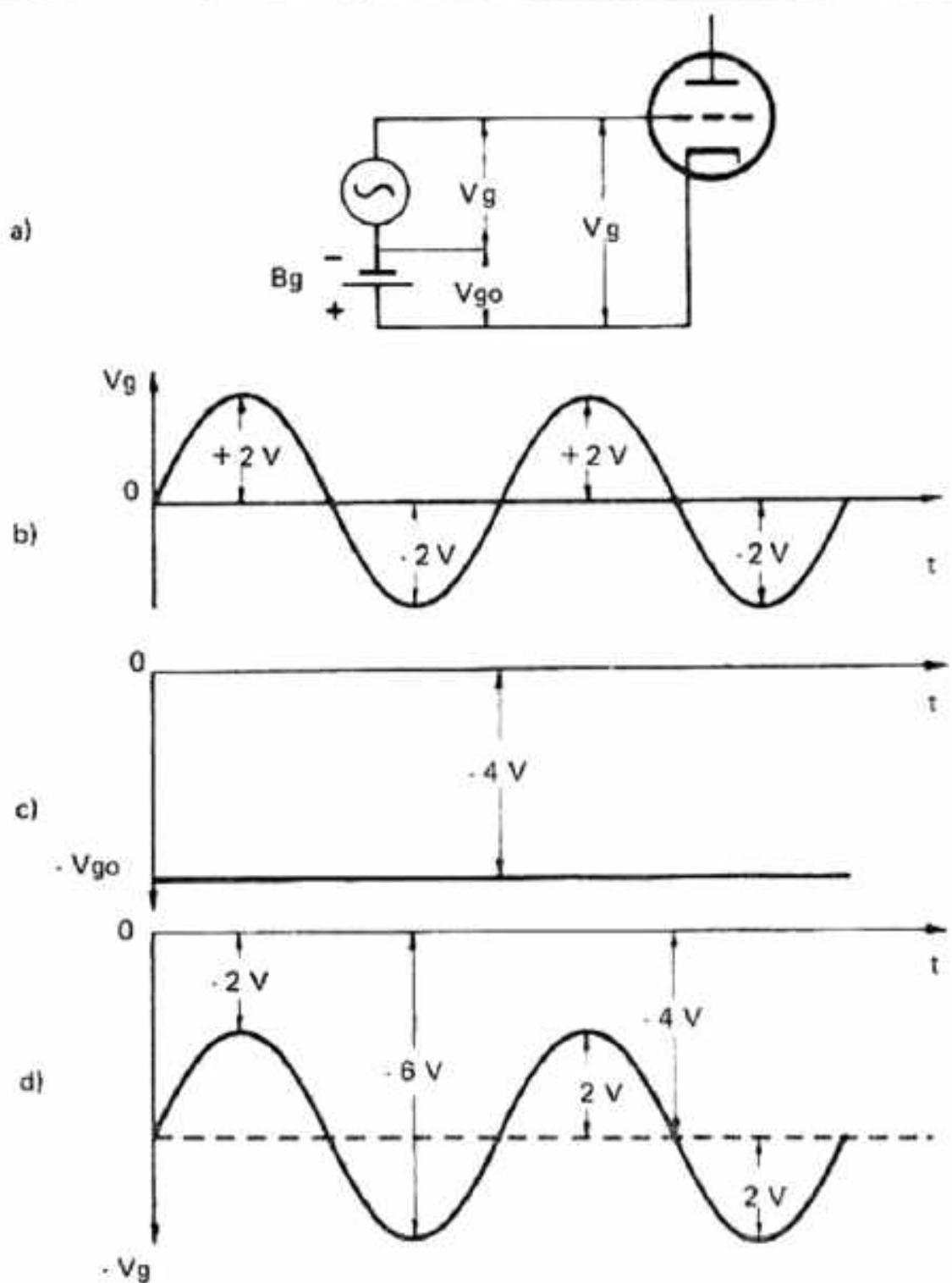
Puisque la chute de tension aux extrémités de la résistance de charge est de  $5 \times 25 = 125$  V et puisque la tension anodique a également la valeur de 125 V, la somme de ces deux tensions est bien égale à la valeur de 250 V de la tension  $V_b$ .

Plus tard, avec d'autres exemples relatifs à la même ligne de charge, nous trouverons des confirmations de l'exactitude de cette manière de procéder.

Maintenant que l'on a établi toutes les valeurs des grandeurs relatives à la triode dans les conditions de repos, on peut examiner comment se modifient ces valeurs quand on fait varier la tension de grille au moyen d'un générateur de tension alternative relié en série avec la batterie de grille, comme on le voit sur la *figure 9-a* : la tension alternative fournie par ce générateur représente le signal à amplifier.

La tension de grille  $V_g$  obtenue entre la grille et la cathode est maintenant égale à la somme de la tension continue de polarisation  $V_{go}$  et de la tension alternative indiquée par  $v_g$ .

La tension  $V_g$  est donc appelée *TENSION TOTALE* de grille, tandis que la tension  $v_g$  et la tension de polarisation  $V_{go}$  sont appelées *COMPO-*



CIRCUIT DE GRILLE DE LA TRODE ET TENSIONS RELATIVES

Figure 9

*SANTE ALTERNATIVE et COMPOSANTE CONTINUE de la tension de grille.*

En supposant que la composante alternative ait une allure sinusoïdale et une valeur maximum de 2 V, on peut la représenter comme on l'a fait sur la *figure 9-b* pour deux cycles complets.

On peut représenter graphiquement la composante continue au moyen d'une ligne parallèle à l'axe horizontal (*figure 9-c*), car elle garde constamment la valeur de -4 V ; puisque cette valeur est négative, la ligne a été tracée sous l'axe horizontal.

Pour connaître la valeur que prend la tension de grille  $V_g$  en un instant déterminé, il suffit de faire la somme des valeurs prises en chaque instant par les composantes alternative et continue.

En particulier, à l'instant où la composante alternative atteint la valeur positive maximum de + 2 V, la tension de grille totale est égale à -2 V.

En effet, on peut dire très simplement, que les deux volts positifs de la composante alternative neutralisent deux des quatre volts négatifs de la composante continue ; c'est pour cela qu'à la grille ne sont plus appliqués que deux volts négatifs.

Au contraire, à l'instant où la composante alternative atteint la valeur négative maximum de -2 V, ces deux volts négatifs s'ajoutent aux quatre volts négatifs de la composante continue : au total six volts négatifs sont donc appliqués à la grille.

En faisant la même somme en divers autres instants, on peut déterminer l'allure de la tension totale de la grille, que l'on voit sur la *figure 9-d* ; puisque cette tension a toujours des valeurs négatives, la courbe qui la représente est sous l'axe horizontal.

Il apparaît évident que la tension totale a la même allure que la composante alternative mais avec la différence que, tandis que la composante alternative varie de 2 V en plus et en moins par rapport à la valeur zéro, la tension totale varie de 2 V en plus et en moins par rapport à la valeur de -4 V de la composante continue (ligne en pointillés de la *figure 9-d*).

La tension totale de grille peut donc être considérée comme une tension alternative superposée à une tension continue : par suite, la composante alternative ne peut jamais rendre la grille positive, comme on l'a déjà dit précédemment.

A ce propos, il faut observer que la tension de polarisation n'a pas simplement pour rôle d'éviter que la grille ne soit rendue positive par le signal, mais qu'elle sert essentiellement à faire fonctionner la triode dans les conditions voulues : dans les prochaines leçons, on verra en effet que, en certains cas, la tension de polarisation peut avoir une valeur telle que la grille devienne positive durant le fonctionnement de la triode.

Après avoir vu comment varie la tension de grille, on peut étudier ce qui se produit dans le circuit anodique de la triode, en regard des deux valeurs extrêmes de  $-2\text{ V}$  et de  $-6\text{ V}$  prises par cette tension.

Pour cela on recourt encore aux caractéristiques anodiques de la triode et à la ligne de charge tracée sur celles-ci.

Quand la tension de grille prend la valeur de  $-2\text{ V}$ , le point qui représente les conditions de fonctionnement de la triode devra se trouver à l'intersection de la ligne de charge avec la caractéristique relative à la tension  $V_g = -2\text{ V}$  : sur le diagramme de la *figure 10-a* ce point a été indiqué par  $P'$ .

Le courant anodique qui correspond à ce point est  $I_a = 6\text{ mA}$  et la tension anodique est  $V_a = 100\text{ V}$ .

Puisque la grille est devenue moins négative, en passant de  $-4\text{ V}$  (*figure 8-c*) à  $-2\text{ V}$  (*figure 10-a*), le courant anodique est augmenté et passe de  $5\text{ mA}$  à  $6\text{ mA}$ .

