

# THEORIE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

## I - CLASSIFICATION DES AMPLIFICATEURS

Après avoir terminé l'examen de la constitution et des caractéristiques de la triode, de la pentode et de la tétrode à faisceaux dirigés, voyons maintenant comment sont utilisés ces tubes dans les circuits, comme on l'a déjà fait pour l'emploi des diodes dans les alimentations anodiques.

Une des plus importantes applications que ces tubes trouvent en électronique réside dans l'amplification des signaux BF ou HF, dont on a déjà parlé dans les leçons précédentes.

Les tubes électroniques constituent en effet les éléments essentiels des AMPLIFICATEURS, employés dans tous les appareils pour augmenter l'amplitude des signaux.

Comme l'amplification des signaux BF doit satisfaire à des exigences très souvent différentes de celles de l'amplification des signaux HF, les amplificateurs se divisent en AMPLIFICATEURS BF et en AMPLIFICATEURS HF, qui se différencient par la nature de leurs circuits.

Comme on le verra par la suite, les amplificateurs ont parfois pour tâche essentielle de fournir UNE TENSION D'UNE AMPLITUDE SUPERIEURE A CELLE APPLIQUEE A LA GRILLE ; ces amplificateurs sont appelés pour cela AMPLIFICATEURS DE TENSION.

Parfois au contraire, les amplificateurs doivent fournir **NON SEULEMENT UNE TENSION MAIS EGALEMENT UN COURANT DETERMINE** et donc une puissance électrique ; ces amplificateurs sont appelés pour cela **AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE**.

Les amplificateurs utilisés en électronique peuvent donc être classés dans les quatre types suivants :

- amplificateurs de tension BF
- amplificateurs de puissance BF
- amplificateurs de tension HF
- amplificateurs de puissance HF

## II - AMPLIFICATEURS DE TENSION BF

Comme on l'a dit, les amplificateurs de tension servent **A AMPLIFIER LA TENSION APPLIQUEE A LEUR CIRCUIT DE GRILLE**.

Les circuits étudiés dans les leçons précédentes avaient essentiellement pour tâche de faire comprendre le fonctionnement des tubes, tandis que maintenant il faut voir comment sont effectivement réalisés les amplificateurs utilisés dans la pratique.

Les circuits sont un peu différents de ceux examinés précédemment car, dans la plupart des cas, ils sont alimentés au moyen d'alimentations anodiques et leurs composants sont montés sur un châssis métallique.

## II - 1 - CIRCUITS DES AMPLIFICATEURS DE TENSION

Etudions d'abord le circuit d'une triode, un peu plus simple que celui d'une pentode, bien que le principe du montage soit le même.

La figure 1 représente le schéma type d'un AMPLIFICATEUR avec une TRIODE.

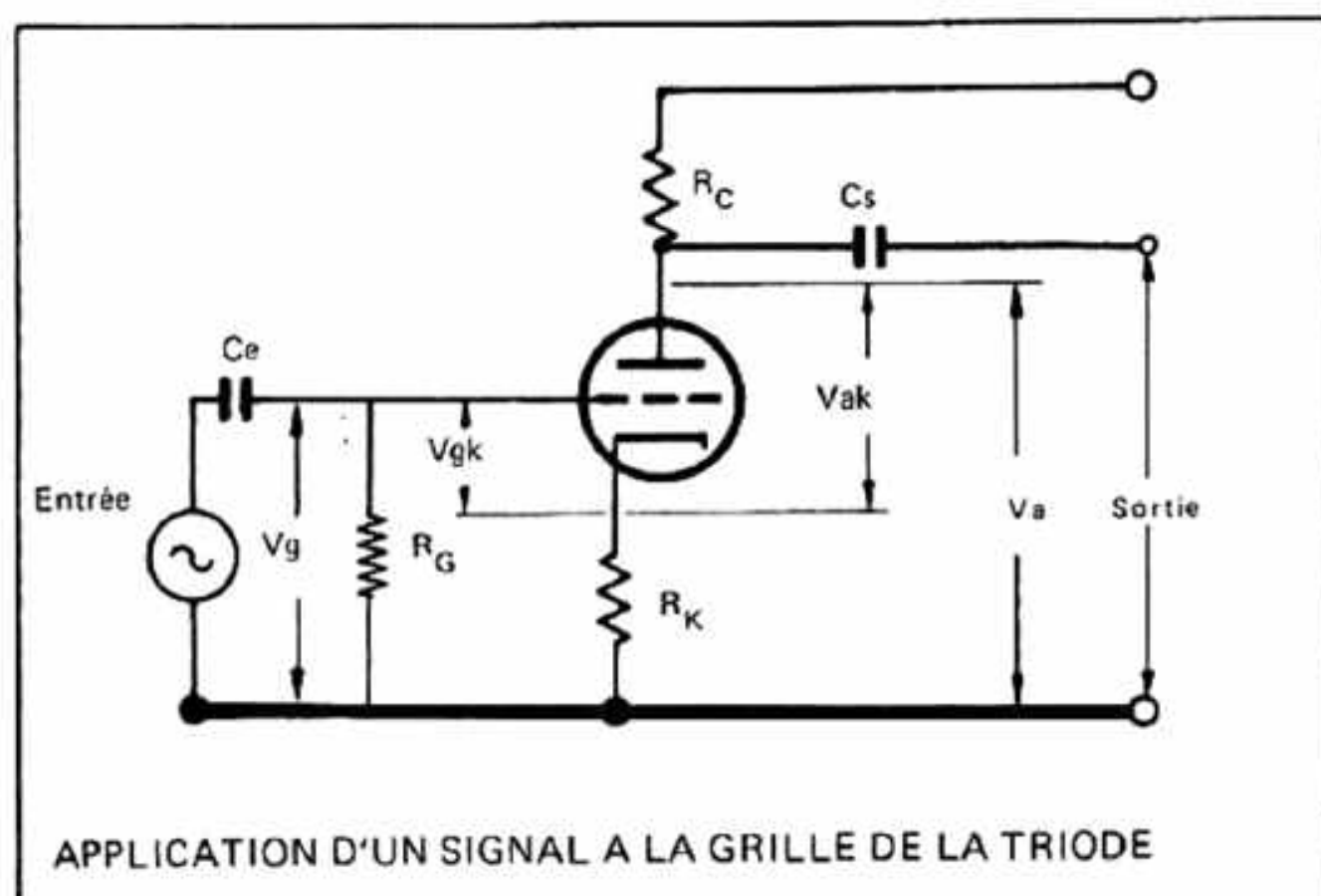



Figure 1

Nous avons déjà vu le rôle de tous les composants du montage, à savoir :

$R_K$  = Résistance de cathode (résistance de polarisation)

$R_C$  = Résistance de charge, encore appelée  $R_a$   
Résistance anodique

$R_G$  = Résistance de grille

 = Générateur du signal d'entrée à amplifier

$C_e$  = Condensateur d'entrée

$C_s$  = Condensateur de sortie

Pour prendre un exemple connu de tous, disons que ce générateur peut-être la TÊTE DE LECTURE d'une platine tourne-disque. Cette tête, également appelée CELLULE DE LECTURE, délivre dans les cas courants, une tension de l'ordre de 300 mV.

Or, pour actionner le Haut-parleur destiné à la reproduction des SONS enregistrés sur le disque, il faut d'abord AMPLIFIER en TENSION, le signal délivré par la CELLULE, puis procéder à une AMPLIFICATION de PUISSANCE.

Nous avons vu dans la dernière leçon, le fonctionnement du système de POLARISATION à l'aide de la résistance  $R_K$ . Il est donc inutile de revenir là dessus.

Précisons encore cependant que  $V_g$  représente la tension entre la grille et la masse,  $V_a$  la tension entre l'anode et la masse,  $V_{gk}$  la tension entre la grille et la cathode et  $V_{ak}$  la tension entre l'anode et la cathode.

Pour simplifier le schéma on a omis de représenter  $C_k$ , c'est-à-dire le condensateur électrochimique, monté généralement en parallèle sur  $R_k$ , qui n'a pour rôle que de maintenir constante la valeur de la tension de polarisation.

Grâce à  $R_K$ , la cathode se trouve à un POTENTIEL POSITIF par rapport à la grille.

Par exemple si nous avons  $R_K = 800 \Omega$  et  $I_{ao} =$  courant de repos  $-5 \text{ mA}$ , la tension positive qui apparaît sur la cathode par rapport à la masse est de :

$$U = R_i = 800 \times 0,005 = + 4 \text{ volts}$$

La grille étant à la masse par l'intermédiaire de  $R_G$ , se trouve donc à  $-4 \text{ volts}$  par rapport à la cathode ( $V_{gk}$ ).

En appliquant un signal à l'entrée du montage, soit par exemple une tension alternative de  $2 \text{ volts}$ , la grille passera de zéro volt à  $+ 2 \text{ volts}$  pendant l'alternance positive du signal, alors qu'elle sera à  $-2 \text{ volts}$  pendant l'alternance négative de ce même signal.

Dans le même temps, la tension  $V_{gk}$  variera entre  $-2 \text{ volts}$  et  $-6 \text{ volts}$ .

Sous l'effet de ces variations, le courant anodique variera par exemple entre  $8 \text{ et } 2 \text{ mA}$  (voir figure 2).

Dans ces conditions, si nous avons  $R_c = 10 \text{ K}\Omega$  et  $V_a = 250 \text{ volts}$ , la tension entre anode et masse sera en condition de repos de :

$$250 - (10.000 \times 0,005) = 200 \text{ volts}$$

Cette tension, sous l'effet des variations du courant anodique, passera de  $200 \text{ volts}$  à :

$$250 - (10.000 \times 0,008) = 170 \text{ volts et}$$

$$250 - (10.000 \times 0,002) = 230 \text{ volts}$$



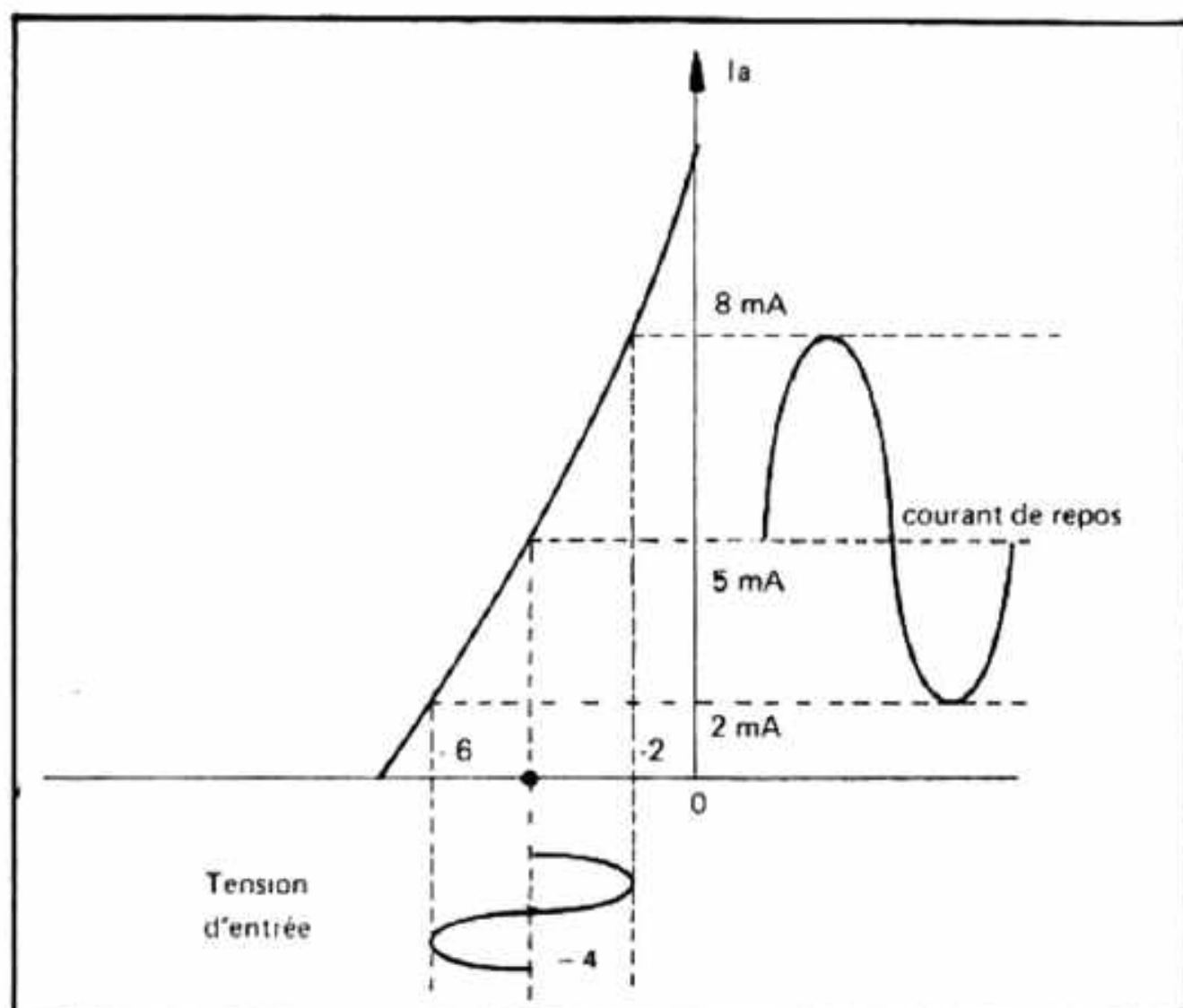


Figure 2

Ainsi, pour une variation de 2 volts à l'entrée, nous obtenons en sortie une variation de :

$$230 - 170 = 60 \text{ volts.}$$

Cet exemple simple vous permet de comprendre facilement le phénomène de l'amplification.

**NOTE :** Sur la figure 1 nous avons mentionné la tension  $V_{ak}$ . En effet, en théorie pure, toutes les tensions relatives à un tube sont données par rapport à la cathode et non par rapport à la masse.

En pratique cependant, il est plus facile d'effectuer les mesures par rapport à la masse, sans d'ailleurs s'écarter de façon sensible des valeurs que l'on obtiendrait en effectuant les mêmes mesures par rapport à la cathode.

Dans l'exemple donné, nous avons :

$$V_a = 250 \text{ volts}$$

$$V_{ak} = 250 - 4 = 246 \text{ Volts et,}$$

**TENSION ANODIQUE DE REPOS :**

$$246 - (10.000 \times 0,005) = 196 \text{ volts au lieu de 200 Volts}$$

La différence est donc négligeable.

Voyons maintenant un autre circuit avec un tube pentode.

La figure 3 représente le schéma classique du montage.

On y retrouve les mêmes composants que dans le montage précédent, avec en plus :

$R_{g2}$  = Résistance d'écran

$C_{g2}$  = Condensateur de DECOUPLAGE d'écran

Le rôle de  $R_{g2}$  est évident : ajustage de la tension d'écran, à la valeur recommandée par le constructeur.