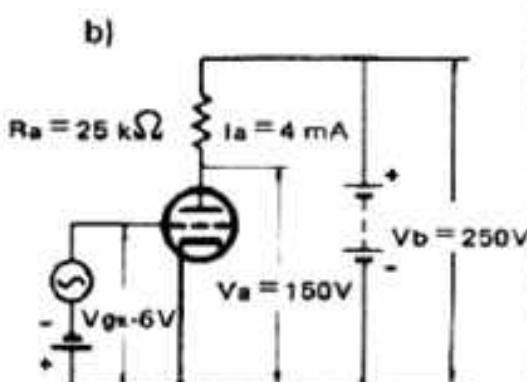
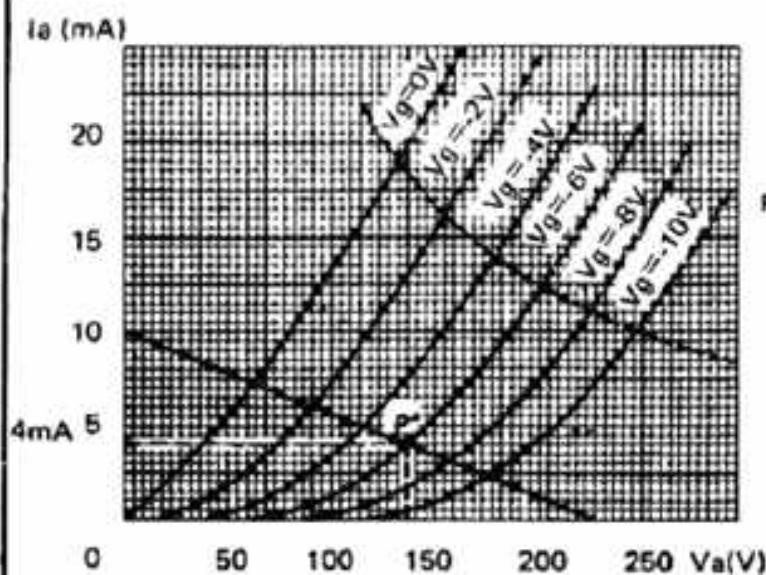
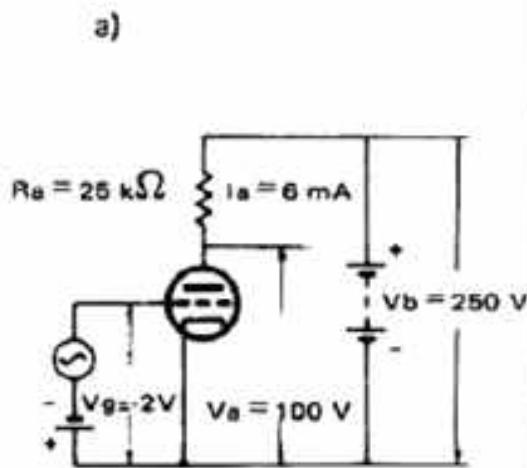
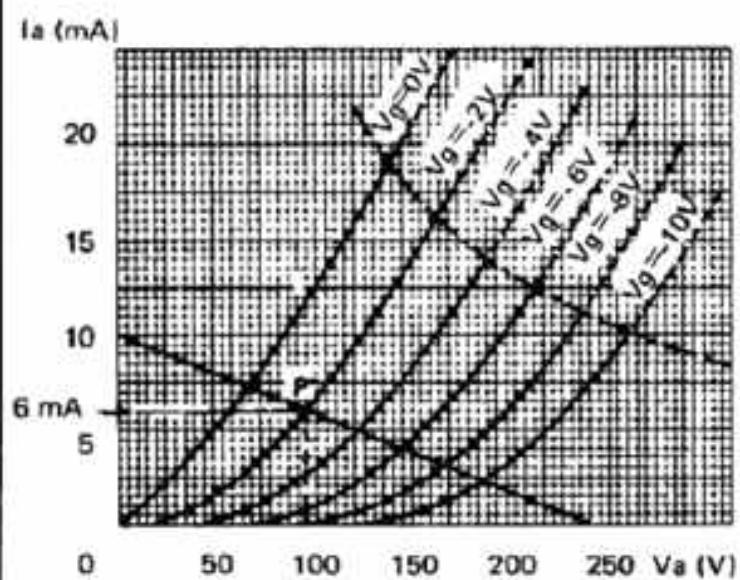
Comme le courant augmente, la chute de tension aux extrémités de la résistance de charge augmente aussi, et par conséquent la tension anodique diminue et passe de  $125\text{ V}$  à  $100\text{ V}$ .

Puisque la tension  $V_b$  fournie par la batterie anodique est toujours de  $250\text{ V}$ , la tension anodique  $V_a$  s'étant réduite à  $100\text{ V}$ , la chute de tension aux extrémités de la résistance de charge doit avoir augmentée jusqu'à  $150\text{ V}$  : en multipliant la valeur de  $25\text{ k}\Omega$  de cette résistance par le courant de  $6\text{ mA}$ , on obtient justement  $25 \times 6 = 150\text{ V}$ .

Sur le schéma de la *figure 10-a*, on a reporté les valeurs de toutes les grandeurs qui participent dans ces conditions au fonctionnement de la triode.

Pour voir dans quelles conditions fonctionne la triode quand la tension de grille prend la valeur de  $-6\text{ V}$ , on peut se référer à la *figure 10-b*.

Sur le diagramme de cette figure, on voit que le point de fonctionnement, indiqué par  $P''$ , est maintenant à l'intersection de la droite de charge



CARACTERISTIQUE DE FONCTIONNEMENT DE LA TRIODE

Figure 10

de la caractéristique relative à la tension  $V_g = -6$  V : le courant anodique qui correspond à ce point est  $I_a = 4$  mA et la tension anodique est  $V_a = 150$  V.

En comparant encore ces valeurs avec les valeurs relatives à la triode dans les conditions de repos (*figure 8-c*), on voit que le courant anodique a diminué, passant de 5 mA à 4 mA, car la grille est devenue plus négative, passant de  $-4$  V à  $-6$  V.

Comme le courant a diminué, la chute de tension aux extrémités de la résistance de charge a aussi diminué, et par conséquent la tension anodique a augmenté, passant de 125 V à 150 V.

Puisque la tension  $V_b$  fournie par la batterie anodique est encore de 250 V, et que la tension anodique a augmenté jusqu'à 150 V, la chute de tension aux extrémités de la résistance de charge doit avoir diminué ; en multipliant la valeur de  $25 \text{ k}\Omega$  de cette résistance par le courant de 4 mA, on obtient justement  $25 \times 4 = 100$  V.

Les valeurs de toutes les grandeurs qui participent au fonctionnement de la triode dans ces conditions ont été reportées sur le schéma de la *figure 10-b*.

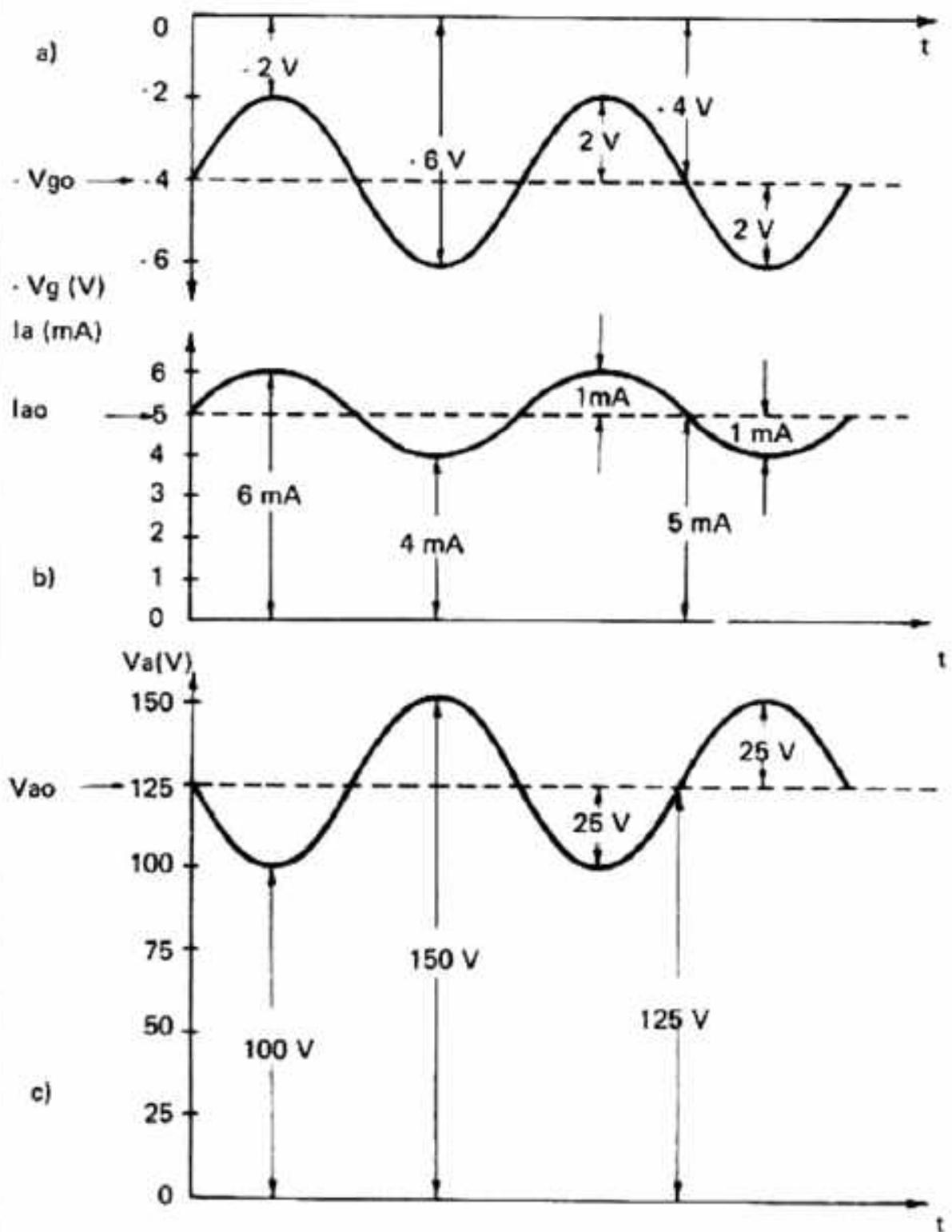
Sur la *figure 10*, on a déterminé les valeurs extrêmes prises par le courant anodique et par la tension anodique pour les valeurs extrêmes de  $-2$  V et de  $-6$  V de la tension de grille ; avec le même procédé, on pourrait déterminer d'autres valeurs des grandeurs comprises entre ces extrêmes.

La droite de charge tracée sur les caractéristiques anodiques permet de voir comment se comporte la triode quand, pendant son fonctionnement, varient simultanément la tension de grille, le courant anodique et la tension anodique ; la droite de charge est donc aussi appelée **CARACTÉRISTIQUE DE FONCTIONNEMENT**.

En déterminant différentes valeurs du courant anodique et de la tension anodique et en les reportant sur un diagramme, on peut tracer les courbes qui montrent l'allure de ces grandeurs.

Comme on le voit sur la *figure 11*, ces courbes ont une allure sinusoïdale comme celle qui représente la tension de grille sur la *figure 9-d* et que l'on a reportée sur la *figure 11-a*, pour avoir une vue complète de toutes les grandeurs qui participent au fonctionnement de la triode.

On peut voir ainsi que, tandis que la tension de grille varie entre les



VARIATION DES GRANDEURS RELATIVES A LA TRIODE

Figure 11

valeurs de  $-2$  V et de  $-6$  V, le courant anodique (figure 11-b) varie entre les valeurs de  $6$  mA et de  $4$  mA et la tension anodique (figure 11-c) varie entre les valeurs de  $100$  V et de  $150$  V.

Il est important de noter que, de même que la tension de grille totale  $V_g$  varie de  $2$  V en plus et en moins par rapport à la valeur de  $-4$  V de la tension de grille de repos  $V_{go}$ , de même le courant anodique  $I_a$  varie aussi de  $1$  mA en plus et en moins par rapport à la valeur de  $5$  mA du courant anodique de repos  $I_{ao}$ , et de même la tension anodique  $V_a$  varie de  $25$  V en plus et en moins par rapport à la valeur de  $125$  V de la tension anodique de repos  $V_{ao}$ .

Par conséquent, maintenant que l'on a considéré la tension de grille totale  $V_g$  comme étant formée d'une composante alternative  $V_g$  superposée à une composante continue  $V_{go}$ , on peut considérer aussi le courant anodique  $I_a$  comme étant un *COURANT ANODIQUE TOTAL* formé d'une composante alternative  $i_a$  superposée à une composante continue  $I_{ao}$  ; de la même façon, on peut considérer la tension anodique comme étant une *TENSION ANODIQUE TOTALE*  $V_a$  formée d'une composante alternative  $v_a$  superposée à une composante continue  $V_{ao}$ .

Dans le cas de la tension de grille, il est évident que les deux composantes existent réellement, car chacune d'elles est fournie par un générateur inséré dans le circuit de grille.

On peut être convaincu de l'existence des deux composantes du courant anodique et de la tension anodique, en voyant qu'il est possible de les obtenir séparément.

Par exemple, en mesurant le courant anodique total ou la tension anodique totale au moyen d'un appareil à bobine mobile utilisé comme milliampèremètre ou comme voltmètre, on obtient la valeur de la composante continue seulement, car les instruments à bobine mobile ne donnent aucune indication en courant alternatif.

Au contraire, si le courant anodique total est envoyé dans le primaire d'un transformateur, on obtient aux extrémités du secondaire une tension qui ne dépend que de la composante alternative de ce courant, car les transformateurs ne fonctionnent pas en courant continu.

On peut donc séparer les deux composantes au moyen d'un condensateur, qui ne laisse passer que le courant alternatif, et qui arrête le courant continu.

Dans les prochaines leçons, on verra que l'on a très souvent recours à l'utilisation d'un condensateur ou d'un transformateur pour obtenir la composante alternative de la tension anodique totale, qui constitue le signal amplifié.

Ce signal a la même allure que celui qui est appliqué à la grille de la triode, mais son amplitude est supérieure. Ces deux signaux diffèrent d'ailleurs sur un autre point.

Ceci se voit très bien en examinant la *figure 12*, où sont reportées les composantes alternatives de la tension de grille et de la tension anodique obtenues des diagrammes de la *figure 11*.

Sur la *figure 12*, on voit immédiatement qu'aux alternances positives du signal appliqué à la grille, alternances désignées par un trait plus marqué, correspondent les alternances négatives du signal amplifié, alternances désignées elles aussi par un trait plus marqué ; la même chose se produit aussi pour les alternances désignées par un trait plus fin.

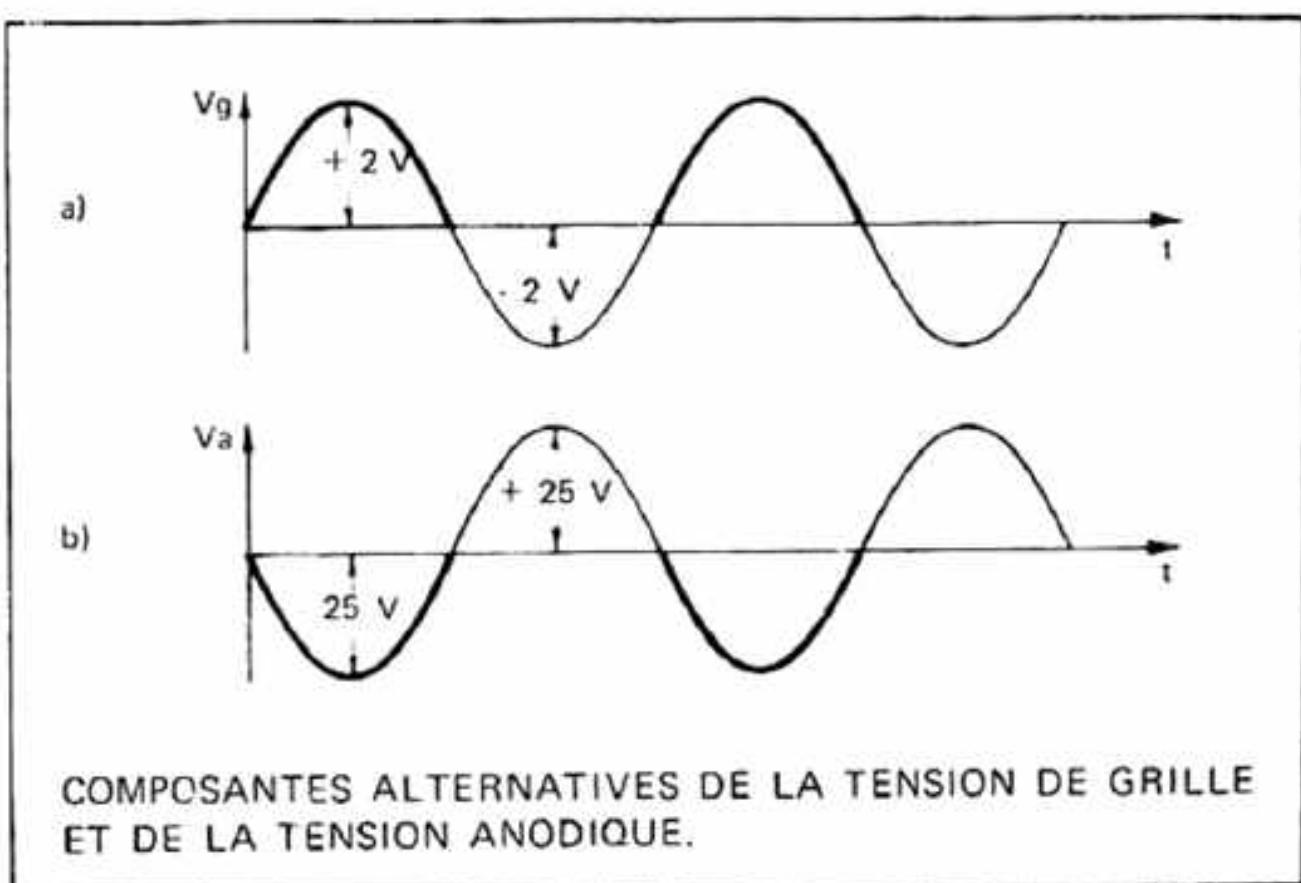


Figure 12

Dans ce cas, on dit que les deux tensions sont en *OPPOSITION*, car quand l'une atteint la valeur maximum positive, l'autre atteint la valeur maximum négative et vice versa, comme on le voit sur la *figure 12*.

Il faut se souvenir que LE SIGNAL AMPLIFIE OBTENU D'UNE TRIODE EST EN OPPOSITION AVEC LE SIGNAL APPLIQUE A LA GRILLE, car ce fait est très important pour comprendre le fonctionnement des oscillateurs électroniques et des circuits de contre réaction, que l'on étudiera dans les prochaines leçons.

Pour savoir de combien est amplifié le signal appliqué à la grille de la triode, il suffit de diviser la valeur maximum de la composante alternative de la tension anodique par la valeur maximum de la composante alternative de la tension de grille ; on obtient ainsi le *GAIN DE TENSION*, que l'on indique par *G*.

Dans le cas de la *figure 12*, puisque les valeurs maxima des composantes alternatives de la tension anodique et de la tension de grille sont 25 V et 2 V, le gain de tension est  $G = 25 : 2 = 12,5$  ; ce qui signifie que le signal appliqué à la grille de la triode est amplifié 12,5 fois.

### 1 - 3 PARAMETRES DIFFERENTIELS DE LA TRIODE

Dans toutes les remarques faites jusqu'à maintenant, on s'est toujours reporté à la triode ECC 82 ; en étudiant d'autres types de triodes, on obtiendrait des résultats différents, même en faisant fonctionner ces tubes dans les mêmes conditions que la triode ECC 82.

Par exemple, avec la même variation de la tension de grille, on pourrait obtenir une variation du courant anodique supérieure ou inférieure ou bien, avec la même variation du courant anodique, on pourrait obtenir une variation de la tension anodique plus ou moins forte ; le gain pourrait également être différent.

Chaque type de triode est caractérisé au moyen de grandeurs aptes à indiquer ses possibilités quand elle fonctionne dans des conditions déterminées, c'est-à-dire avec une tension de polarisation de grille donnée, un courant anodique de repos donné et une tension anodique de repos donnée.