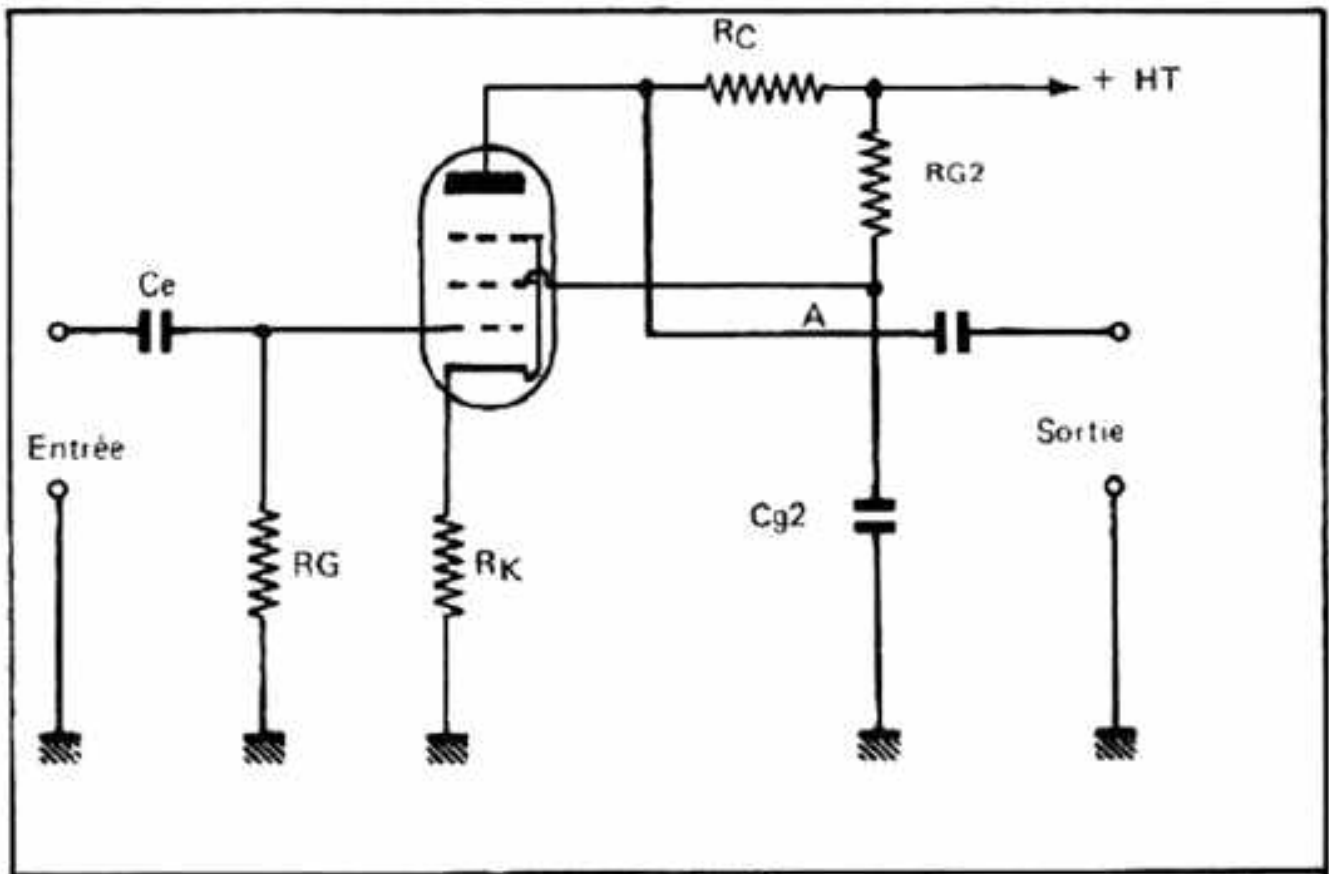


Figure 3

Par exemple si celui-ci indique :

$$I_{g2} = 1 \text{ mA}$$

$$V_{g2} = 150 \text{ Volts}$$

cela signifie que dans le cas d'une tension d'alimentation ( $V_a$ ) de 250 volts, il faudra introduire une chute de tension de :

$$250 - 150 = 100 \text{ Volts}$$

La valeur de  $R_{g2}$  sera donc dans ce cas de :

$$R = U/I = 100/0,001 = 100 \text{ K}\Omega$$

Quel est le rôle de  $C_{g2}$ .

Le courant de 1 mA mentionné par le constructeur est la valeur du courant en condition de repos.

Or sous l'effet de la tension d'entrée, ce courant varie plus ou moins. En effet, la grille-écran capte plus ou moins d'électrons et il en résulte une petite variation de  $I_{g2}$ .

Le condensateur  $C_{g2}$  a donc pour rôle d'absorber ces variations de courant, comme c'est le cas pour  $C_K$  se trouvant généralement en parallèle sur  $R_K$ .

Il se charge lorsque le courant augmente et se décharge lorsque le courant diminue, de façon à ce que la tension au point A conserve une valeur constante.

Les variations de courant sont évidemment de faible amplitude, la grille écran de par sa constitution ne captant qu'un nombre limité d'électrons.

De ce fait  $C_{g2}$  a une valeur capacitive beaucoup moins élevée que celle de  $C_K$ .

Cette valeur est de l'ordre de  $0,1 \mu\text{F}$  alors que pour  $C_K$  on trouve  $25 \mu\text{F}$  environ.

Le terme de DECOUPLAGE (inverse de COUPLAGE) signifie : rendre indépendant.

Dans le cas de  $C_{g2}$ , CONDENSATEUR DE DECOUPLAGE D'ECRAN, il s'agit de rendre le courant d'écran, INDEPENDANT de la TENSION D'ENTREE, donc du courant anodique.

Comme nous l'avons vu dans la dernière leçon, le calcul de  $R_K$  est le même que pour la TRIODE, avec toutefois cette différence qu'il convient d'ajouter à la le courant  $I_{g2}$ .

Exemple : soit

$$I_a = 35 \text{ mA}$$

$$I_{g2} = 2 \text{ mA}$$

$$V_g = -6 \text{ volts}$$

On applique la formule :

$$R_K = V_g / I_a + I_{g2} = 6/35 + 2 = 0,162 \text{ K}\Omega \text{ environ soit } 162 \Omega$$

## II - 2 - GAIN EN TENSION

Les amplificateurs de tension ayant pour but de fournir UNE TENSION DE SORTIE SUPERIEURE à la TENSION D'ENTREE, il est intéressant de connaître leur gain de tension  $G$ .

Pour un TUBE TRIODE, le gain en tension s'obtient en multipliant le COEFFICIENT D'AMPLIFICATION  $\mu$ , par la valeur de la résistance de charge  $R_c$  et en divisant le produit obtenu par la somme des valeurs de  $R_c$  et de la résistance interne du tube ( $\rho$ ).

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

$$G = \frac{\mu \cdot R_c}{R_c + \rho} \text{ (avec } R_c \text{ et } \rho \text{ en K}\Omega\text{)}$$

Il résulte de ceci que le gain d'un amplificateur à triode dépend non seulement du tube employé, mais aussi de la résistance anodique.

Plus précisément, on peut dire que le gain est d'autant plus grand que le coefficient d'amplification de la triode est plus grand et que la résistance anodique est plus grande par rapport à la résistance interne de la triode.

A titre d'exemple, calculons le gain de tension d'un amplificateur qui emploie la triode ECC83, connaissant les données caractéristiques de ce tube :

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

Avec une résistance de charge  $R_c = 50 \text{ k}\Omega$  nous avons :

$$G = \frac{\mu \cdot R_c}{R_c + \rho} = \frac{100 \times 50}{50 + 59} = 45,8$$

Ce résultat indique que le signal appliqué à la grille EST AMPLIFIÉ 45,8 fois.

Par exemple avec :  $V_e = 0,1 \text{ volt}$  nous avons :

$$V_s = 0,1 \times 45,8 = 4,58 \text{ volts}$$

Supposons maintenant que l'on utilise pour la même triode, qui fonctionne dans les mêmes conditions, une résistance anodique d'une valeur de  $100 \text{ k}\Omega$  : en multipliant encore par cette valeur le coefficient d'amplification, on obtient  $100 \times 100 = 10.000$  et en divisant ce

nombre par celui qu'on a obtenu en ajoutant la résistance anodique à la résistance interne ( $100 + 59 = 159$ ) on détermine le nouveau gain de tension, qui est maintenant  $G = 10.000 : 159 = 62,8$ .

On constate donc que, en augmentant la valeur de la résistance anodique de  $50\text{ k}\Omega$  à  $100\text{ k}\Omega$ , le gain de tension augmente aussi, et passe de  $45,8$  à  $62,8$  : dans ce dernier cas, en appliquant à l'entrée une tension de  $0,1\text{ V}$ , on obtient à la sortie une tension de :

$$0,1 \times 62,8 = 6,28\text{ V.}$$

On ne doit pas croire cependant que l'on peut augmenter le gain tant qu'on le veut, en augmentant simplement la valeur de la résistance anodique.

En effet, en augmentant cette valeur, la chute de tension produite par la résistance augmente aussi, et par conséquent la tension que doit fournir l'alimentation anodique pour maintenir dans chaque cas à la même valeur de  $250\text{ V}$  la tension anodique de repos, augmente également.

Quant au calcul du GAIN EN TENSION pour un montage avec PENTODE, il est un peu plus simple.

Ce gain s'obtient en effet, en multipliant la pente  $S$  du tube par la valeur de la résistance de charge.

Nous avons ainsi :

$$G = S \cdot R_c \text{ (avec } S \text{ en mA/V et } R_c \text{ en k}\Omega\text{)}$$

Exemple :

$$S = 2\text{ mA/V et } R_c = 30\text{ k}\Omega$$

Le gain est donc de :

$$G = S \cdot R_c = 2 \times 30 = 60$$

Nous reprendrons ces calculs plus en détail dans les fascicules formulaire.

### III - LES CLASSES D'AMPLIFICATION

Comme nous venons de le voir, la tension de polarisation  $V_{gk}$  fixe le point de fonctionnement du tube.

Selon le point choisi on classe les amplificateurs en TROIS CATEGORIES :

#### CLASSE A - CLASSE B et CLASSE C

On dit qu'un AMPLIFICATEUR FONCTIONNE en CLASSE A, QUAND LE COURANT ANODIQUE DU TUBE CIRCULE PENDANT TOUTE LA PERIODE DU SIGNAL APPLIQUE A LA GRILLE.

La valeur de ce courant n'est donc jamais nulle.

On dit qu'UN AMPLIFICATEUR FONCTIONNE EN CLASSE B, QUAND LE COURANT ANODIQUE DU TUBE NE CIRCULE QUE PENDANT L'ALTERNANCE POSITIVE DU SIGNAL APPLIQUE A LA GRILLE.

La valeur de ce courant est nulle pendant l'alternance négative du signal d'entrée.

Par exemple, si le signal a une période d'entrée de 1 msec (1 milliseconde = UN MILLIEME DE SECONDE), le courant anodique ne circule que pendant 0,5 msec, et sa valeur est nulle pendant la demi-période négative égale à 0,5 msec également.

On dit qu'un AMPLIFICATEUR FONCTIONNE EN CLASSE C, QUAND LE COURANT ANODIQUE DU TUBE NE CIRCULE QUE PENDANT UNE PARTIE SEULEMENT DE L'ALTERNANCE POSITIVE DU SIGNAL APPLIQUE A LA GRILLE. LA VALEUR DE CE COURANT EST NULLE PENDANT PLUS D'UNE DEMI-PERIODE DU SIGNAL D'ENTREE.

Par exemple, si le signal d'entrée a une période de 1 msec, le courant anodique ne circule que pendant un temps inférieur à 0,5 msec, et sa valeur est nulle pendant un temps supérieur à 0,5 msec.

Les amplificateurs peuvent également fonctionner dans des conditions intermédiaires entre la classe A et la classe B. Dans ce cas, on dit qu'ils fonctionnent en classe AB.

UN AMPLIFICATEUR FONCTIONNE EN CLASSE AB, QUAND LE COURANT ANODIQUE DU TUBE CIRCULE PENDANT MOINS D'UNE PERIODE, MAIS PENDANT PLUS D'UNE DEMI-PERIODE DU SIGNAL APPLIQUE A LA GRILLE. LA VALEUR DE CE COURANT EST NULLE PENDANT MOINS D'UNE DEMI-PERIODE DU SIGNAL D'ENTREE.

Par exemple, si le signal d'entrée a une période de 1 msec, le courant anodique circule pendant un temps inférieur à 1 msec, mais supérieur à 0,5 msec. Sa valeur est nulle pendant un temps inférieur à 0,5 msec.

D'autre part, si dans le mode de fonctionnement choisi, la GRILLE DE COMMANDE sous l'effet du signal d'entrée devient POSI-



TIVE par rapport à la CATHODE, le COURANT DE GRILLE (très faible d'habitude) augmente de façon sensible.

POUR INDiquer L'EXISTENCE DE CE COURANT DE GRILLE QUI N'EST PLUS NEGLIGEABLE, ON ECRIT LE CHIFFRE 2 APRES LA LETTRE DESIGNANT LA CLASSE DE L'AMPLIFICATEUR (le chiffre 1, souvent omis est sous-entendu ; il indique l'absence pratique d'un courant grille appréciable).

Ainsi, quand on dit qu'un amplificateur fonctionne en classe  $B_1$ , cela signifie que la grille de commande ne devient jamais positive par rapport à la cathode (donc absence de courant grille, ou plus précisément courant grille négligeable).

Au contraire, lorsqu'un amplificateur fonctionne en classe  $B_2$ , cela signifie que LA GRILLE DE COMMANDE DEVIENT POSITIVE par rapport à la cathode (donc présence d'un courant grille non négligeable).

En classe A, la grille de commande ne devient jamais positive par rapport à la cathode, et en conséquence, il ne circule aucun courant dans la grille.

En classe C au contraire, la grille de commande devient généralement positive par rapport à la cathode, et un courant circule dans la grille. Là encore toutefois, le chiffre 2 n'est pas mentionné, et reste sous-entendu.

Par contre, pour les amplificateurs qui fonctionnent en classe AB et en CLASSE B, on écrit le chiffre après la dernière lettre. Ces amplificateurs fonctionnent en effet selon les cas, soit sans courant de grille (classe  $AB_1$  et classe  $B_1$ ) soit avec courant de grille (classe  $AB_2$  et classe  $B_2$ ).

Etant donné que les divers types d'amplificateurs diffèrent par le temps de circulation de leur courant anodique, il faut pour chacun d'eux, étudier la variation de ce courant.

Pour cette étude, on utilise la **CARACTERISTIQUE MUTUELLE DYNAMIQUE**, qui permet de déterminer la variation du courant anodique en fonction de la variation de la tension appliquée à l'entrée de l'amplificateur.

### III - 1 - CARACTERISTIQUE MUTUELLE DYNAMIQUE

Lors de la description des différents types de tubes électroniques, on a déjà étudié les caractéristiques mutuelles de ces éléments. Celles-ci indiquent comment varie le courant anodique, lorsque la tension appliquée à la grille de commande varie.

Elles sont appelées **STATIQUES**, car elles sont obtenues avec une tension anodique de valeur constante.

Quand le tube fonctionne dans des conditions normales d'emploi, la tension anodique varie en raison de la présence de la résistance de charge.

Ainsi, pour déterminer la variation du courant anodique en fonction de la variation de la tension de grille, on a recours à la caractéristique mutuelle dynamique.

Cette caractéristique s'obtient graphiquement à partir des caractéristiques anodiques, après avoir tracé la droite de charge relative à la résistance présentée par le circuit anodique du tube.

Sur la figure 4, on voit la façon de procéder pour déterminer graphiquement la caractéristique mutuelle dynamique du tube amplificateur de puissance 6AQ5.