Pour chaque type de triode, on indique trois grandeurs, appelées *PARAMETRES DIFFERENTIELS DE LA TRIODE* ; chacune d'elles est définie d'après la variation de deux des trois grandeurs électriques relatives à la

triode (tension de grille, courant anodique, et tension anodique), tandis que la troisième reste constante.

Un premier paramètre est appelé *PENTE* de la triode (symbole *S*), ou bien *TRANSCONDUCTANCE* ou bien aussi *CONDUCTANCE MUTUELLE*; ce paramètre *indique de combien varie le courant anodique quand la tension de grille varie de 1 V, tandis que la tension anodique reste constante*.

Si l'on exprime en milliampères, la variation du courant anodique correspondant à la variation de 1 V de la tension de grille, la pente est exprimée en milliampères par volt (symbole mA/V).

*La pente permet de connaître l'efficacité d'une triode au contrôle du courant anodique au moyen de la tension de grille : entre deux types de triodes qui ont des pentes différentes, celle qui a la pente la plus élevée sera la meilleure.*

On peut déterminer la pente d'une triode expérimentalement avec le circuit de la *figure 13-a*.

Pour cela, on règle la tension de grille de façon à ce que la triode fonctionne dans les conditions voulues et on lit sur le milliampèremètre la valeur du courant anodique qui traverse le tube.

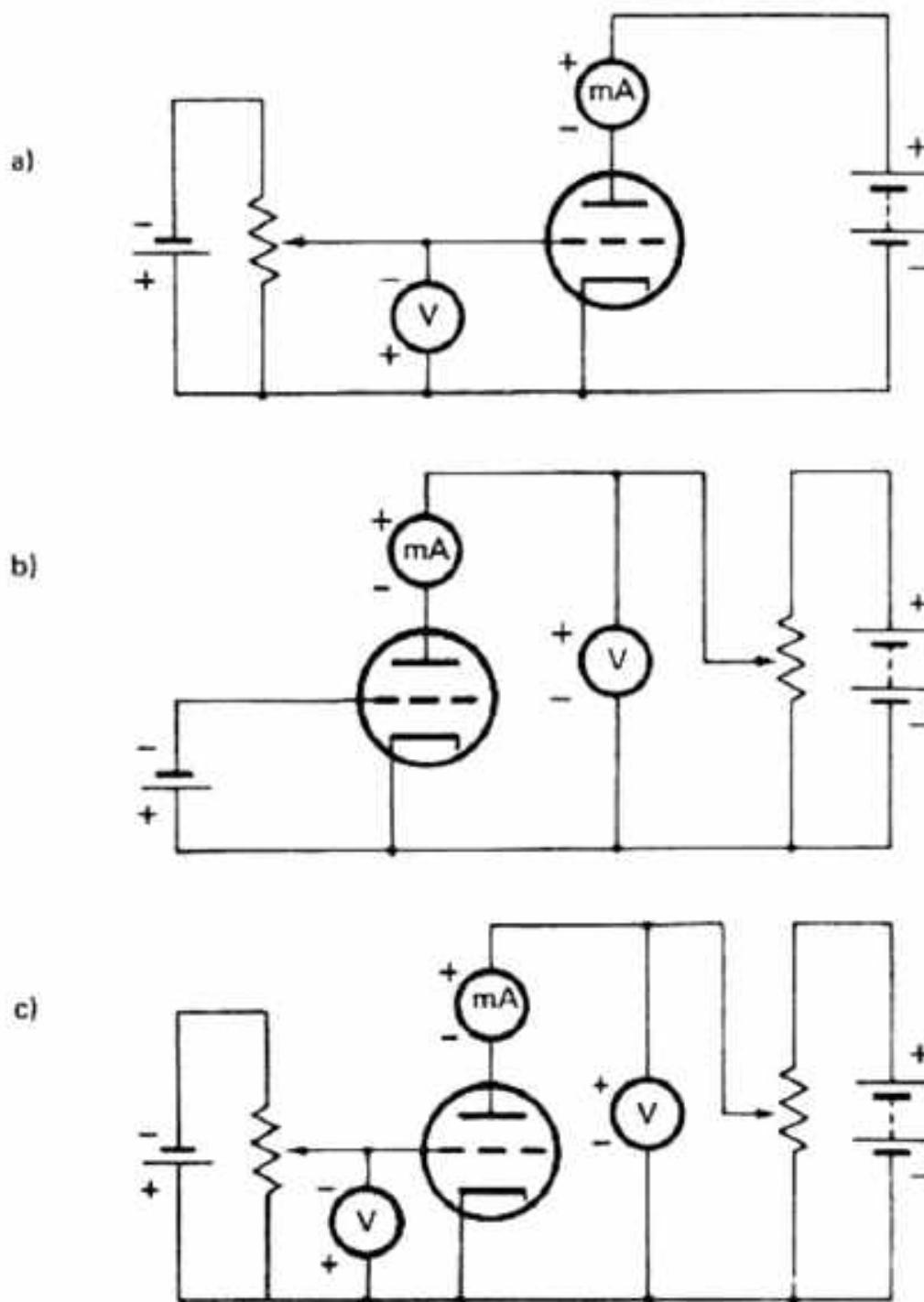
On agit ensuite sur le curseur du potentiomètre en faisant varier de 1 V la tension de grille et on lit de nouveau sur le milliampèremètre la valeur du courant anodique : la différence entre cette valeur et la précédente indique évidemment de combien a varié le courant anodique quand la tension de grille a varié de 1 V et elle donne donc directement la pente du tube.

Durant cet essai, la tension anodique ne varie pas, car il n'y a pas de résistance anodique qui puisse produire des variations de tension ; la petite résistance interne du milliampèremètre insérée dans le circuit anodique peut être considérée comme négligeable.

Comme on l'a vu précédemment, on peut aussi contrôler le courant d'une triode au moyen de la tension anodique, en laissant la tension de grille inchangée.

Le deuxième paramètre différentiel indiqué pour une triode permet justement de connaître l'efficacité du tube à contrôler le courant anodique au moyen de la tension anodique.

Ce paramètre est appelé *RESISTANCE INTERNE* de la triode (sym-



CIRCUITS POUR LA DETERMINATION DES PARAMETRES DIFFERENTIELS.

Figure 13

bole  $\rho$ ) : il indique la résistance du tube en fonction de la variation de tension anodique nécessaire, pour obtenir une variation de courant anodique de 1 mA, la tension de grille restant constante.

Si l'on exprime en volt, la variation de la tension anodique nécessaire pour que le courant anodique varie de 1 mA, la résistance interne est exprimée en kiloohms.

On peut aussi déterminer expérimentalement la résistance interne, au moyen du circuit de la figure 13-b.

Pour cela on fait fonctionner la triode dans les conditions voulues en réglant sa tension anodique, dont on lit la valeur sur le voltmètre.

La tension anodique varie donc jusqu'à ce que le courant anodique ait varié de 1 mA : on lit alors de nouveau sur le voltmètre la valeur de la tension anodique : la différence entre cette valeur et la valeur lue précédemment indique de combien la tension anodique a du varier pour faire varier de 1 mA le courant anodique et donne donc directement la résistance interne de la triode.

Précédemment on a vu que la grille contrôle le courant anodique plus efficacement que l'anode, étant plus proche de la cathode : le troisième paramètre différentiel indiqué pour une triode permet justement de connaître de combien la grille est plus efficace que l'anode pour contrôler le courant anodique.

Ce paramètre est appelé *COEFFICIENT D'AMPLIFICATION* de la triode (symbole  $\mu$ ) : il indique de combien doit varier la tension anodique pour maintenir le courant anodique constant malgré une variation de 1 V de la tension de grille.

Pour avoir une idée plus précise de ce paramètre, il faut voir comment on procède pour le déterminer expérimentalement.

Pour cela on utilise le circuit de la figure 13-c : après avoir réglé la tension de grille et la tension anodique de façon à ce que la triode fonctionne dans les conditions voulues, on lit les valeurs du courant anodique et de la tension anodique.

Puis on fait varier de 1 V la tension de grille et ainsi le courant anodique varie également d'une certaine quantité ; on fait alors varier la tension anodique jusqu'à ce que le courant anodique reprenne sa valeur initiale : la variation de la tension anodique nécessaire pour obtenir cela indique direc-

tivement le coefficient d'amplification de la triode.

A la différence des deux autres paramètres, le coefficient d'amplification est seulement exprimé par un nombre.

Puisque les trois paramètres différentiels de la triode concernent tous le contrôle du courant anodique par la tension de grille ou la tension anodique, on peut supposer qu'il y a une relation entre ces trois paramètres : on a constaté en effet que *le coefficient d'amplification est égal au produit de la pente par la résistance interne*.

Les paramètres différentiels d'une triode peuvent aussi être déterminés graphiquement au moyen des caractéristiques mutuelles et anodiques de la triode.

Sur la *figure 14* on voit, par exemple, comment on peut obtenir la pente d'une triode du type ECC 83 à partir de ses caractéristiques mutuelles.

Supposons que la triode se trouve dans les conditions de repos indiquées par le point  $P_0$ , c'est-à-dire avec une tension de polarisation  $V_{go} = -2$  V, une tension anodique de repos  $V_{ao} = 250$  V, un courant anodique de repos  $I_{ao} = 1,2$  mA.

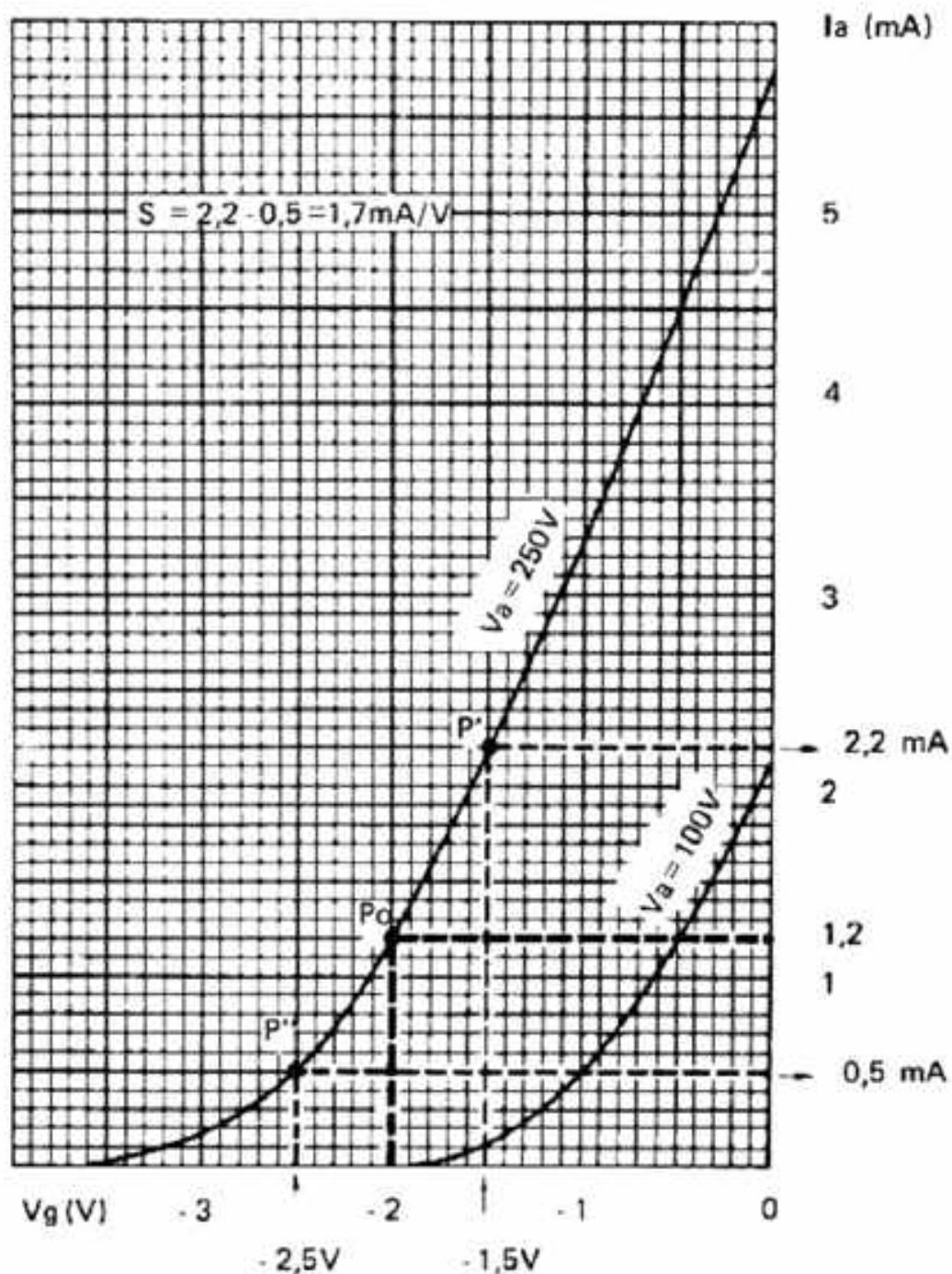
Puisque la pente est donnée par la variation du courant anodique consécutive à la variation de 1 V de la tension de grille tandis que la tension anodique reste constante, on considère les valeurs prises par le courant anodique qui correspondent aux valeurs de -1,5 V et de -2,5 V de la tension de grille.

La variation de 1 V de la tension de grille s'obtient ainsi en augmentant et en diminuant de 0,5 V la valeur de -2 V de la tension de polarisation.

Depuis les points de l'axe horizontal qui ont les valeurs de -1,5 V et de -2,5 V, on trace deux lignes verticales jusqu'à l'intersection aux points  $P'$  et  $P''$  avec la caractéristique mutuelle relative à la tension anodique de 250 V, sur laquelle se trouve aussi le point  $P_0$ .

Ainsi la tension anodique ne varie pas, car aux trois points correspondent la même valeur de cette tension, tandis que le courant anodique varie : on voit en effet que, aux points  $P'$  et  $P''$ , le courant prend les valeurs de 2,2 mA et de 0,5 mA.

La différence entre ces deux valeurs ( $2,2 - 0,5 = 1,7$ ), en indiquant



DETERMINATION GRAPHIQUE DE LA PENTE D'UNE TRIODE  
D'APRES LES CARACTERISTIQUES MUTUELLES

Figure 14

de combien varie le courant anodique quand la tension de grille varie de 1 V, donne directement la pente de la triode : on peut donc en conclure que la triode étudiée, dans les conditions de repos indiquées par le point  $P_0$ , a une pente de 1,7 mA/V.

On peut aussi déduire la pente de la triode des caractéristiques anodiques du tube, en procédant comme sur la *figure 15*.

Dans ce cas, le point  $P_0$ , qui indique les conditions de repos de la triode, est sur la caractéristique anodique relative à la tension de grille  $V_g = -2$  V, en correspondance avec la tension anodique de repos  $V_{ao} = 250$  V et avec le courant anodique de repos  $I_{ao} = 1,2$  mA.

Du point  $P_0$ , on trace une ligne verticale jusqu'à l'intersection aux points  $P'$  et  $P''$  avec les caractéristiques anodiques relatives aux tensions de grille de -1,5 V et de -2,5 V, de façon à ce que dans ce cas encore, la variation de 1 V de la tension de grille soit obtenue en augmentant et en diminuant de 0,5 V la valeur de -2 V de la tension de polarisation.

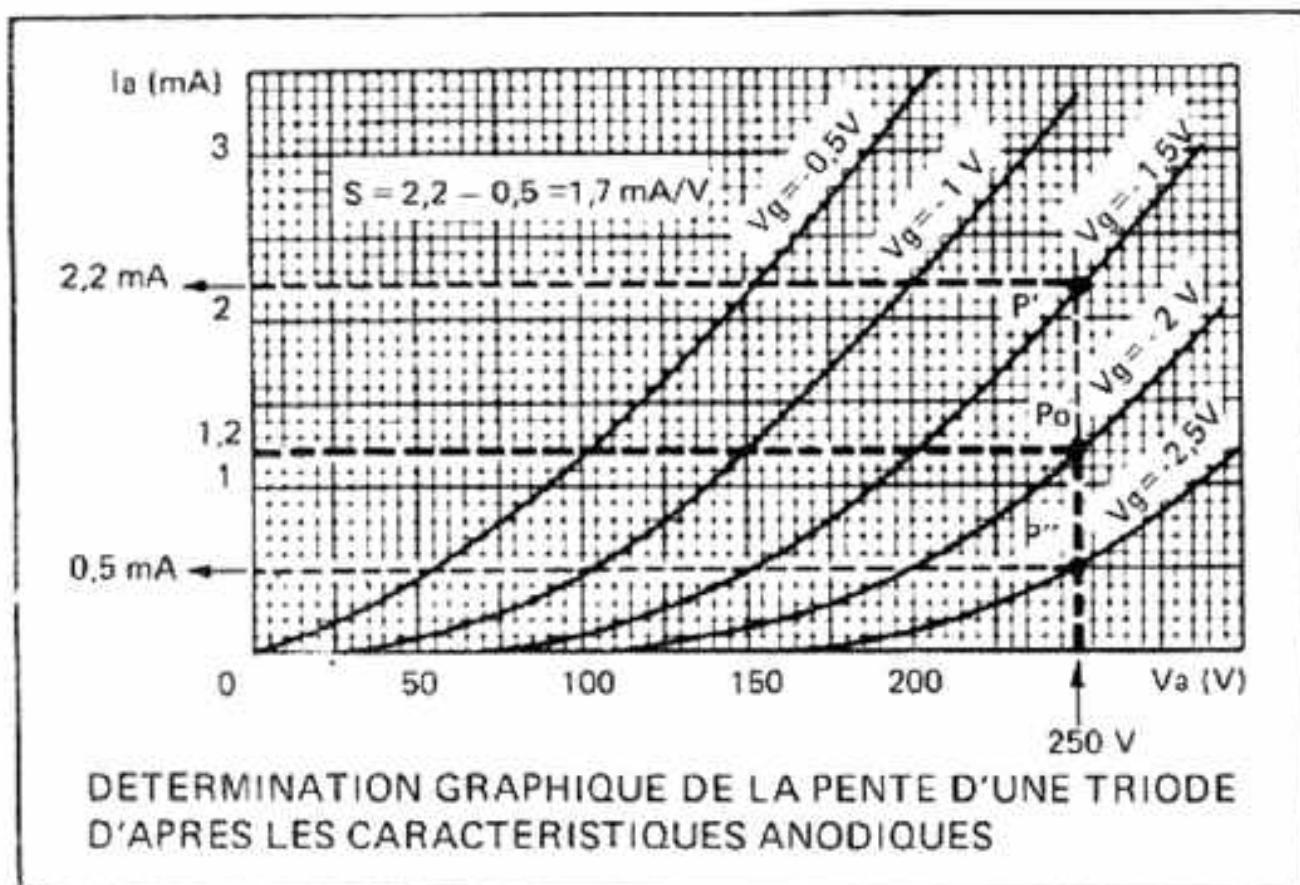


Figure 15

Ainsi, la tension anodique ne varie pas car aux trois points correspond encore la même valeur de 250 V de cette tension, tandis que le courant anodique varie.

Dans ce cas encore, en effet, le courant qui correspond aux points  $P'$  et  $P''$  prend les valeurs de 2,2 mA et de 0,5 mA, et la différence donne encore une pente d'une valeur de 1,7 mA/V.