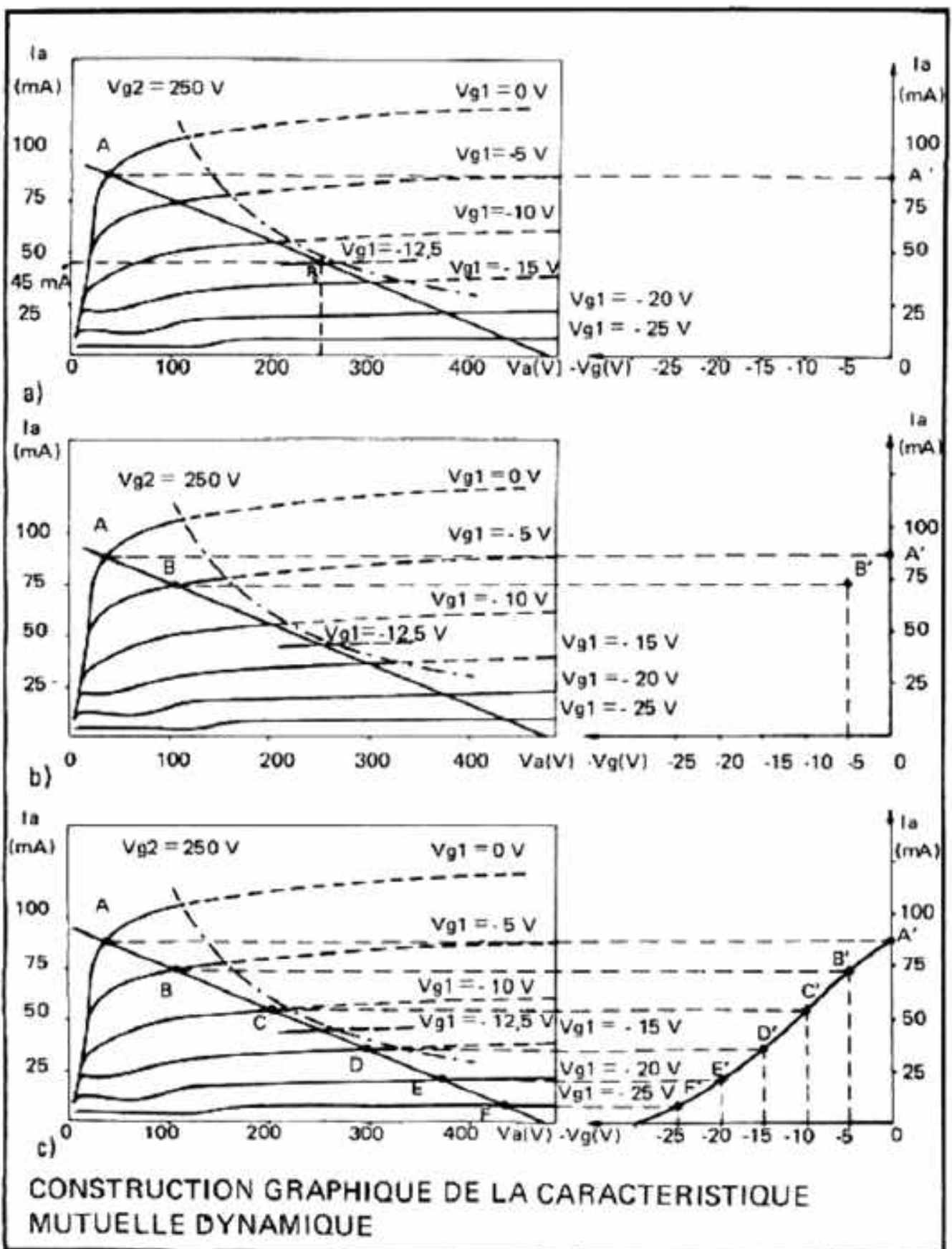


Figure 4

On a d'abord tracé les caractéristiques anodiques, et reporté ensuite sur celles-ci la droite de charge relative à la résistance de charge de  $5\text{ k}\Omega$  de ce tube.

A droite des caractéristiques anodiques, il y a un diagramme cartésien disposé de façon à ce que son axe horizontal soit aligné avec l'axe horizontal du diagramme des caractéristiques anodiques.

Sur l'axe horizontal de ce nouveau diagramme sont reportées les valeurs de la tension de grille, indiquées sur chaque caractéristique anodique.

Sur l'axe vertical sont reportées les mêmes valeurs du courant anodique, indiquées également sur l'axe vertical du diagramme des caractéristiques anodiques. Etant donné que les valeurs de la tension de grille sont négatives, l'axe horizontal est à gauche de l'axe vertical.

Les diagrammes ainsi préparés, on commence à étudier le point indiqué par A sur la figure 4-a, qui se trouve à l'intersection de la droite de charge et de la caractéristique anodique, relative à la tension de grille de 0 volt.

De ce point, on trace une ligne horizontale en pointillé jusqu'à la rencontre au point A' sur l'axe vertical du diagramme de droite.

Le point A' est le premier point de la caractéristique mutuelle dynamique que nous voulons déterminer. A celui-ci, correspond évidemment le même courant anodique que celui du point A, et la même tension de grille.

On étudie ensuite le point B de la figure 4-b, relatif à la tension de grille de  $-5$  volts.

On procède comme pour le point A de façon à obtenir le point B'.

Celui-ci est le deuxième point de la caractéristique mutuelle dynamique.

En répétant cette construction graphique pour les points C - D - E - F, on obtient sur le diagramme de droite, les points correspondants C' - D' - E' et F'.

En unissant tous ces points par une ligne, on détermine l'allure de la caractéristique mutuelle dynamique (voir figure 4-c).

UNE CARACTERISTIQUE MUTUELLE DYNAMIQUE N'EST VALABLE QUE POUR UNE RESISTANCE DE CHARGE DETERMINEE, DE MEME QU'UNE CARACTERISTIQUE MUTUELLE STATIQUE, N'EST VALABLE QUE POUR UNE TENSION ANODIQUE CONSTANTE, DE VALEUR DONNEE.

Voyons maintenant comment utiliser la caractéristique mutuelle dynamique pour déterminer la forme du courant anodique d'un amplificateur de puissance (en connaissant la forme de la tension appliquée à l'entrée).

Le diagramme de la figure 5-a représente la forme de la tension d'entrée appliquée à la grille de commande du tube 6AQ5, et la figure 5-b, la caractéristique mutuelle dynamique de ce tube.

Sur la figure 5-a, la tension d'entrée est indiquée par  $V_g$ , car il s'agit de la composante alternative de grille.

Cette tension a la forme sinusoïdale et sa valeur maximum est de 2,5 volts. La période de cette tension a été divisée en huit parties égales, numérotées de 1 à 8, pour faciliter la construction graphique.

Pour réaliser cette construction, on dispose les diagrammes de la tension d'entrée et de la caractéristique mutuelle, comme on le voit sur la figure 5-c.

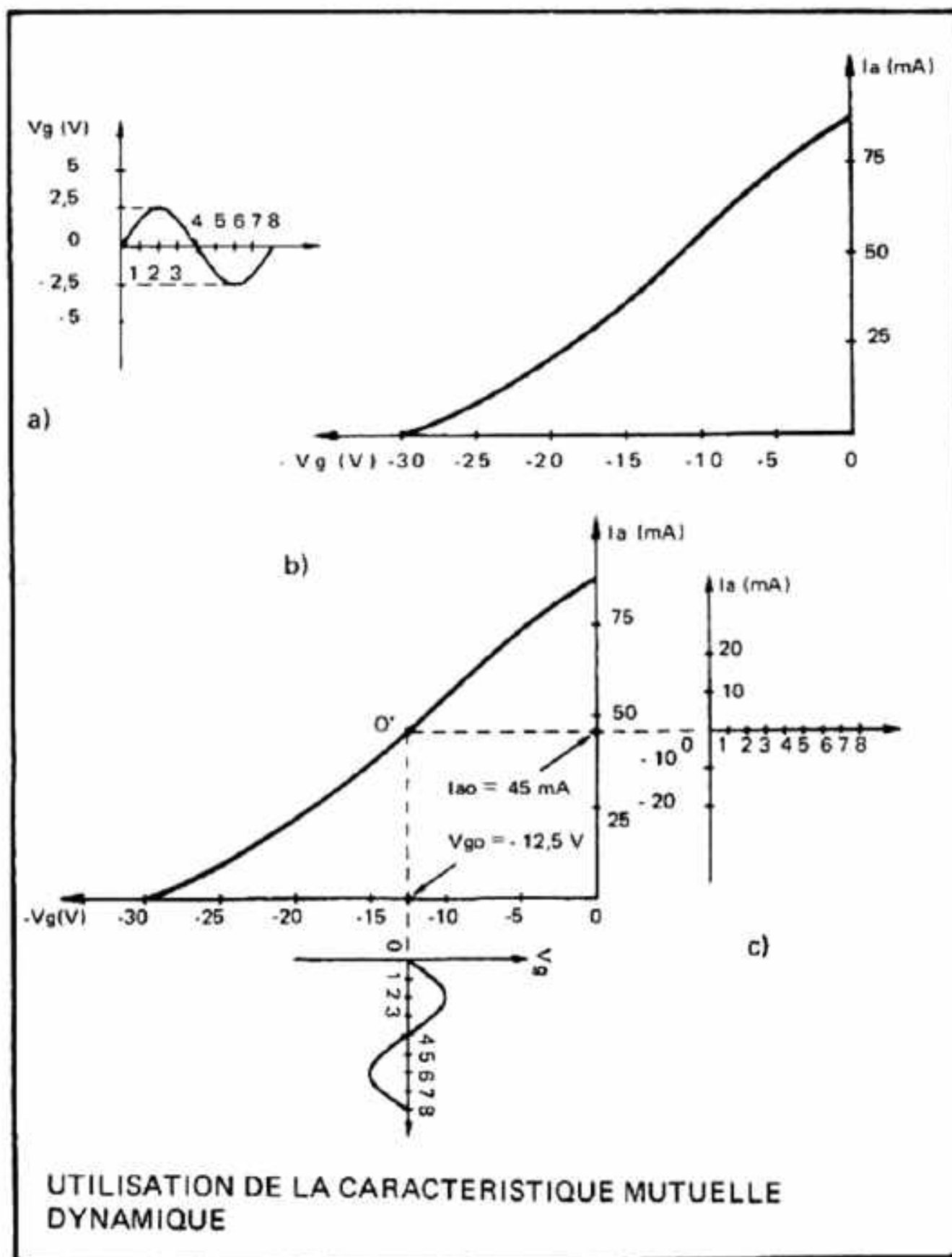


Figure 5



Les axes sur lesquels sont marquées les valeurs de la tension de grille sont parallèles, et la valeur de 0 volt de la tension  $V_g$  doit correspondre à la valeur de la tension de repos de grille  $V_{g0}$ .

Cette valeur est de 12,5 volts, le point  $P_0$  (indiquant sur la figure 4 les conditions de repos du tube) se trouvant sur la caractéristique anodique relative à cette valeur de la tension de grille.

On trace ensuite une ligne verticale en pointillé entre le point 0 volt de la tension  $V_g$  et le point  $O'$  de la caractéristique mutuelle dynamique.

De ce même point  $O'$ , on trace horizontalement vers la droite une nouvelle ligne en pointillé.

Nous notons que cette ligne rencontre l'axe vertical du diagramme, au point où est marquée la valeur de 45 mA du courant anodique de repos  $I_{a0}$ .

Sur la ligne horizontale en pointillé, on a dessiné le diagramme sur lequel sera reportée l'allure de la composante alternative  $i_a$  du courant anodique.

Les valeurs de ce courant sont indiquées sur l'axe vertical du diagramme et l'axe horizontal a été divisé en huit parties égales, comme on l'a déjà fait pour le diagramme de la tension  $V_g$ .

Pour comprendre comment sont marquées sur l'axe vertical du nouveau diagramme, les valeurs de la composante alternative  $i_a$ , on considère que lorsque cette composante prend la valeur de  $-20$  mA, le courant anodique total  $I_a$  doit diminuer de 20 mA (passant donc de la valeur de 45 mA à la valeur de 25 mA).



En correspondance avec la valeur de 25 mA du courant anodique  $i_a$ , on a donc marqué la valeur de  $-20$  mA du courant  $i_a$ .

Après avoir tracé et disposé les diagrammes de la façon indiquée, on peut obtenir la construction graphique de la figure 6.

Du point 1 du diagramme de la tension  $V_g$  (figure 6-a), on trace une ligne horizontale en pointillé jusqu'à l'intersection au point A avec la sinusoïde qui représente la forme de cette tension  $V_g$ .

Du point A, on trace une ligne verticale en pointillé jusqu'à la rencontre au point A' avec la caractéristique mutuelle dynamique. De ce point, on trace vers la droite une ligne horizontale jusqu'à ce qu'on rencontre au point A'', la ligne verticale tracée vers le haut depuis le point 1 du diagramme du courant  $i_a$ .

Le point A'' est le premier de la courbe qui représentera l'allure du courant  $i_a$ .

Sur la figure 6-b, on voit comment on détermine de la même manière un deuxième point de cette courbe en partant du point 2 et en passant par les points B et B' pour atteindre enfin le point B''.

Sur la figure 7-a, on voit la construction complète effectuée en partant des huit points marqués sur le diagramme de la tension  $V_g$ , dont on obtient huit autres points sur le diagramme de courant  $i_a$ .

En réunissant ceux-ci par une ligne, on obtient la courbe qui représente la forme de la composante alternative  $i_a$  du courant anodique.

Cette courbe est une sinusoïde, comme celle qui représente la progression de la composante alternative  $V_g$  de la tension appliquée à la grille.