Cette deuxième méthode pour trouver la pente d'une triode peut être adoptée quand on connaît pas la caractéristique mutuelle tracée pour la valeur de la tension anodique désirée : en effet, sur les caractéristiques anodiques, on peut suivre la résolution graphique de la pente quelle que soit la valeur de la tension anodique, que l'on lit directement sur l'axe horizontal.

Avec ces mêmes caractéristiques anodiques, on peut aussi trouver la résistance interne de la même triode, en procédant comme sur la figure 16.

Dans ce cas aussi, le point  $P_0$  indique les conditions de repos de la

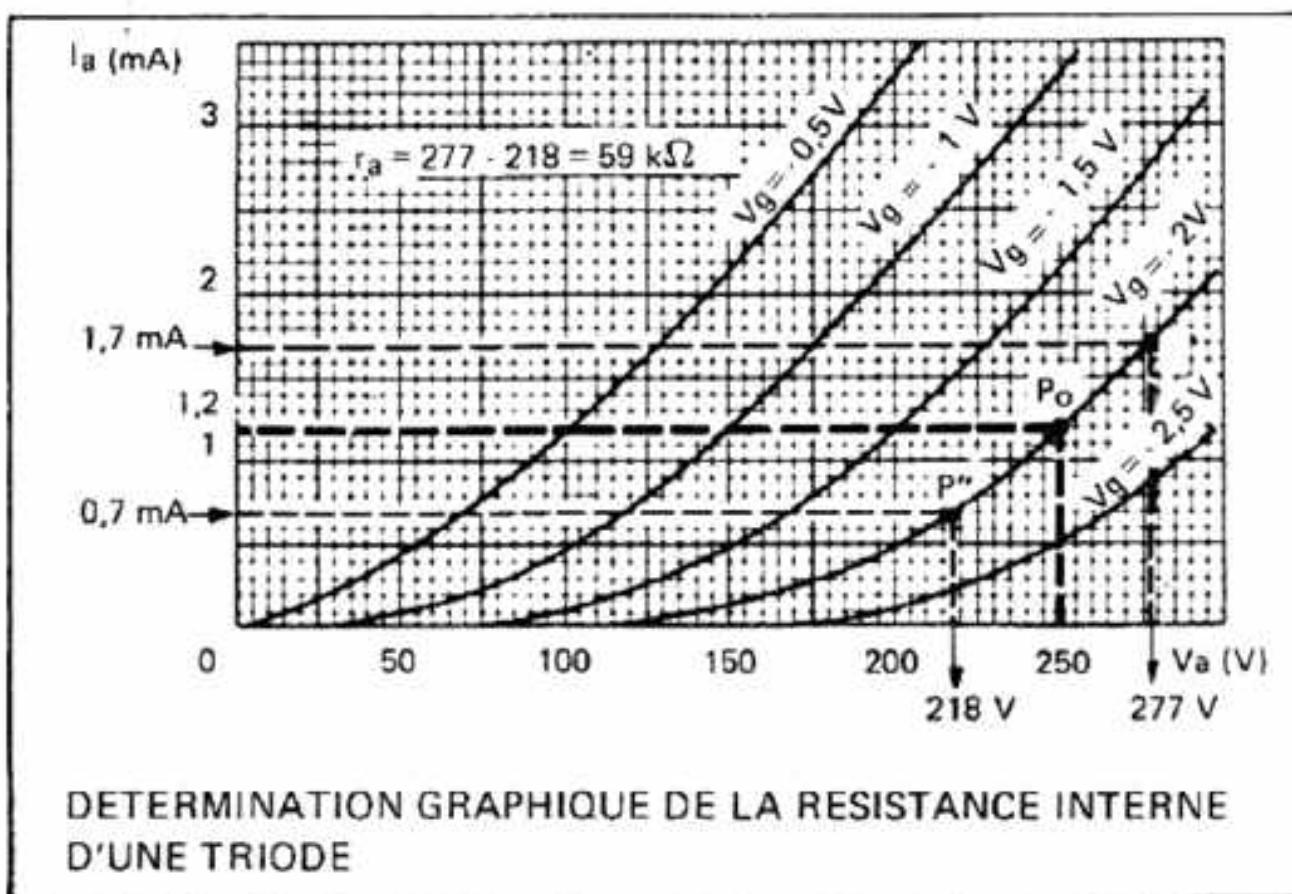


Figure 16

triode, qui sont les mêmes que celles que nous avons déjà étudiées précédemment.

Puisque la résistance interne est donnée par la variation de la tension anodique nécessaire pour obtenir la variation de 1 mA du courant anodique tandis que la tension de grille reste constante, on étudie les valeurs que doit prendre la tension anodique pour faire varier le courant anodique entre les valeurs de 1,7 mA et de 0,7 mA, c'est-à-dire pour le faire augmenter et diminuer de 0,5 mA par rapport à la valeur de 1,2 mA du courant anodique de repos.

Depuis les points de l'axe vertical qui indiquent les valeurs de 1,7 mA et de 0,7 mA, on trace deux lignes horizontales jusqu'à l'intersection aux points  $P'$  et  $P''$  avec la caractéristique anodique relative à la tension de grille de - 2 V, sur laquelle se trouve aussi le point  $P_0$ .

Ainsi la tension de grille ne varie pas car aux trois points correspond la même valeur de cette tension, tandis que la tension anodique varie et passe de la valeur de 277 V, qui correspond au point  $P'$ , à la valeur de 218 V, qui correspond au point  $P''$ .

La différence entre ces deux valeurs ( $277 - 218 = 59$ ), en indiquant de combien doit varier la tension anodique pour que le courant anodique varie de 1 mA, donne directement la résistance interne de la triode : on peut donc conclure que la triode étudiée, dans les conditions de repos indiquées par le point  $P_0$ , a une résistance interne de 59 k $\Omega$ .

Au moyen des caractéristiques anodiques de la triode, on peut également trouver son coefficient d'amplification, en procédant comme sur la figure 17, sur laquelle le point  $P_0$  indique encore les mêmes conditions de repos que celles étudiées dans les cas précédents.

Puisque le coefficient d'amplification est donné par la variation de la tension anodique nécessaire pour maintenir constant le courant anodique quand la tension de grille varie de 1 V, on étudie les valeurs que doit prendre la tension anodique pour que le courant anodique maintienne inchangée sa valeur de 1,2 mA quand la tension de grille varie de 0,5 V par rapport à la valeur de - 2 V de la tension de polarisation, en passant de - 1,5 V à - 2,5 V.

Du point  $P_0$ , on trace une ligne horizontale jusqu'à sa rencontre aux points  $P'$  et  $P''$  avec les caractéristiques anodiques relatives à la tension de grille de - 1,5 V et de 2,5 V.

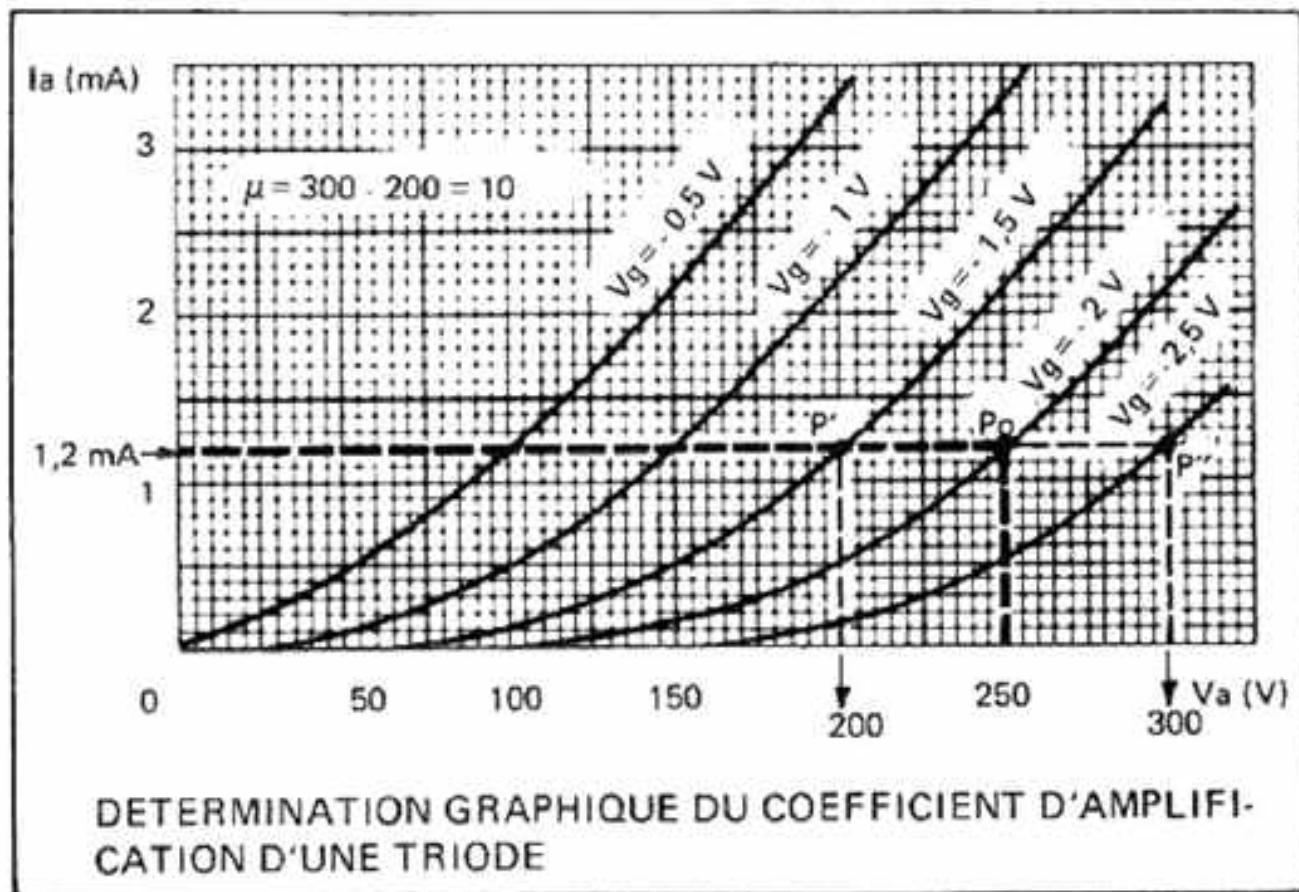


Figure 17

Ainsi le courant anodique ne varie pas car aux trois points correspond la même valeur de 1,2 mA de ce courant, tandis que la tension anodique doit varier pour compenser la variation de la tension de grille : on voit en effet que la tension anodique atteint les valeurs de 200 V et de 300 V indiquées en correspondance avec les points  $P'$  et  $P''$ .

La différence entre ces deux valeurs ( $300 - 200 = 100$ ), en indiquant de combien doit varier la tension anodique pour maintenir constant le courant quand la tension de grille varie de 1 V, donne directement le coefficient d'amplification de la triode : on peut donc conclure que la triode étudiée, dans les conditions de repos indiquées par le point  $P_0$ , a un coefficient d'amplification égal à 100.

On peut alors vérifier que le coefficient d'amplification ainsi obtenu est égal au produit des deux autres paramètres différentiels de la triode précédemment déterminés.

Comme la pente a une valeur de  $1,7 \text{ mA/V}$  et la résistance une valeur de  $59 \text{ k}\Omega$ , on obtient :  $1,7 \times 59 = 100,3$ .

Le résultat est acceptable, car avec les méthodes graphiques, on commet toujours de petites imprécisions qui proviennent de la difficulté de lire avec exactitude les valeurs reportées sur les axes des diagrammes : pour ce même motif, on peut parfois constater une petite différence entre les paramètres déterminés graphiquement et ceux trouvés expérimentalement indiqués par les constructeurs de tubes.

Les données relatives à la triode étudiée peuvent être indiquées de cette façon :

tension anodique de repos :  $V_{ao} = 250 \text{ V}$   
courant anodique de repos :  $I_{ao} = 1,2 \text{ mA}$   
tension de polarisation :  $V_{go} = -2 \text{ V}$   
pentes :  $S = 1,7 \text{ mA/V}$   
résistance interne :  $\rho = 59 \text{ k}\Omega$   
coefficient d'amplification :  $\mu = 100$ .

On note qu'avec les trois paramètres différentiels, il faut toujours indiquer les données relatives au point de fonctionnement (tension anodique, courant anodique et tension de polarisation) car les paramètres différentiels d'une triode sont différents selon le point de fonctionnement du tube, du fait que les caractéristiques ne sont pas des lignes droites mais des courbes.

Par suite, il suffirait de choisir sur les caractéristiques anodiques et mutuelles un autre point  $P_o$  et de répéter pour celui-ci les mêmes opérations que celles de la *figure 14*, de la *figure 15*, de la *figure 16*, et de la *figure 17* : on constaterait ainsi que les valeurs des paramètres différentiels sont effectivement différentes.

Dans la prochaine théorie, nous nous arrêterons encore sur les tubes électroniques, pour étudier quelques types comportant plus de trois électrodes, largement employés en électronique.

## NOTIONS A RETENIR

- La TRIODE est un tube électronique (lampe) comprenant trois ELECTRODES : la CATHODE, la GRILLE et l'ANODE.
- L'ANODE doit être POSITIVE par rapport à la CATHODE qui doit elle-même être POSITIVE par rapport à la GRILLE. En d'autres termes, la GRILLE doit être NEGATIVE par rapport à la CATHODE.

Dans ces conditions, une faible variation de la TENSION D'ENTREE (appliquée sur la GRILLE), provoque une forte variation du courant électronique CATHODE-ANODE (ou du courant ANODE-CATHODE, selon le sens conventionnel).

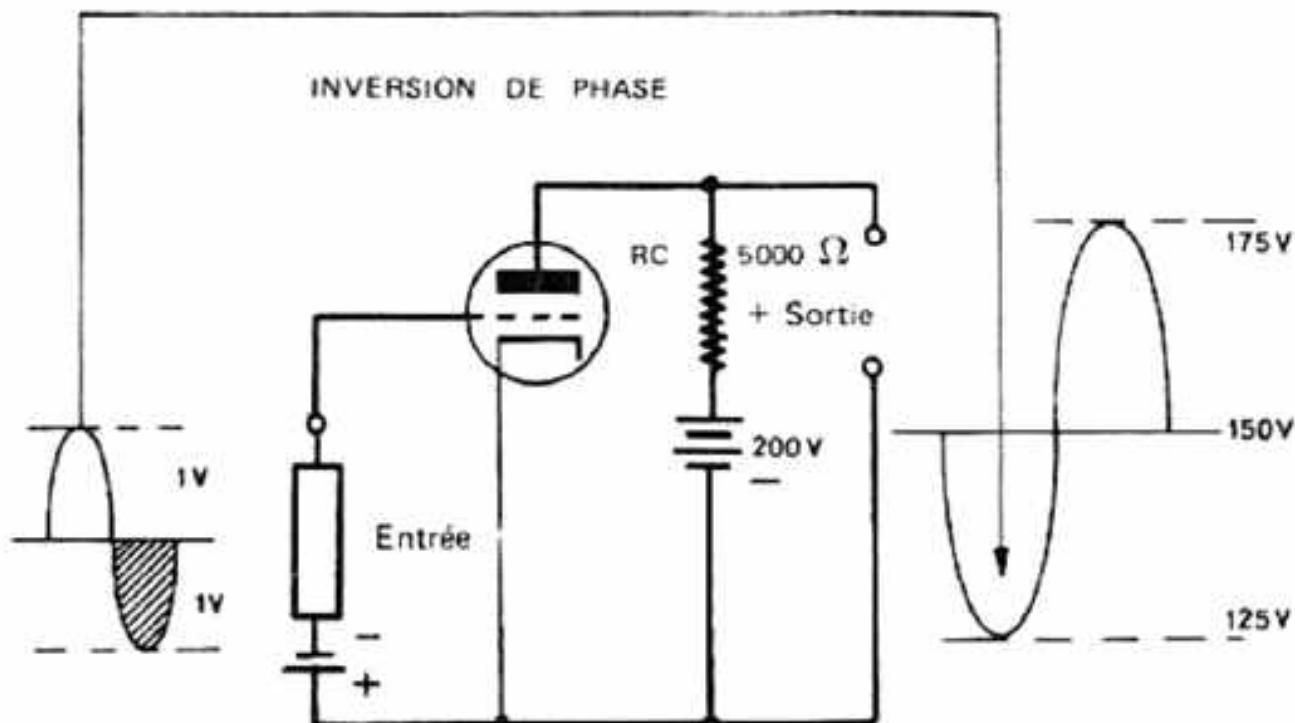
Il en résulte une CHUTE DE TENSION plus ou moins importante dans la résistance de charge, donc une variation de la TENSION DE SORTIE (prélevée entre ANODE et MASSE).

- La TRIODE, comme d'ailleurs tous les autres tubes électroniques (TETRODE, PENTHODE, etc...), que nous verrons par la suite, est un composant AMPLIFICATEUR, introduisant une INVERSION DE PHASE.

Cela signifie que la TENSION de SORTIE est en OPPOSITION DE PHASE par rapport à la tension d'entrée.

La figure ci-dessous met en évidence ce phénomène.

En effet, lorsque L'ALTERNANCE POSITIVE du signal d'entrée rend la GRILLE MOINS NEGATIVE, LE COURANT DANS LE TUBE AUGMENTE. Il en résulte une chute de tension plus importante dans la résistance de charge, donc une DIMINUTION de la TENSION de SORTIE.



Inversement, lorsque L'ALTERNANCE NEGATIVE du signal d'entrée rend LA GRILLE PLUS NEGATIVE, LE COURANT DANS LE TUBE DIMINUE. La chute de tension dans  $R_C$  diminue et LA TENSION DE SORTIE AUGMENTE.

**EXEMPLE :** Soit une TENSION D'ALIMENTATION de 200 Volts et un courant de repos (courant dans le tube en l'absence de signal d'entrée) de 10 mA (0,01 A).