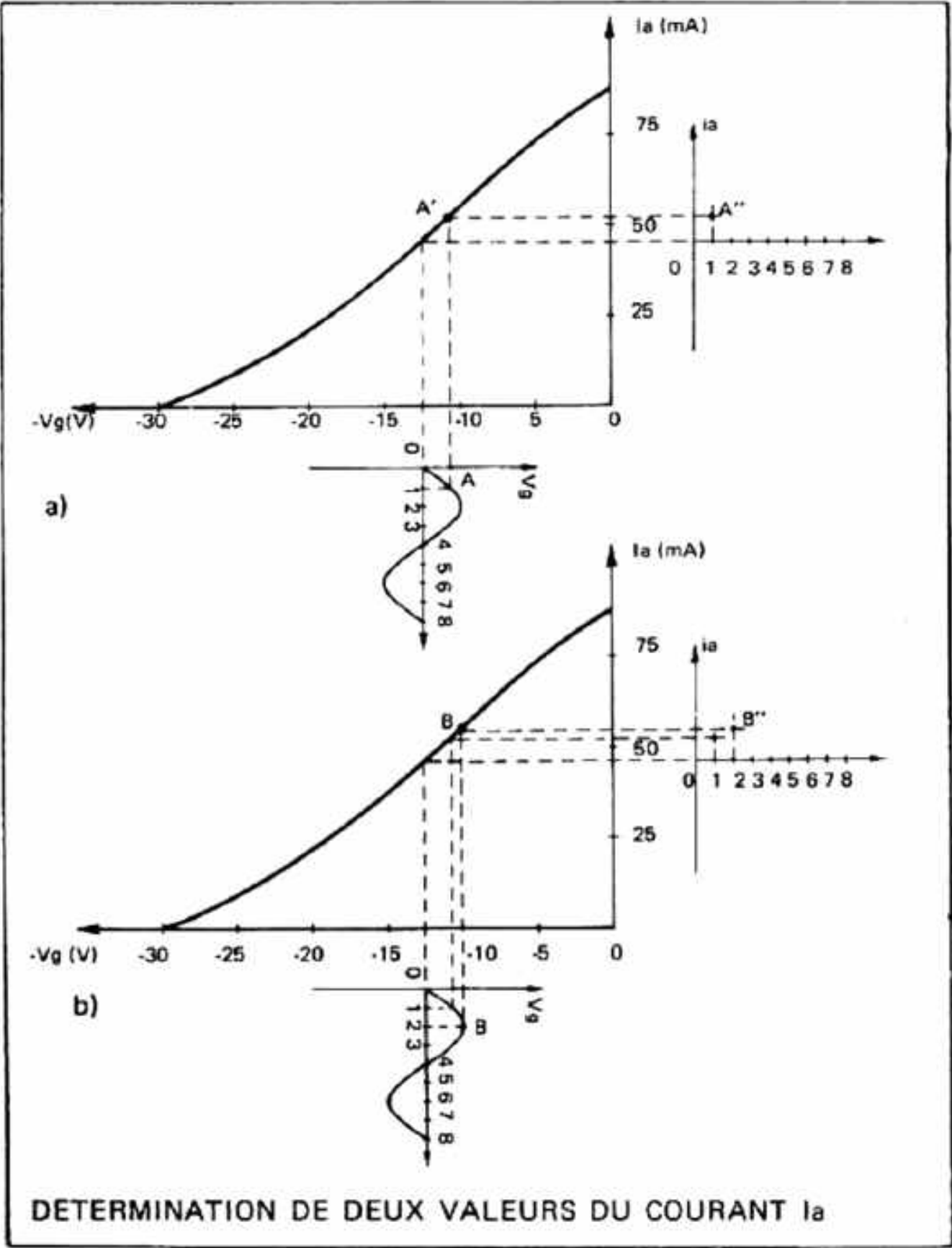


Figure 6

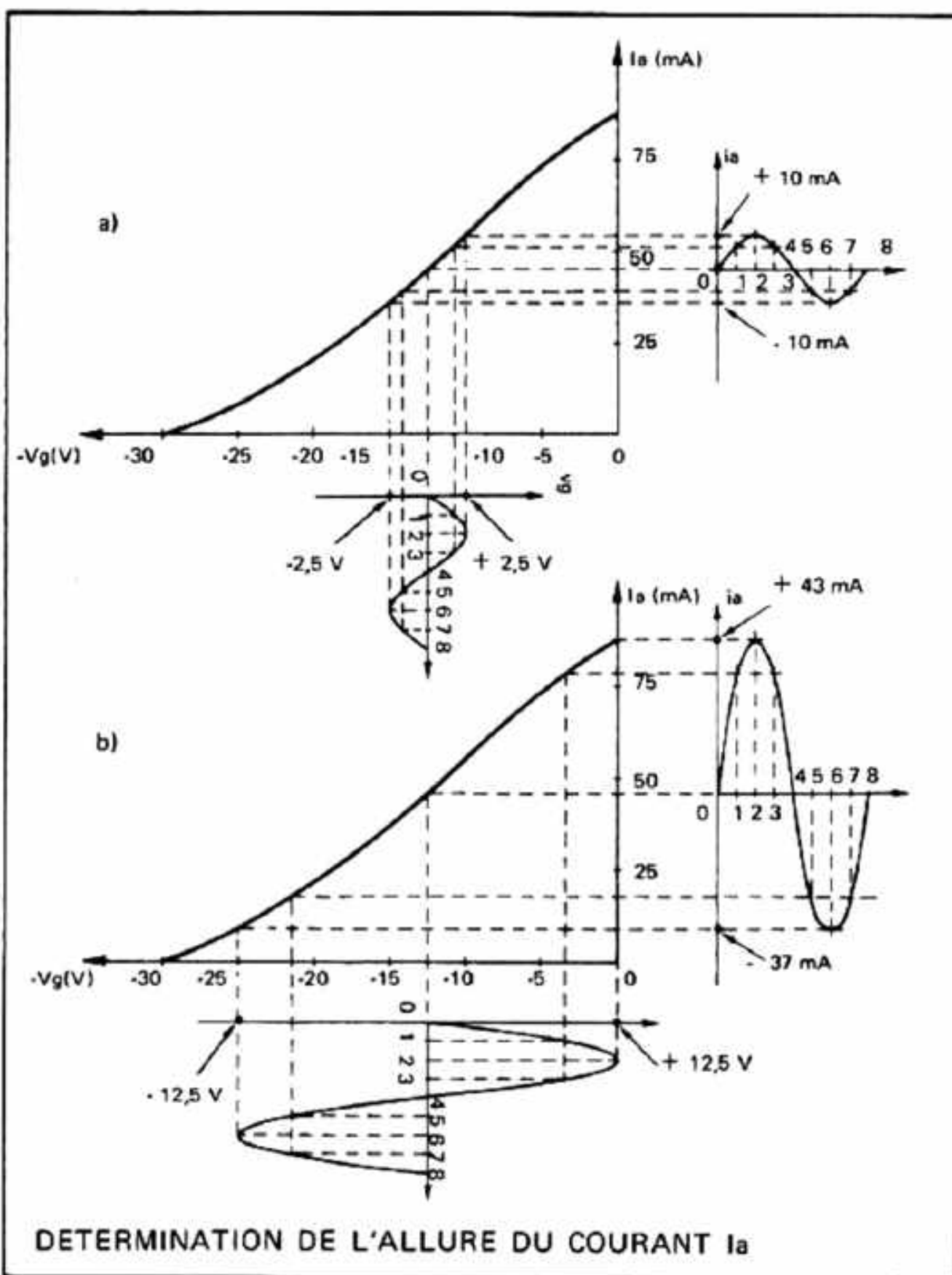


Figure 7

Nous notons que lorsque la tension  $V_g$  varie de 2,5 volts, en plus et en moins, par rapport à la valeur de  $-12,5$  volts, le courant  $i_a$  varie de 10 mA en plus ou en moins, par rapport à la valeur de repos de 45 mA du courant anodique.

Nous retrouvons ainsi les mêmes valeurs maxima du courant  $i_a$  que celles déjà obtenues dans une leçon précédente, d'après les caractéristiques anodiques du tube 6AQ5 (sur lesquelles on avait tracé la droite de charge).

Avec la construction graphique de la figure 7-a, il est possible de pouvoir déterminer rapidement différentes valeurs du courant  $i_a$  et de pouvoir tracer la courbe qui représente sa forme.

Ce tracé est particulièrement utile quand il y a distorsion, car dans ce cas, le courant  $i_a$  n'a plus une allure sinusoïdale.

Sur la figure 7-b, on voit la même construction graphique que sur la figure 4-a, mais la tension  $V_g$  ayant une valeur maximum de 12,5 volts, il en résulte une déformation du courant  $i_a$ .

Il est important d'observer que, lorsque la tension  $V_g$  a une faible amplitude, il n'y a pas de distorsion.

Au contraire, lorsque cette même tension  $V_g$  a une amplitude élevée, la distorsion du courant  $i_a$  est évidente.

En effet, lorsque la tension  $V_g$  a une petite amplitude, elle provoque des variations qui sont comprises dans la PARTIE RECTILIGNE de la caractéristique dynamique.

Quand la tension  $V_g$  a une amplitude importante, elle provoque au contraire des variations qui concernent presque toute la caractéristique mutuelle. Or celle-ci n'est pas rectiligne sur toute sa longueur.

Nous pouvons donc attribuer la présence de la distorsion, à la  
**COURBURE DE LA CARACTERISTIQUE MUTUELLE DYNAMIQUE.**

Ayant vu comment l'on détermine la forme du courant anodique au moyen de la caractéristique mutuelle dynamique, nous sommes en mesure d'utiliser cette même caractéristique pour déterminer l'allure du courant, selon la classe de fonctionnement de l'amplificateur.

Evidemment, dans le cas de la figure 7-a, LE TUBE 6AQ5 FONCTIONNE EN CLASSE A. Nous voyons en effet que le courant circule pendant une période entière, sans jamais prendre la valeur zéro.

On passe de la classe A à la classe AB, puis de la classe B à la classe C en polarisant toujours plus négativement la grille du tube et en augmentant l'amplitude de la tension d'entrée.

Dans les prochains chapitres, nous verrons quelles conséquences découlent de ces faits.

### III - 2 - AMPLIFICATEURS EN CLASSE AB

Pour le moment, étudions encore un amplificateur muni du tube 6AQ5, de façon à pouvoir utiliser de nouveau sa caractéristique mutuelle dynamique déjà déterminée.

Comme on l'a déjà dit, il faut, pour faire fonctionner le tube en classe AB, polariser sa grille plus négativement qu'en classe A.

En effet, le constructeur du tube 6AQ5 indique une tension de polarisation de  $-12,5$  V pour le fonctionnement dans la classe A et une tension de polarisation de  $-15$  V pour le fonctionnement dans la classe AB.

Dans ce cas, il est donc possible d'appliquer au tube une tension  $V_g$  d'une valeur maximum de 15 V sans que sa grille de commande devienne positive.

Pour voir la forme de la composante alternative du courant anodique dans ces conditions, étudions la figure 8.

Le diagramme de la tension  $V_g$  a été disposé de façon à ce que la valeur zéro de cette tension corresponde à la valeur de - 15 volts de la tension de grille.

La période de la tension  $V_g$  a été divisée en douze parties au lieu de huit comme précédemment, pour obtenir un plus grand nombre de points, et pouvoir dessiner avec plus de précision la courbe du courant  $i_a$ .

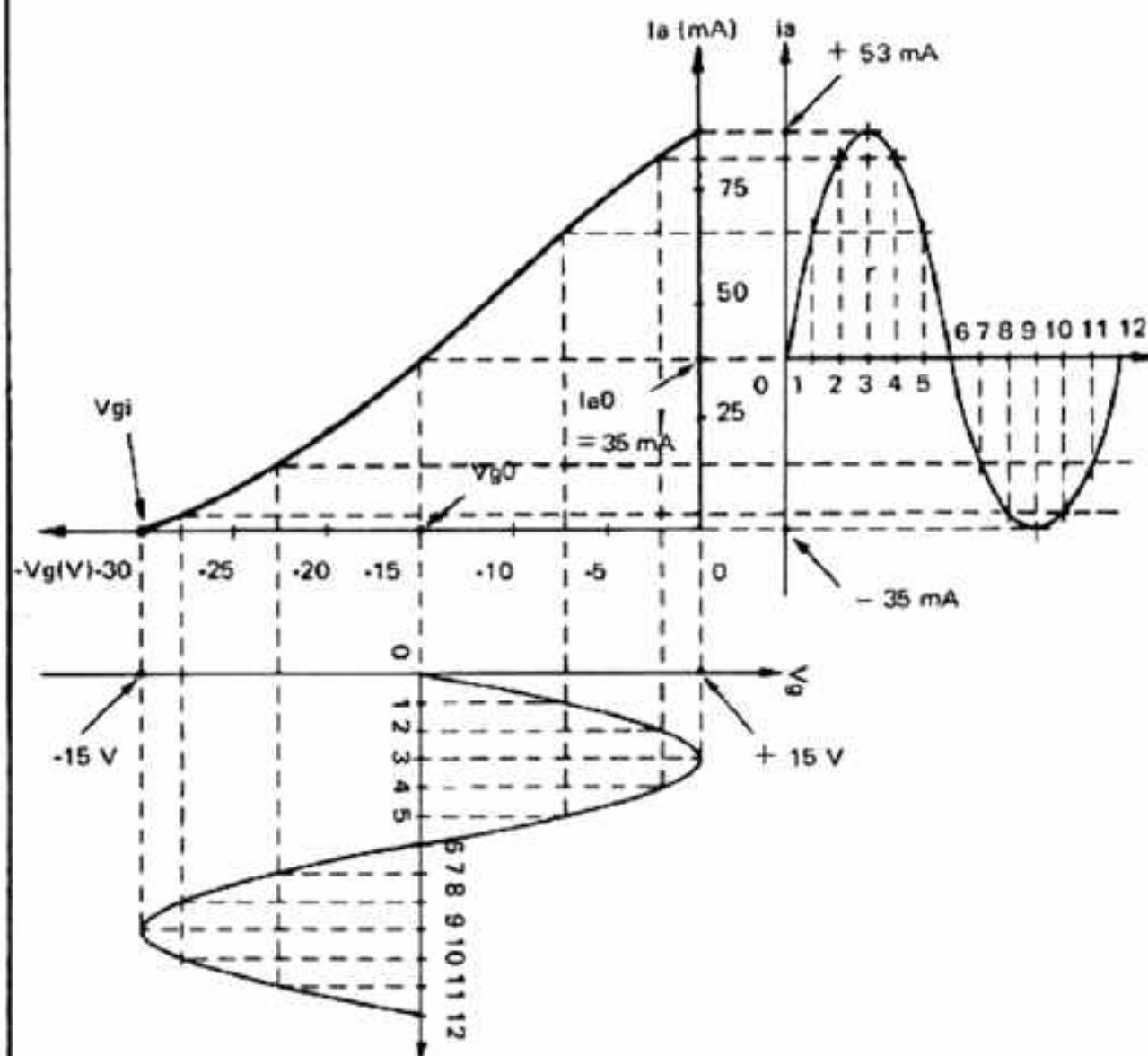
Sur la figure 8, on peut noter que le courant anodique de repos  $i_{a0}$ , a maintenant une valeur de 35 mA seulement. Cette valeur est inférieure de 10 mA à celle de l'amplificateur en classe A qui est de 45 mA.

Il en résulte, que lorsque l'amplificateur est en condition de repos, l'alimentation HT fournit une puissance inférieure à celle qui est nécessaire pour l'amplificateur en classe A.

Nous observons aussi que, lorsque la tension  $V_g$  atteint sa valeur maximum positive de + 15 volts, donc quand la tension de grille est de 0 volt, le courant  $i_a$  prend la valeur maximum positive de + 53 mA.

Le courant anodique total  $i_a$  augmente donc de 53 mA par rapport à sa valeur de repos de 35 mA. Nous avons alors un courant de  $53 + 35 = 88$  mA.

Lorsque la tension  $V_g$  atteint sa valeur maximum négative de - 15 volts, donc quand la tension de grille est de - 30 volts, le courant  $i_a$  prend la valeur maximum négative de - 35 mA. Le courant



COURANT  $I_a$  D'UN TUBE AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE QUI FONCTIONNE EN CLASSE AB1

Figure 8



anodique total  $I_a$  diminue maintenant de 35 mA par rapport à sa valeur de repos. Nous obtenons  $35 - 35 = 0$  mA.

Sur la figure 8, on a indiqué par  $V_{gi}$ , le point où la caractéristique mutuelle dynamique rencontre l'axe horizontal du diagramme.

CE POINT CORRESPOND A LA VALEUR DE LA TENSION DE BLOCAGE (CUT-OFF).

Nous avons vu que lorsque la tension de grille atteint cette valeur, le courant anodique prend la valeur zéro.

Ainsi, le courant anodique étant nul pendant un instant au moins de la période, nous pouvons déjà considérer que l'amplificateur fonctionne en classe AB.

D'autre part, puisque la tension de grille ne devient jamais positive, et qu'il n'y a donc jamais de courant de grille, nous pouvons affirmer qu'il s'agit de la classe AB1.

En comparant la forme de courant  $i_a$  de cet amplificateur avec celle du courant  $i_a$  de l'amplificateur fonctionnant en classe A (figure 7-b), nous voyons que la différence entre la valeur maximum positive et la valeur maximum négative s'est accentuée.

En effet, alors que la valeur maximum positive a augmenté, passant de + 43 mA à + 53 mA, la valeur maximum négative a diminué, passant de - 37 à - 35 mA.

La courbe du signal de sortie est beaucoup moins sinusoïdale par rapport à la courbe du signal d'entrée, que celle obtenue avec l'amplificateur fonctionnant en classe A.

Dans le cas de l'amplificateur fonctionnant en classe  $AB_1$ , la distorsion est tellement importante qu'il n'est pas possible d'employer un seul tube.

Par suite, LES AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE EN CLASSE AB SONT TOUJOURS CONSTITUES PAR DEUX TUBES EN PUSH-PULL.

Nous verrons ce type d'amplificateur, dans la prochaine leçon.

Disons cependant dès maintenant que ce type de montage, permet d'obtenir une PUISSANCE DE SORTIE élevée.

Avec les montages PUSH-PULL, on peut également adopter la classe  $AB_2$  où les grilles des tubes deviennent positives.

Dans ce cas on doit utiliser des tubes spéciaux, construits en tenant compte du fait que la GRILLE DE COMMANDE doit pouvoir dissiper éventuellement une petite puissance.

Pour ces tubes, le constructeur fournit les caractéristiques anodiques pour les tensions positives de grille de commande.

Il est donc ainsi possible de déterminer la caractéristique mutuelle dynamique pour des valeurs positives de la tension de grille.

Sur la figure 9 sont reportées les caractéristiques anodiques du tube 807, obtenues avec des tensions de grille allant jusqu'à + 30 volts.

Le courant  $I_a$  est relativement important, car le potentiel positif de la grille de commande favorise le déplacement des électrons vers l'anode.

Il faut noter également que les valeurs de la tension anodique sont plus élevées que celles des tubes étudiés jusqu'à présent. Il s'agit en effet d'un tube spécialement étudié pour des puissances importantes.

En traçant la droite de charge sur ces caractéristiques, on peut relever la caractéristique mutuelle dynamique, comme on l'a vu précédemment.

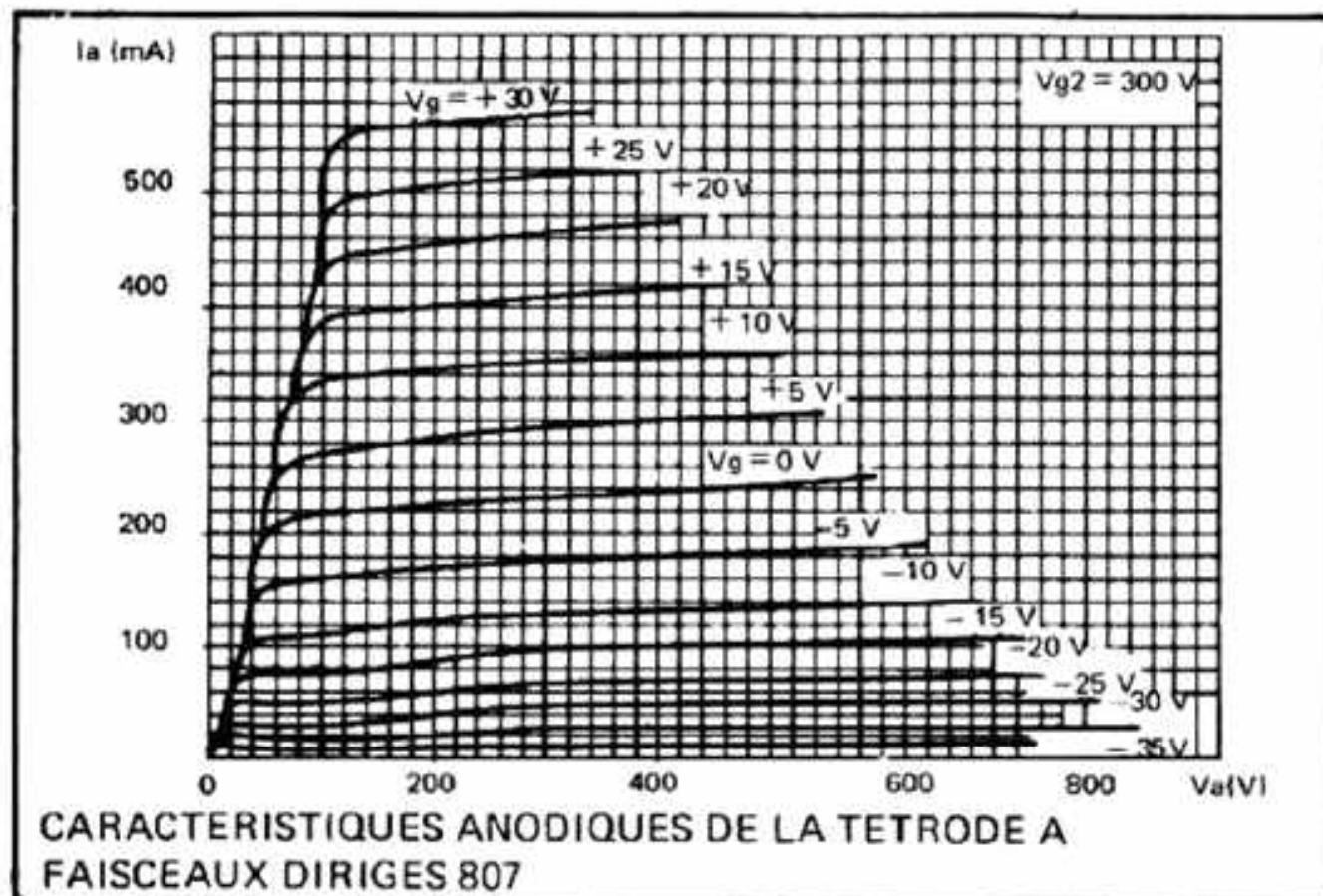
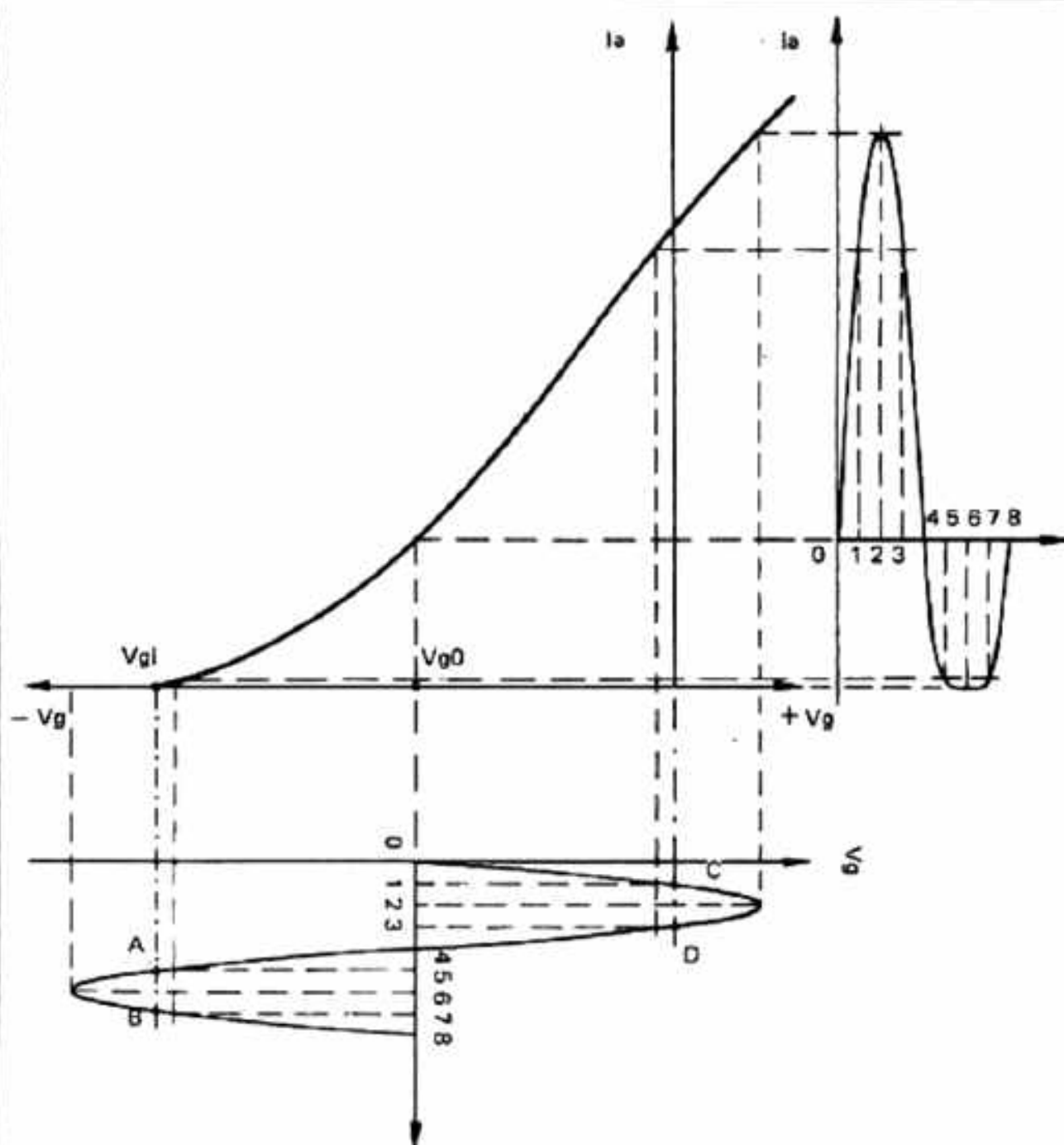


Figure 9

En choisissant judicieusement la résistance de charge, on peut obtenir une caractéristique mutuelle dynamique assez rectiligne, comme c'est le cas figure 10.

On doit remarquer que la tension  $V_g$  atteint une valeur positive (partie située à droite de l'axe vertical) pendant une partie de la période, repérée par les points C - D.



COURANT  $I_a$  FOURNI PAR UN TUBE AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE QUI FONCTIONNE EN CLASSE AB2

Figure 10

D'autre part, la tension  $V_g$  a une amplitude telle que la tension de grille devient très négative. La valeur de la tension de blocage ( $V_{gi}$ ) est atteinte et même dépassée, (rappelons que l'on dit "tension de blocage", "tension d'interdiction" ou encore "CUT-OFF").

Cette valeur d'interdiction est atteinte pendant la partie de la période repérée par les lettres A - B.

Dans ces conditions, c'est-à-dire pendant le temps compris entre les instants A et B, aucun électron ne peut atteindre l'anode et le courant anodique a une valeur nulle.

La composante alternative  $i_a$  du courant anodique, obtenue avec la construction habituelle prend la forme indiquée sur la figure 10.

Elle a une alternance positive d'amplitude importante et une alternance négative d'amplitude beaucoup plus petite, pendant une partie de laquelle le courant anodique a une valeur nulle.

D'après la forme du courant  $i_a$  (diagramme de droite), il est évident que l'amplificateur en classe  $AB_2$  doit comporter deux tubes en montage PUSH-PULL. Un montage avec un seul tube donnerait lieu à une distorsion trop importante.

#### IV - AMPLIFICATEURS DE CLASSES B et C

Jusqu'à présent, on a vu que, en passant de la classe A à la classe  $AB_1$ , et à la classe  $AB_2$ , l'amplitude de l'alternance positive du courant  $i_a$  augmente, tandis que l'amplitude de l'alternance négative se réduit de plus en plus.

Il est tout à fait possible d'éliminer complètement l'alternance négative du courant  $i_a$ , en faisant fonctionner l'amplificateur en classe B.

Dans le cas d'un amplificateur en classe  $B_2$ , polarisé avec une tension  $V_{g0}$  égale à la tension d'interdiction  $V_{gi}$  (voir figure 11), on n'aura un courant anodique que pendant l'alternance positive de la tension  $V_g$ .

Le courant sera nul pendant toute l'alternance négative.

Il est intéressant de noter que, puisque la tension de polarisation est égale à la tension de blocage, le courant anodique est nul dans les conditions de repos.

**CONCLUSION : DANS UN AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE EN CLASSE B LE COURANT ANODIQUE NE PEUT CIRCULER QUE SI UN SIGNAL EST APPLIQUE A L'ENTREE.**

Par suite de l'absence du courant anodique de repos, il n'est pas possible d'utiliser la polarisation automatique de grille.

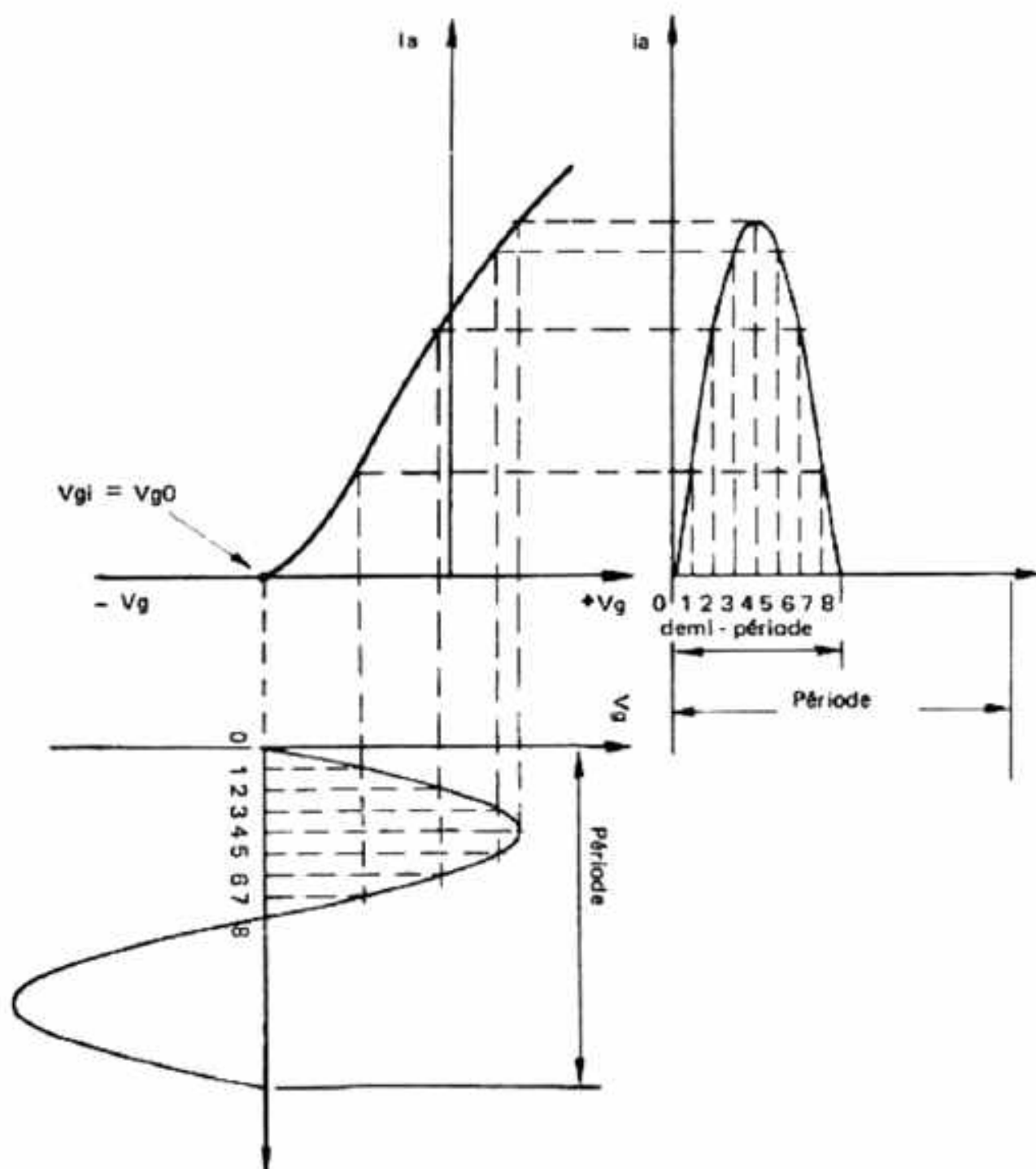
Dans ce cas, il faut avoir recours à la **POLARISATION FIXE**.

L'allure du courant  $i_a$  est constituée par une seule alternance.

Ainsi, pour obtenir en sortie, la même forme de signal que celui appliqué à l'entrée, il faut utiliser deux tubes en montage symétrique (**PUSH-PULL**).

Ces deux tubes fourniront en effet deux courants  $i_a'$  et  $i_a''$  ayant l'allure indiquée figure 12, comme nous le verrons dans la prochaine leçon.

Etudions enfin le comportement d'un tube fonctionnant en classe C.



COURANT  $I_a$  D'UN TUBE AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE  
FONCTIONNANT EN CLASSE B2

Figure 11



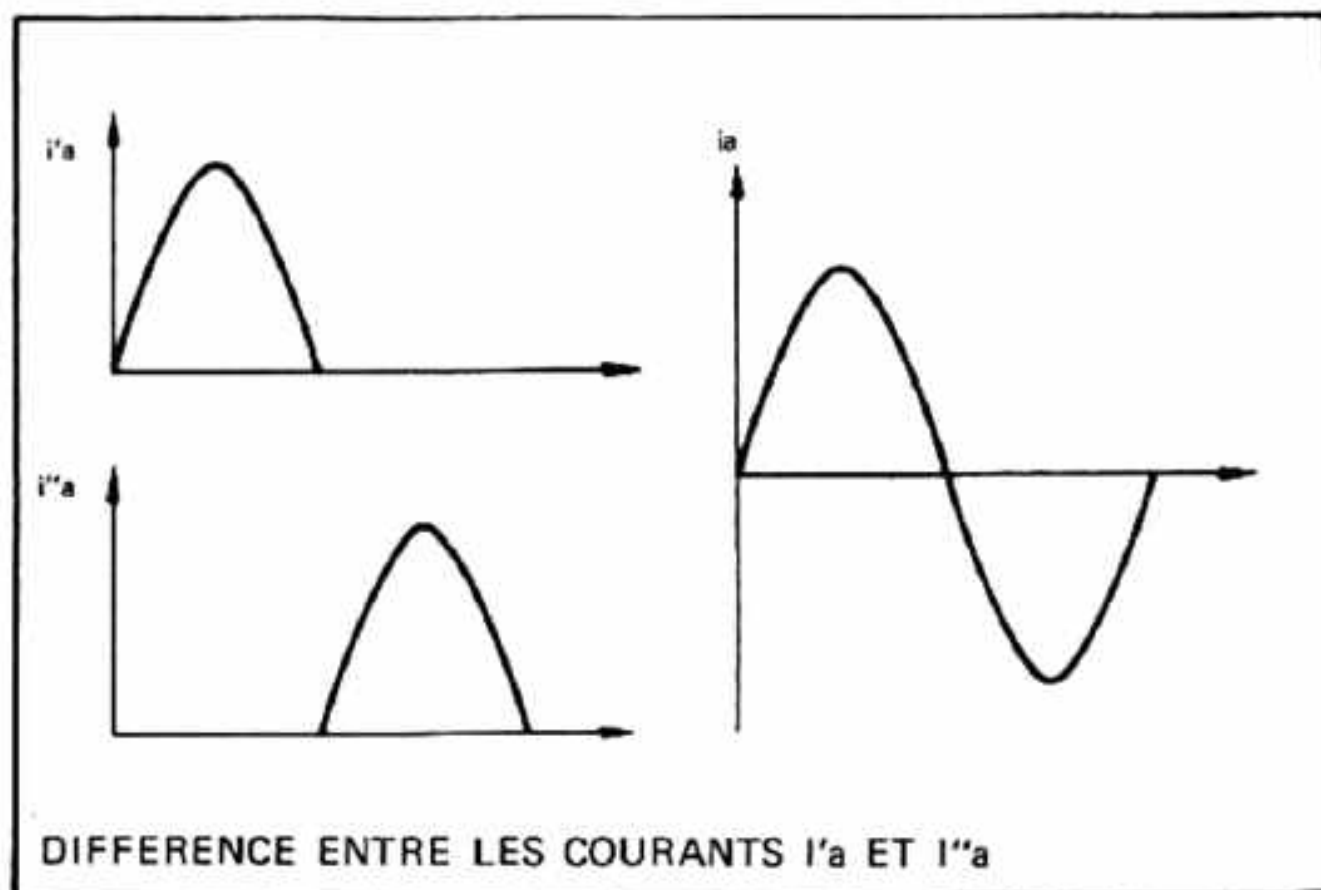


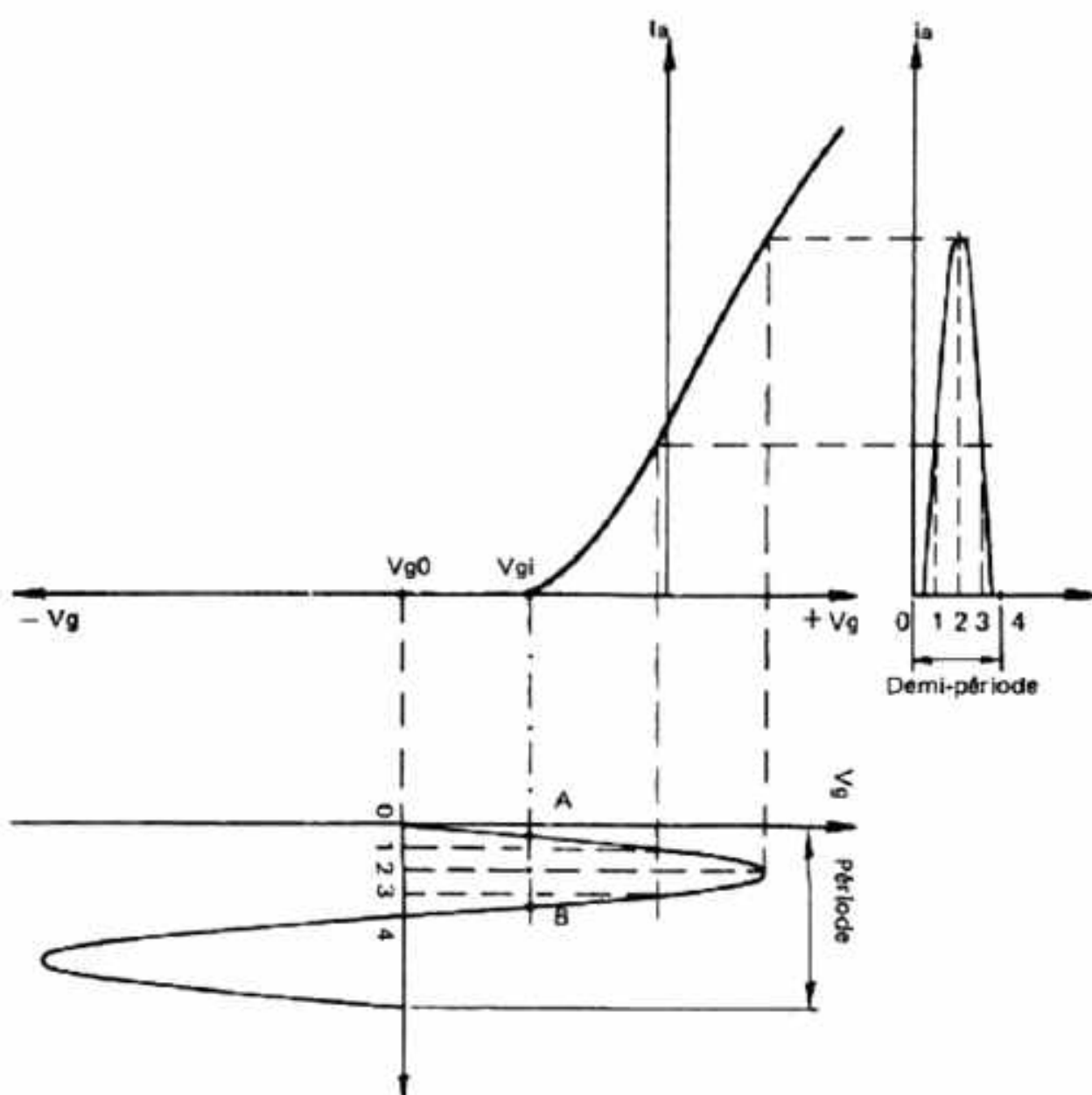
Figure 12

Dans ce type de montage, le tube est polarisé de façon à ce que la tension de grille  $V_{g0}$  soit plus négative que la tension d'interdiction  $V_{gi}$  (voir figure 13).

Le courant anodique ne circule que pendant un temps inférieur à une alternance.

Sur la figure 13 on voit que le courant ne peut circuler qu'entre les instants compris entre A et B (alternance positive de la tension d'entrée).

Le courant  $i_a$  prend ainsi l'allure reportée sur la figure, c'est-à-dire qu'il se présente comme une **POINTE DE COURANT**.



COURANT  $I_a$  FOURNI PAR UN TUBE AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE QUI FONCTIONNE EN CLASSE C

Figure 13

Il est évident que cet amplificateur ne peut pas être utilisé en BF, même en adoptant un montage push-pull.

En effet, en effectuant la différence entre les courants  $i_a'$  et  $i_a''$  des deux tubes, on obtient le courant  $i_a$  dont la forme est illustrée figure 14.

Cette forme est différente de celle de la tension  $V_g$  appliquée à l'entrée.

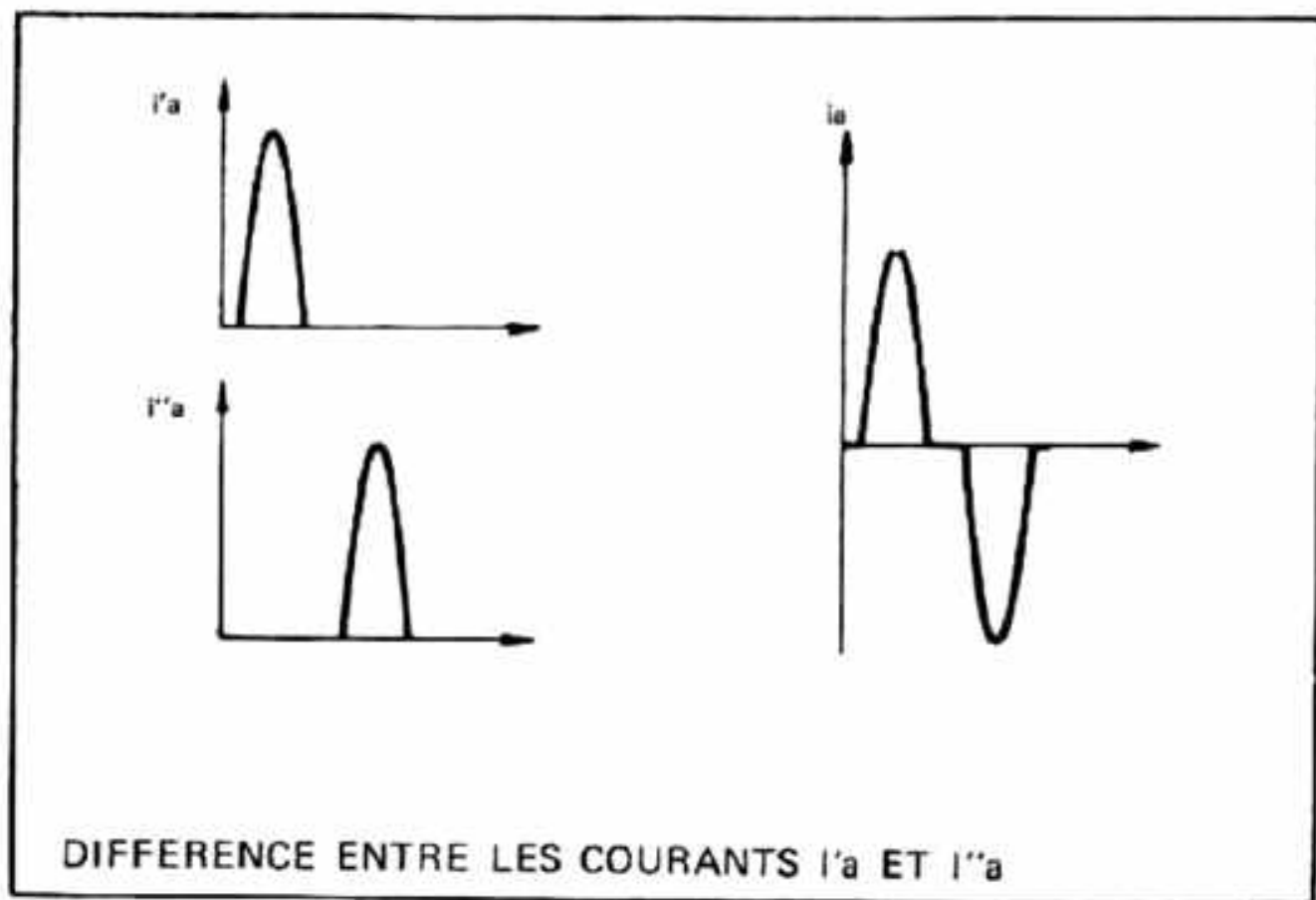


Figure 14

Aussi, on n'utilise les amplificateurs en classe C que dans les bandes HF (hautes fréquences) et en particulier pour tous les montages OSCILLATEURS que nous verrons dans les prochaines leçons.

Pour résumer cette leçon, nous pouvons dire que dans le domaine de la reproduction BF, on trouve des amplificateurs qui fonctionnent en classe A - AB<sub>1</sub> et AB<sub>2</sub>.

Pour les montages du premier type (a), il est possible d'employer soit un seul tube, soit deux tubes en push-pull.

Pour les montages des deux autres types (AB<sub>1</sub> et AB<sub>2</sub>), il faut toujours utiliser deux tubes en push-pull.

Quant aux montages en classe C, ils sont uniquement destinés à l'amplification HF.

## V - MESURE DES GAINS

Les caractéristiques définissant un système amplificateur sont multiples, mais le GAIN, c'est-à-dire le rapport entre le signal de sortie et celui d'entrée, est l'une des données les plus importantes.

On peut bien entendu avoir une AMPLIFICATION DE TENSION ou une AMPLIFICATION DE COURANT.

La puissance étant donnée par le produit de la tension par le courant ( $P = UI$ ), dans les deux cas, on aura une amplification en puissance.

Si on amplifie la tension et le courant, on parlera d'AMPLIFICATION DE PUISSANCE.

L'amplification étant un RAPPORT DE TENSION ou de COURANTS, ne se mesure ni en volt ni en ampère. On l'exprime par un nombre pur.

Ainsi, par exemple si un amplificateur a un gain de 150, cela signifie qu'une tension (supposons de 1 V) appliquée à l'entrée, aura pour valeur en sortie :

$$150 \times 1 = 150 \text{ volts}$$

Très souvent, le gain n'est pas calculé directement comme un rapport entre les valeurs de tension ou de courant d'entrée et de sortie, mais par un système mathématique plus compliqué.

Dans ce dernier cas, le gain est exprimé en DECIBEL.

Comme nous l'avons dit, le rapport entre la grandeur électrique de sortie et la grandeur électrique d'entrée, désigne l'AMPLIFICATION (dans le langage courant, on emploie souvent le mot gain, mais il est préférable de parler d'amplification plutôt que de gain, car, normalement, celui-ci doit être exprimé en décibel).

Nous avons alors une amplification de tension  $A_v$  et une amplification de courant  $A_i$  :

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} \quad \text{et} \quad A_i = \frac{I_s}{I_e}$$

et une amplification de puissance :

$$A_p = \frac{P_s}{P_e} = \frac{V_s \times I_s}{V_e \times I_e}$$

Dans tous les cas, le COEFFICIENT d'amplification dépend du rapport des grandeurs électriques, de manière linéaire.

On doit toutefois tenir compte du fait que les sens humain NE FOURNISSENT PAS DE SENSATIONS PROPORTIONNELLES A LA CAUSE QUI LES PRODUIT.

Ainsi, en doublant la puissance d'un son, l'oreille perçoit une certaine augmentation sonore, mais non le double de la précédente.

Il est donc logique d'adopter le même principe pour les PUISSANCES ELECTRIQUES ou pour des TENSIONS ELECTRIQUES. C'est pour cette raison que le gain est mesuré en décibel, unité de mesure de type logarithmique, tenant compte des propriétés de l'oreille humaine.

L'avantage de ce système est que le nombre exprimant l'unité est tout simplement le logarithme à base 10 (ou vulgaire) du rapport des puissances.

Les logarithmes sont des nombres liés au concept arithmétique de "puissance".

La "puissance" n'est qu'une "multiplication concentrée".

En effet au lieu d'écrire  $10 \times 10 \times 10$ , par exemple, on écrit  $10^3$ .

Ce terme se lit "10 puissance 3" ou "10 au cube", 10 étant la base et 3 l'exposant.

On peut étendre le concept de puissance en employant des nombres négatifs ou des nombres décimaux comme exposant :

Exemple :  $10^{-3}$  ;  $10^{0,5}$  ;  $10^{1,41}$  etc...

Le résultat de ces élévations à la puissance, est comme on peut le voir sur des tables spéciales : 0,001 ; 3,162 ; 25,70.

En d'autres termes, le logarithme d'un nombre est le nombre auquel on doit élever 10, pour obtenir la valeur dont on veut le logarithme ;

Exemple : logarithme de 1000 ( $\log 1000$ ) = 3.

En effet, pour obtenir 1000, il faut élever 10 à la puissance 3 ( $1000 = 10^3$ ).

Si l'on revient aux décibels, on peut maintenant définir cette unité de mesure du gain, avec la formule :

$$G \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_s}{P_e}$$

L'unité a été appelée BEL. Comme cette unité était trop grande pour la pratique, on a pris le dixième du Bel ou Décibel (dB). Ceci explique l'apparition du nombre 10 dans la formule du gain en décibels.

Si  $P_e$  est la puissance à l'entrée d'un amplificateur, supposons par exemple 10 mW et que  $P_s$  est la puissance à la sortie, soit 2 W, le gain en décibels est :

$$G \text{ (dB)} = 10 \log \frac{2}{10 \times 10^{-3}} = 10 \log \frac{2000}{10} = 10 \log 200$$

On cherche dans une TABLE DE LOGARITHMES (que vous pouvez vous procurer dans toutes les librairies techniques) le logarithme de 200 :

$$\log 200 = 2,3$$

$$G \text{ (dB)} = 10 \times 2,3 = 23 \text{ dB}$$

Jusqu'à maintenant, nous avons parlé du gain en décibels, en fonction des puissances d'entrée et de sortie. Il est aussi intéressant de calculer ce gain directement en fonction des tensions d'entrée et de sortie.

Vous vous rappelez certainement que la puissance est égale au produit de la tension par le courant ( $P = U \times I$ ). Si nous remplaçons  $I$  par



la valeur  $U/R$  tirée de la loi d'Ohm, nous obtenons :

$$P = U \times \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

Nous pouvons donc exprimer les puissances d'entrée et de sortie du tube amplificateur en fonction des tensions et des résistances :

$$P_s = \frac{V_s^2}{R_s} \text{ et } P_e = \frac{V_e^2}{R_e}$$

$R_s$  représente l'impédance de sortie du tube, c'est-à-dire approximativement la charge anodique et  $R_e$  l'impédance d'entrée qui est une combinaison entre la résistance de grille et les capacités parasites du tube.

Le gain peut donc s'écrire :

$$G \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_s}{P_e} = 10 \log \frac{\frac{V_s^2}{R_s}}{\frac{V_e^2}{R_e}} = 10 \log \frac{V_s^2 \times R_e}{V_e^2 \times R_s}$$

La dernière expression se décompose en deux logarithmes :

$$G \text{ (dB)} = 10 \log \left( \frac{V_s}{V_e} \right)^2 + 10 \log \frac{R_e}{R_s}$$

Le premier terme  $10 \log \left( \frac{V_s}{V_e} \right)^2$  peut s'écrire sous la forme :

$$20 \times \log \frac{V_s}{V_e}. \text{ Le gain devient :}$$

$$G \text{ (dB)} = 20 \log \frac{V_s}{V_e} + 10 \log \frac{R_e}{R_s}$$

Prenons un exemple. Supposons que la puissance  $P_e$  à l'entrée soit toujours de 10 mW et qu'elle soit dissipée aux bornes d'une impédance d'entrée de 1 M $\Omega$ .

La tension à l'entrée est donc :

$$V_e = \sqrt{P_e \times R_e} = \sqrt{10 \times 10^{-3} \times 10^6} = \sqrt{10000} = 100 \text{ V}$$

A la sortie de l'amplificateur, la puissance est de 2 W aux bornes d'une résistance de  $2 \Omega$ . La tension  $V_s$  est donc :

$$V_s = \sqrt{P_s \times R_s} = \sqrt{2 \times 2} = 2 \text{ V}$$

Le gain de l'amplificateur est :

$$G \text{ (dB)} = 20 \log \frac{V_s}{V_e} + 10 \log \frac{R_e}{R_s}$$

$$G \text{ (dB)} = 20 \log \frac{2}{100} + 10 \log \frac{10^6}{2}$$

La table de logarithme nous donne :

$$\log \frac{2}{100} = -1,7 ; \log \frac{10^6}{2} = 5,7$$

$$G \text{ (dB)} = 20 \times -1,7 + 10 \times 5,7$$

$G \text{ (dB)} = -34 + 57 = 23 \text{ dB}$ , ce que nous avons trouvé précédemment.

Comme vous le voyez, il faut tenir compte des résistances d'entrée et de sortie de l'amplificateur, sinon le calcul est faux.

En effet, si nous ignorons  $R_e$  et  $R_s$  dans notre exemple, nous obtenons un gain de  $-34 \text{ dB}$  ce qui correspond à une atténuation du signal.

Par contre si les résistances  $R_s$  et  $R_e$  sont égales, le terme  $10 \log$  de  $R_e/R_s$  devient nul et on peut l'éliminer (en effet  $R_e/R_s = 1$  et le logarithme de 1 est égal à 0).

Nous avons donc, lorsque  $R_s = R_e$  :

$$G \text{ (dB)} = 20 \log \frac{V_s}{V_e}$$

Exemple :  $P_s = 20 \text{ W}$  ;  $P_e = 2 \text{ W}$  et  $R_1 = R_2 = 2 \Omega$ ,

$$G = 10 \log \frac{P_s}{P_e} = 10 \log \frac{20}{2} = 10 \log 10 = 10 \text{ dB},$$

Cherchons à obtenir le gain à partir de la formule :

$$G = 20 \log V_s/V_e.$$

Calculons  $V_s$  et  $V_e$  :

$$V_s = \sqrt{P_s \times R_s} = \sqrt{20 \times 2} = \sqrt{40} = 6,3 \text{ V}$$

$$V_e = \sqrt{P_e \times R_e} = \sqrt{2 \times 2} = \sqrt{4} = 2 \text{ V}$$

$$G \text{ (dB)} = 20 \log \frac{6,3}{2}$$

$$\log \frac{6,3}{2} = 0,5 ; \text{ d'où le gain :}$$

$$G \text{ (dB)} = 20 \times 0,5 = 10 \text{ dB}.$$

Nous obtenons bien le même résultat.

Précisons maintenant deux propriétés très importantes des décibels :

1) Dans le cas de deux amplificateurs RELIES EN SERIE (on dit aussi EN CASCADE). l'amplification totale, EXPRIMEE COMME UN

RAPPORT, EST EGALE AU PRODUIT DES DEUX AMPLIFICATIONS. LE GAIN EXPRIME EN DECIBELS EST EGAL A LA SOMME DES GAINS DE CHAQUE ETAGE.

Exemple : soit deux amplificateurs dont chaque coefficient d'amplification est de 100 (40 dB) et 1000 (60 dB) reliés en série, l'amplification est de :

$$100 \times 1000 = 100.000 \text{ fois.}$$

Le gain est égal à :

$$40 + 60 = 100 \text{ dB}$$

Cette règle est valable quel que soit le nombre d'amplificateurs reliés en série.

2) Certains circuits non seulement n'amplifient pas, mais atténuent le signal d'entrée.

La tension de sortie  $V_s$  est donc inférieure à la tension d'entrée  $V_e$ .

Le rapport  $V_s/V_e$  est donc inférieur à 1.

Si le gain est exprimé en décibels, on a alors un nombre négatif.

Pour l'obtenir, il suffit d'inverser le rapport et de changer le signe.

Par exemple, si un circuit atténue 10 fois, c'est-à-dire si l'on a :

$$A = 0,1 = \frac{1}{10} ; \text{ en inversant on obtient } \frac{10}{1} = 10$$

auquel correspond un gain (si les résistances  $R_s$  et  $R_e$  sont égales) de :

$$G = 20 \log 10 = 20 \text{ dB}$$

En changeant le signe, on obtient comme résultat final, une **ATTENUATION DE  $-20 \text{ dB}$** .

L'emploi des décibels pour indiquer le gain, répond non seulement à des critères de rationalité, mais aussi de simplicité.

## VI - BANDE PASSANTE (LARGEUR DE BANDE)

Généralement, les signaux à amplifier sont composés d'ondes de fréquences différentes et donc, pour les reproduire sans les altérer, il est nécessaire d'amplifier toutes les fréquences.

Il est donc intéressant de connaître comment varie le gain de l'amplificateur quand la fréquence de la tension à amplifier varie.

Pour cela, on applique à l'entrée des tensions de valeur égale, mais de fréquence différente et on mesure pour chacune d'elles la tension que l'on obtient en sortie. On en déduit ensuite le gain.

Pour avoir une vue complète du comportement de l'amplificateur, on reporte les résultats obtenus sur un diagramme du type de celui de la figure 15 on obtient ainsi la **COURBE DE REPONSE** de l'amplificateur.

Sur l'axe horizontal du diagramme sont indiquées les fréquences du signal comprises entre 0 et 20.000 Hz. Puisque le champ de ces fréquences est très étendu, on a adopté une échelle logarithmique pour pouvoir représenter toutes les valeurs dans un espace réduit.

Sur l'axe vertical, sont reportées les indications relatives au gain. Les nombres correspondant à cet axe n'indiquent pas le gain mais les pourcentages par rapport au gain maximum de l'amplificateur, qu'on a considéré comme étant égal à 100%.

Considérons la fréquence de 100 Hz qui sur le diagramme est indiquée par F1 : en face de celle-ci on lit 70 ce qui signifie que pour une tension de fréquence 100 Hz, l'amplificateur fournit un gain qui n'est que les 70% du gain maximum.

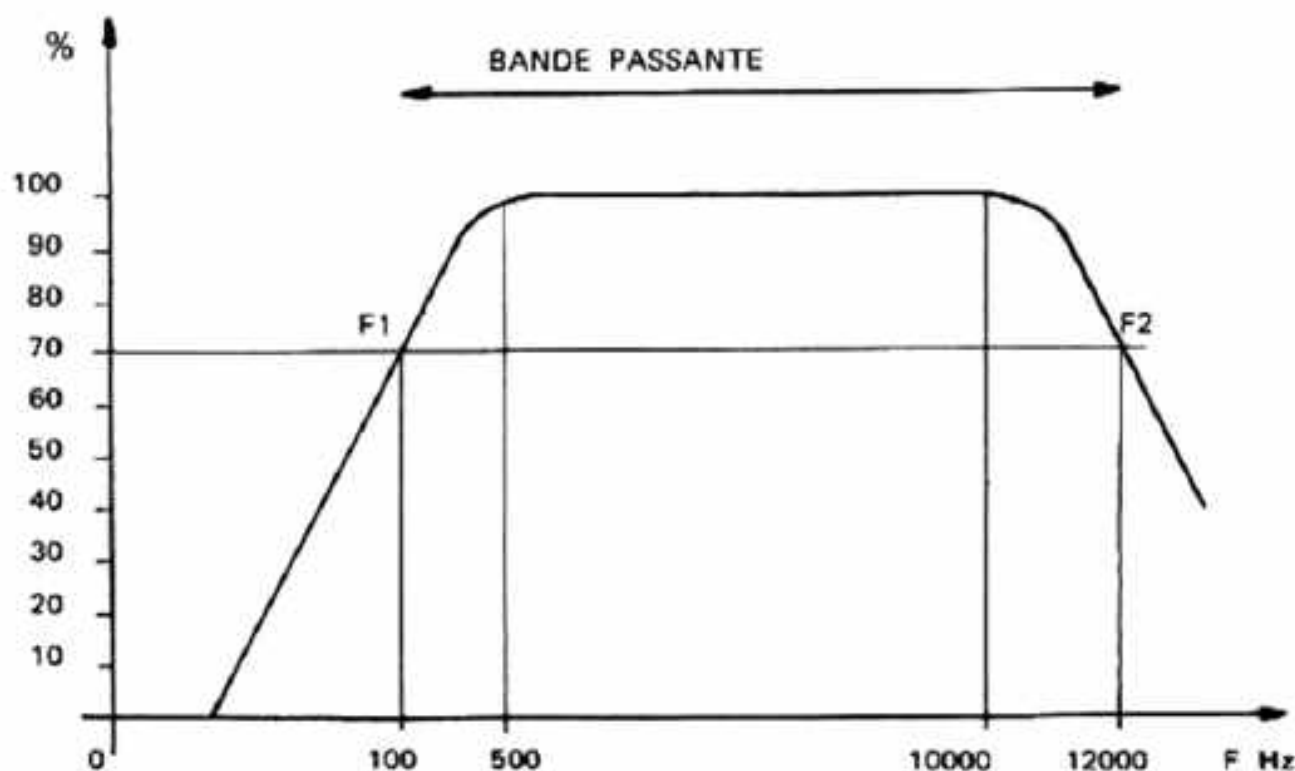


Figure 15

Comme il s'agit d'une fréquence assez basse l'atténuation est due aux condensateurs de liaisons qui ne présentent plus des impédances négligeables.

De même, pour la fréquence de 12.000 Hz, indiquée sur le diagramme par F2, le gain vaut à peine 70% du gain maximum. Dans ce cas, comme il s'agit d'une fréquence élevée, cette diminution est à attribuer aux condensateurs Cak et Cgk, qui se trouvent entre la sortie du premier étage et la masse et l'entrée du second étage et la masse.

Pour toutes les fréquences comprises entre F1 et F2, le gain est supérieur à 70% et pour de nombreuses fréquences il est égal à 100%.

Les fréquences F1 et F2, pour lesquelles le gain se réduit à 70%, sont appelées FREQUENCES DE COUPURE.

La fréquence F1 est appelée plus précisément fréquence de coupure inférieure, tandis que la fréquence F2 est appelée fréquence de coupure supérieure.

L'ensemble des fréquences comprises entre les fréquences de coupure constitue la BANDE PASSANTE de l'amplificateur.

Les fréquences de coupure sont obtenues lorsque le gain a diminué de 30%. Cette diminution correspond à une atténuation de 3 décibels.

Quelques courbes typiques de bande passante ont été reproduites Figure 16.

Le graphique 16-a montre le cas d'un amplificateur avec une bande relativement large, (convenant parfaitement bien pour la reproduction BF (sonorisation)).

Au contraire, celui de la figure 16-b correspond à un amplificateur accordé avec bande passante étroite.



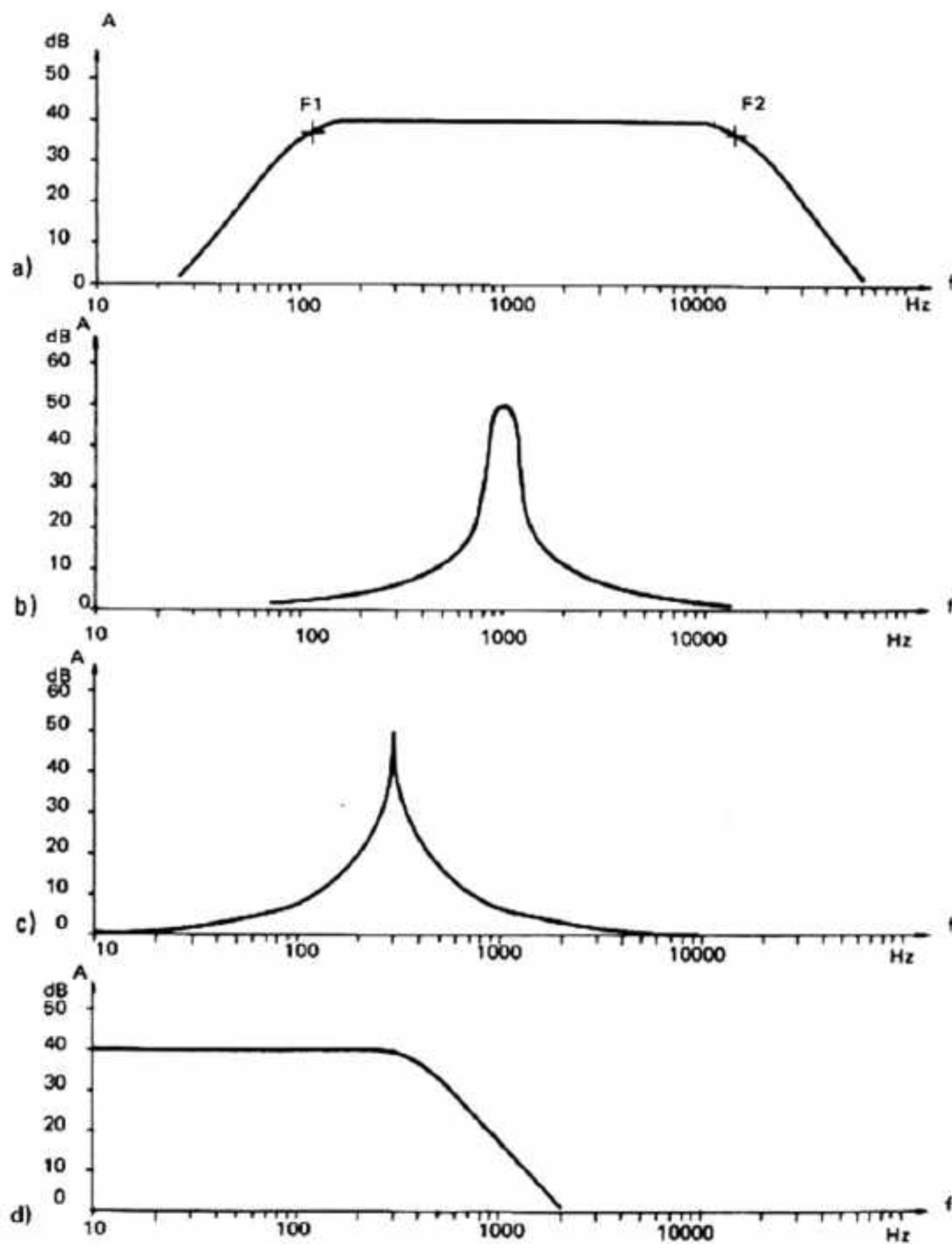


Figure 16

Il en est de même pour la figure 16-e, mais dans ce cas, la bande est encore plus étroite que dans l'exemple précédent.

Enfin, le graphique de la figure 16-d concerne un amplificateur avec bande assez étroite, mais capable d'amplifier des tensions de fréquences très basses ou même nulles, c'est-à-dire capables d'amplifier des tensions continues.

Ce type d'amplificateur souvent désigné par le sigle DC (de l'anglais DIRECT COMPLING = couplage direct), est utilisé presque exclusivement en électronique industrielle (les signaux auditifs en radio et visuels en télévision ne nécessitant pas de composante continue).

Nous verrons dans la leçon théorique 19 les éléments, qui dans un amplificateur, influent sur la largeur de bande.

\*\*\*\*\*

## NOTIONS A RETENIR

- Le GAIN EN TENSION d'une TRIODE se calcule à l'aide de la formule :

$$G = \frac{\mu \cdot R_c}{R_c + \rho} \text{ avec}$$

$R_c$  = Résistance de charge en  $k\Omega$

$\rho$  = Résistance interne en  $k\Omega$

REMARQUE : cette formule donne comme résultat un nombre pur. Le terme de GAIN, bien que couramment employé est donc impropre, un GAIN devant être exprimé en décibels.

- Le GAIN EN TENSION d'une PENTODE se calcule à l'aide de la formule :

$$G = S \cdot R_c \text{ avec}$$

$S$  = Pente en mA/V et

$R_c$  = Résistance de charge en  $k\Omega$

La remarque précédente reste valable.

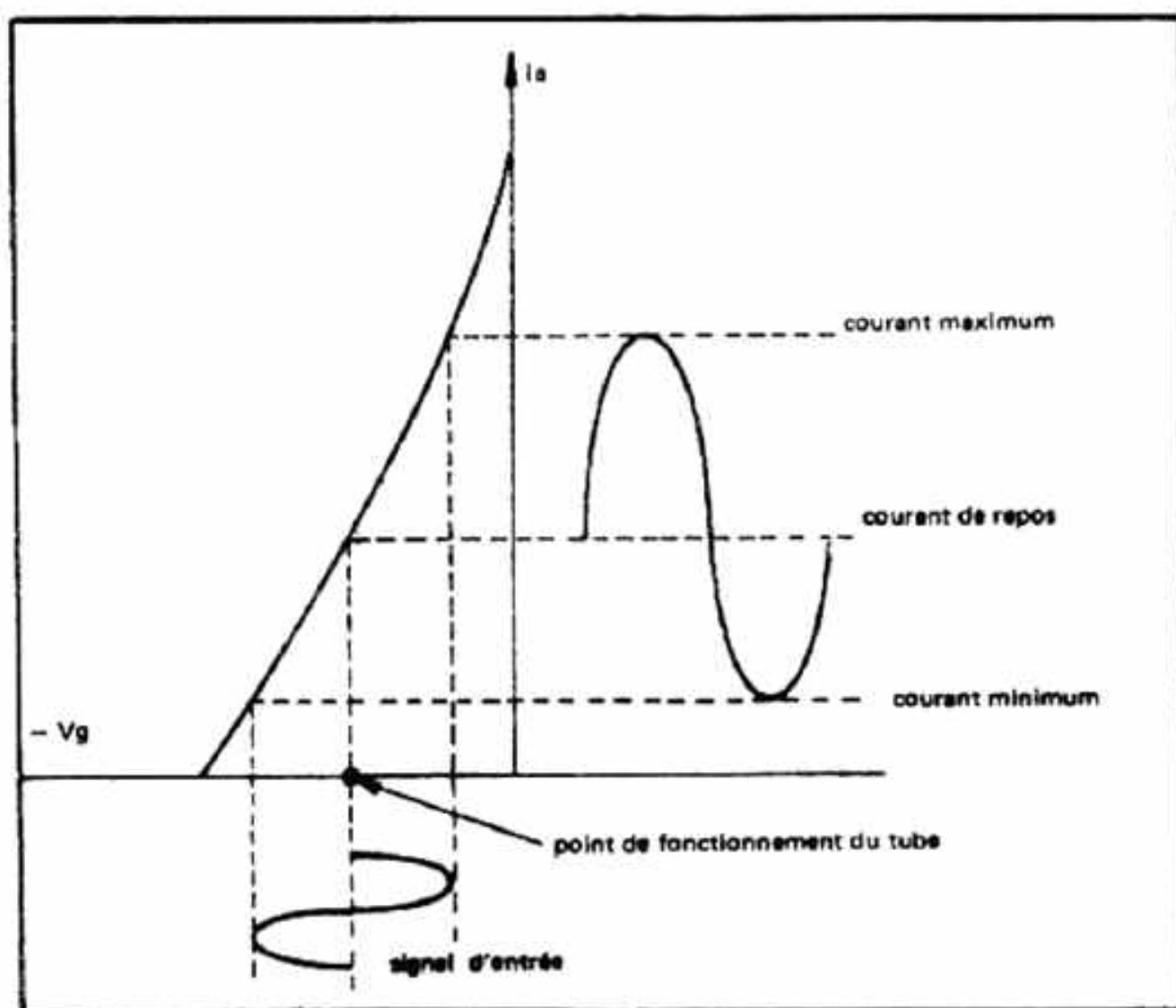
- Il existe TROIS CLASSES FONDAMENTALES D'AMPLIFICATION.

La CLASSE A

La CLASSE B

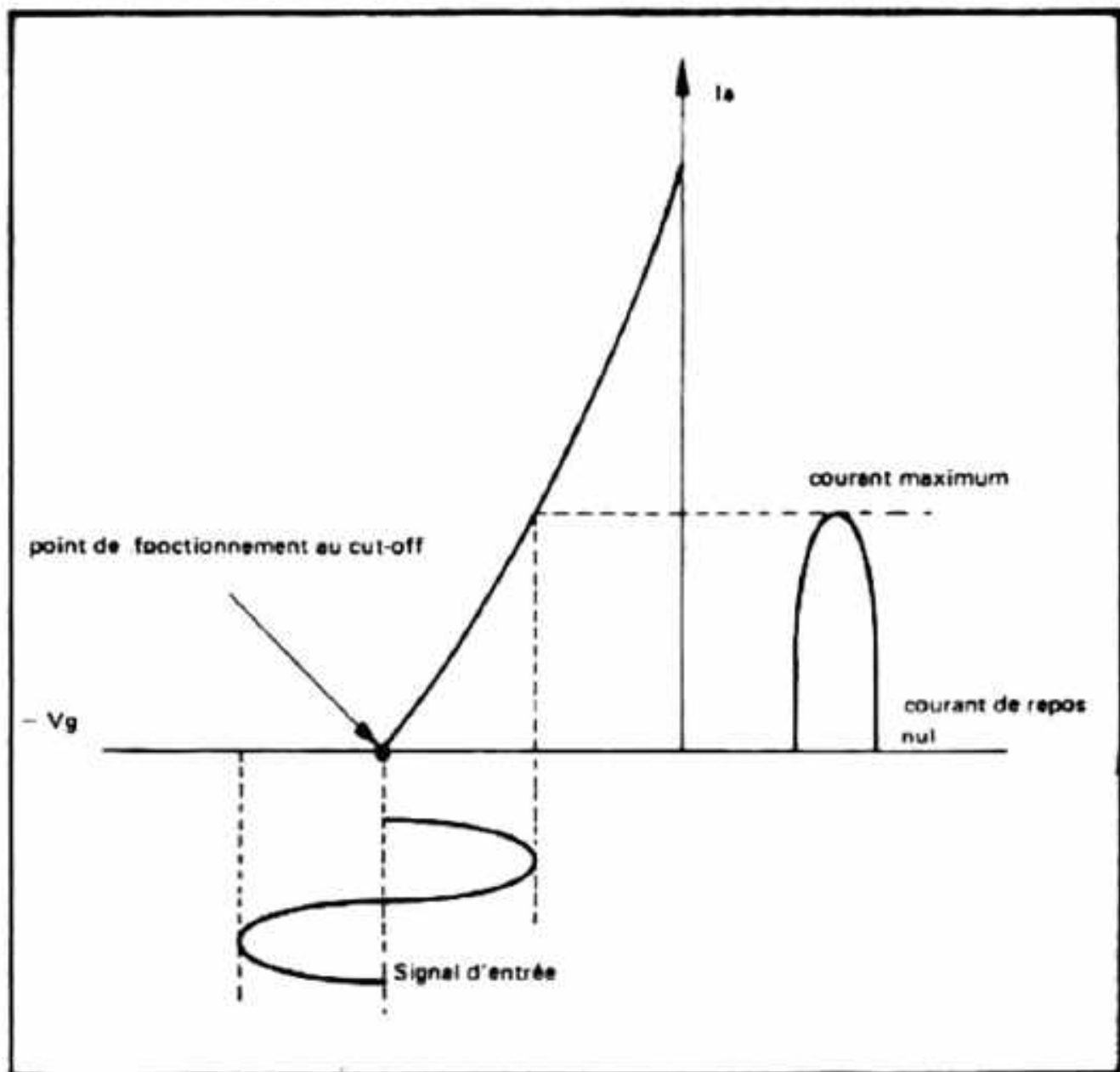
La CLASSE C

En classe A, l'amplificateur est polarisé de façon telle que le COMPOSANT ACTIF (tube ou transistor) A UN COURANT DE REPOS de valeur donnée et que la VARIATION DE COURANT sous l'effet du signal d'entrée est la même pendant l'alternance positive et négative de ce signal.



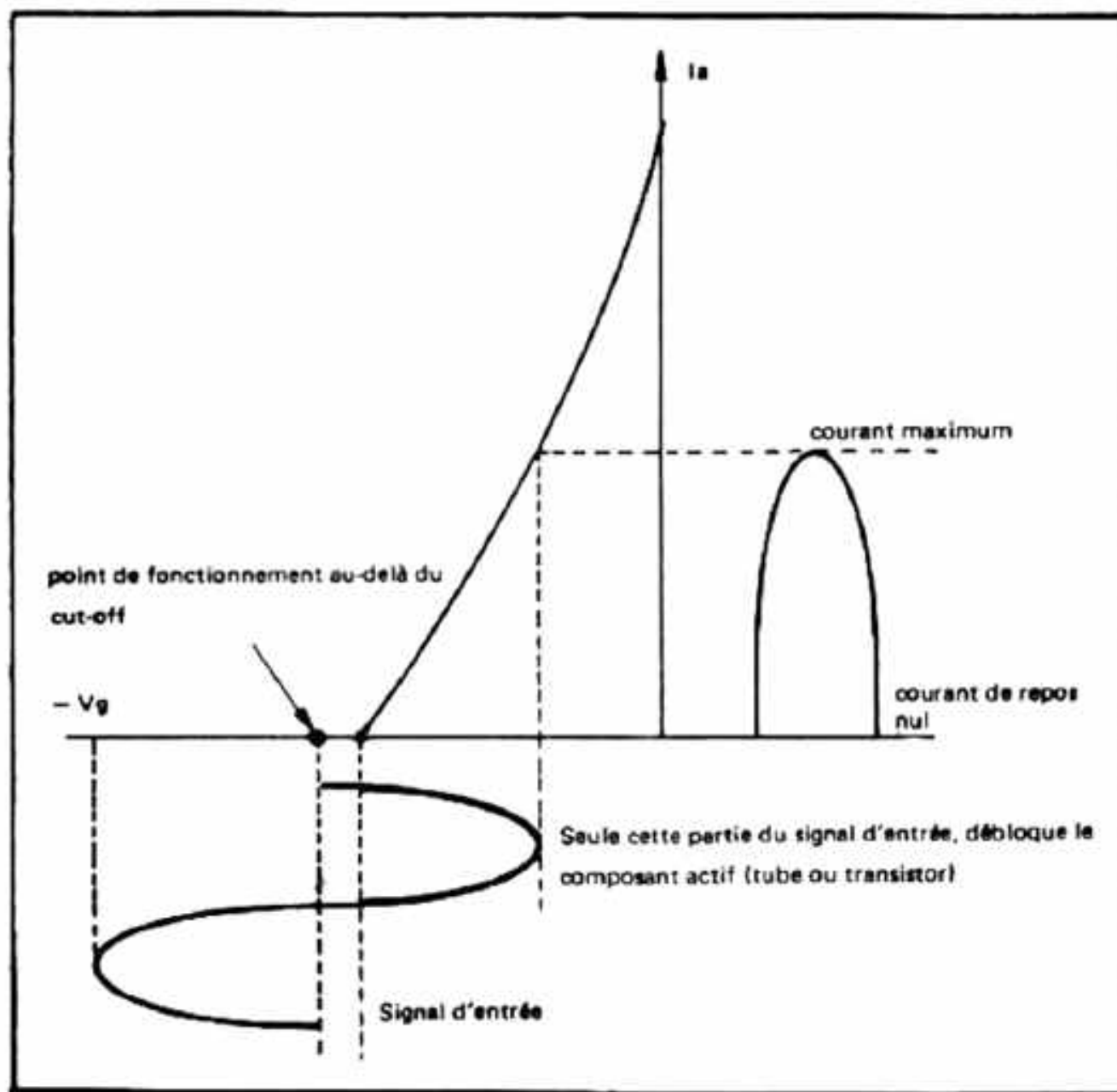
CLASSE A

- En classe B, l'amplificateur est polarisé de façon telle que le COMPOSANT ACTIF (tube ou transistor) a un COURANT DE REPOS NUL, en l'absence d'un signal d'entrée et que seule L'ALTERNANCE POSITIVE de ce signal, puisse rendre ce composant conducteur.



CLASSE B

- En classe C, l'amplificateur est polarisé de façon telle que le COMPOSANT ACTIF (tube ou transistor) à un COURANT DE REPOS NUL en l'absence d'un signal d'entrée et que seule UNE PARTIE DE L'ALTERNANCE POSITIVE, puisse rendre ce composant conducteur.



CLASSE C

- Un **AMPLIFICATEUR** peut fonctionner dans des **CONDITIONS INTERMEDIAIRES** entre les **CLASSES A** et **B**. On dit alors qu'il fonctionne en **CLASSE A - B**.
- Pour indiquer qu'il existe un **COURANT DE GRILLE** non négligeable, on fait suivre l'indice de la classe de fonctionnement, par le chiffre 2 (le chiffre 1 signifiant : absence de courant grille).

En classe A, la **GRILLE NE DEVIENT JAMAIS POSITIVE** par rapport à la **CATHODE** ; il n'y a donc jamais un courant grille appréciable. Le chiffre 1 n'est jamais mentionné mais reste sous-entendu.

En classe C, la **GRILLE** devient généralement positive par rapport à la cathode ; il existe donc un courant de grille non négligeable. Là encore toutefois le chiffre 2 n'est pas mentionné et reste sous-entendu.

Par contre en classe A - B et en classe B, la grille pouvant devenir positive par rapport à la cathode ou au contraire restant négative, il peut y avoir ou ne pas y avoir un courant de grille.

Selon le cas on écrit donc :

**CLASSE B1** ou **B2**, **AB1** ou **AB2**.

- Le **RAPPORT** entre la grandeur électrique de sortie et la grandeur électrique d'entrée, désigne l'**AMPLIFICATION**. Dans le langage courant, on parle cependant de **GAIN** bien que celui-ci doit normalement être exprimé en décibels (dB).



Il est toutefois préférable d'écrire :

$$\text{AMPLIFICATION} = \frac{V_s}{V_e} \text{