Avec  $R_c = 5000 \Omega$ , la tension d'anode est de :

$$U = \text{TENSION ALIMENTATION} - (R \times I) =$$

$$200 - (5000 \times 0,01) =$$

150 Volts

TENSION DE REPOS

Si en appliquant un signal positif de 1 Volt, le courant passe de 10 mA à 15 mA (0,015 A), la tension sur l'ANODE passe de 150 Volts à :

$$200 - (5000 \times 0,015) =$$

125 Volts

Par contre, lors de l'ALTERNANCE NEGATIVE de 1 Volt, le courant passera de 10 mA à 5 mA (0,005 A) et la TENSION sur l'ANODE sera de :

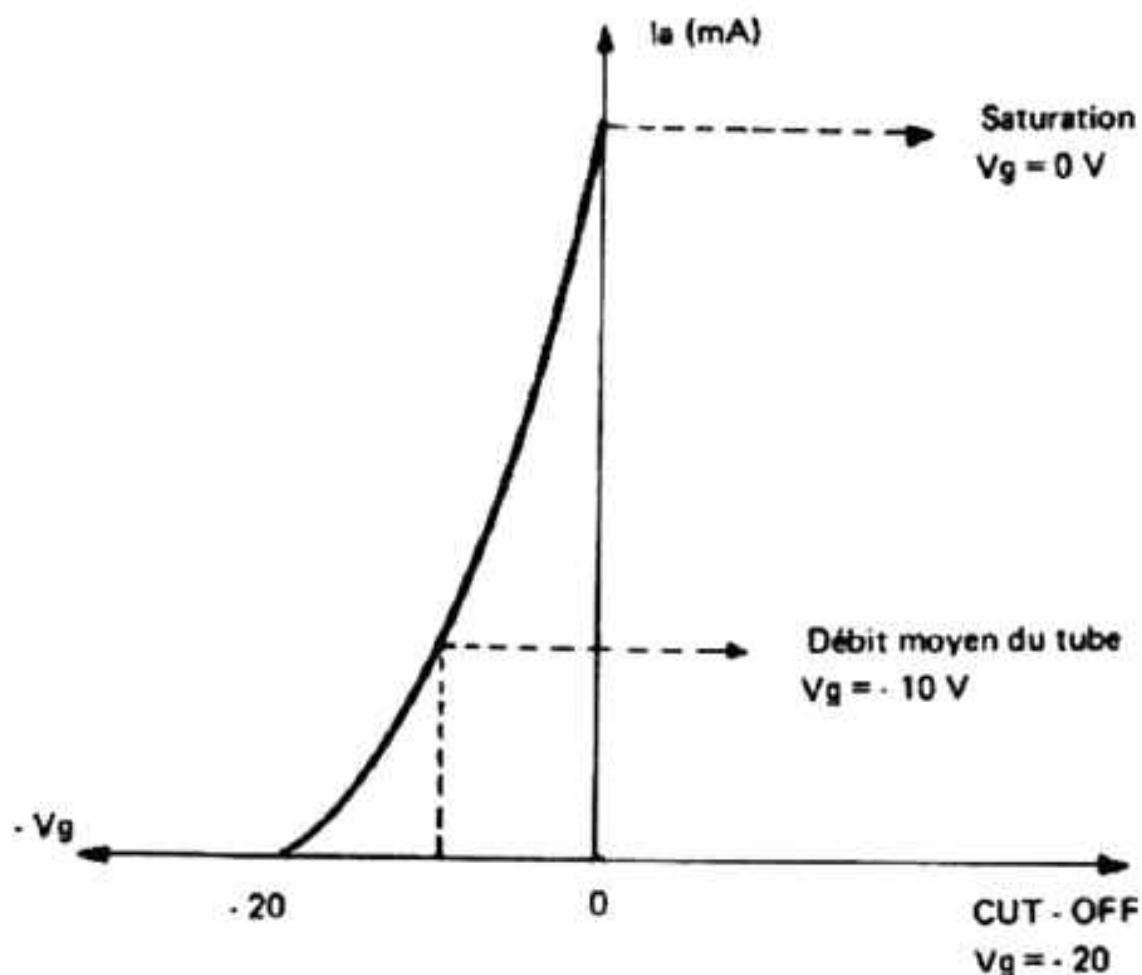
$$200 - (5000 \times 0,005) =$$

175 Volts

En conclusion, nous pouvons dire : à une ALTERNANCE POSITIVE du signal d'entrée, correspond une ALTERNANCE NEGATIVE du signal de sortie et inversement.

- La CARACTERISTIQUE MUTUELLE d'une TRIODE (caractéristique  $I_a - V_g$ ), indique LA VARIATION DU COURANT ANODIQUE ( $I_a$ ) en fonction de la TENSION DE GRILLE ( $V_g$ ).
- La valeur de la tension  $V_g$ , pour laquelle le courant anodique devient nul, s'appelle la TENSION DE BLOCAGE. On dit aussi TENSION DE CUT-OFF.
- L'inverse du BLOCAGE est la SATURATION. En condition de SATURATION, le tube débite au maximum possible.

La figure ci-dessous, représentant une caractéristique  $I_a \cdot V_g$ , met en évidence ces deux définitions.



La RESISTANCE INTERNE d'un tube peut être définie comme étant le RAPPORT ENTRE UNE VARIATION ( $\Delta$ ) de TENSION PLAQUE et la variation correspondante du COURANT PLAQUE, la tension  $V_g$  restant constante.

Cette définition peut être exprimée plus clairement à l'aide de la formule :

$$\rho = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} \quad \text{avec}$$

- $\rho$  = Résistance interne en Ohms  
 $\Delta V_p$  = Variation de tension plaque en Volts  
 $\Delta I_p$  = Variation de courant plaque en Ampères

La PENTE est le RAPPORT entre une variation du COURANT PLAQUE et une variation de TENSION GRILLE, la tension  $V_p$  restant constante.

Cette définition peut être exprimée plus clairement à l'aide de la formule :

$$S = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} \quad \text{avec}$$

- $S$  = Pente en milliampère par Volt  
 $\Delta I_p$  = Variation du courant plaque en Ampères  
 $\Delta V_g$  = Variation de tension grille en Volts

Le COEFFICIENT D'AMPLIFICATION est le RAPPORT entre une variation de TENSION PLAQUE et une variation de TENSION GRILLE, le courant la restant constant.

Cette définition peut être exprimée plus clairement à l'aide de la formule :

$$\mu \text{ (ou } K\text{)} = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} \quad \text{avec}$$

- $\mu$  ou  $K$  = Coefficient d'amplification  
 $\Delta V_p$  = Variation de tension plaque en Volts  
 $\Delta V_g$  = Variation de tension grille en Volts

- De ces trois RAPPORTS, on tire la relation suivante :

$$\mu = \rho S \quad \text{c'est-à-dire :}$$

$$\mu = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} \times \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g}$$

### EXEMPLES :

- a) - Sur un tube, on maintient  $V_g$  à une valeur constante et on fait varier la tension plaque de 20 Volts par exemple. Dans ces conditions le courant plaque varie de 4 mA.

LA RESISTANCE INTERNE a pour valeur :

$$\rho = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} = \frac{20}{4} = 5\,000 \Omega$$

- b) - Sur un tube, on maintient  $V_p$  à une valeur constante et on fait varier le courant plaque de 4 mA. Pour obtenir cette variation, il a fallu faire varier la tension grille de 1,7 Volt.

La PENTE a pour valeur :

$$S = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} = \frac{4}{1,7} = 2,35 \text{ MA-V}$$

REMARQUE : La pente est quelquefois en  $\mu\text{MHO}$  (TRANSCONDUCTANCE), surtout pour les Anglo-saxons.

Nous avons alors :

$$1 \mu\text{MHO} = 1 \mu\text{A-V}$$

soit dans le cas ci-dessus :

$$S = 2,35 \text{ MA} \cdot \text{V} \quad \text{ou} \quad 2350 \mu \text{MHO}$$

c) - Sur un tube, on maintient la à une valeur constante et on fait varier la tension plaque de 20 Volts. Pour obtenir cette variation, il a fallu faire varier le courant grille de 1,7 Volt.

Le COEFFICIENT D'AMPLIFICATION a pour valeur :

$$\mu = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} = \frac{20}{1,7} = 11,7$$

En appliquant directement la relation

$$\mu = \rho S, \text{ on obtient toujours}$$

$$\mu = 5000 \times 0,00235 = 11,7$$

Bien entendu, on peut transformer la relation  $\mu = \rho S$  pour obtenir directement :

$$S = \mu / \rho \quad \text{et} \quad \rho = \mu / S$$



## EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 15

1. Comment la grille d'une triode peut-elle influencer le mouvement des électrons qui se dirigent vers l'anode ?
2. Pourquoi la grille d'une triode contrôle-t-elle plus efficacement le courant anodique que l'anode ?
3. Qu'indiquent les caractéristiques mutuelles d'une triode ?
4. Qu'entend-on par tension de grille de blocage ?
5. Pourquoi dit-on que la triode donne lieu à une amplification de tension ?
6. Quelles sont les grandeurs dont on peut lire les valeurs et qui correspondent au point de fonctionnement d'une triode ?
7. A quoi sert la droite de charge tracée sur les caractéristiques anodiques d'une triode ?
8. Le signal amplifié obtenu d'une triode ne diffère-t-il que par l'amplitude du signal appliqué à la grille du même tube ?
9. Quelle sera la valeur du coefficient d'amplification d'une triode qui a une pente de  $1,25 \text{ mA/V}$  et une résistance interne de  $80 \text{ k}\Omega$  ?



## REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION DE LA THEORIE 14

- 1) La DIODE A VIDE à chauffage indirect comporte deux électrodes : L'ANODE et la CATHODE.
- 2) La diode à vide a la propriété fondamentale de ne laisser passer le courant que dans un seul sens, de la CATHODE vers l'ANODE (sens électronique).
- 3) La courbe caractéristique d'une diode indique la progression du courant en fonction de la tension plaque appliquée.
- 4) L'expression "la diode est saturée" signifie que la diode débite au maximum possible et que le fait d'augmenter la tension plaque ne provoquera plus une augmentation de courant.
- 5) Dans le REDRESSEMENT SIMPLE ALTERNANCE, on ne redresse qu'une alternance de chaque période de la tension.

Dans le REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE, on redresse au contraire les deux alternances de chaque période de la tension.

- 6) C'est évidemment le REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE qui permet d'obtenir la tension redressée la plus régulière.
- 7) La TENSION DE RONFLEMENT désigne les variations de la tension redressée.
- 8) Le ROLE de la CELLULE DE FILTRAGE est d'éliminer ou du moins d'atténuer la tension de ronflement.

- 9) Le ROLE du circuit DETECTEUR est de séparer d'une tension, dite "tension porteuse", la tension de modulation. La "porteuse" est généralement une tension HF et la "tension de modulation" une tension BF.
- 10) La constante de temps d'un circuit RC avec :

$$R = 2000 \Omega \quad \text{et} \quad C = 0,004 \mu F$$

est de :

$$\theta = R C = 2 \text{ k}\Omega \times 4 \text{ nF} = 8 \mu \text{s}$$

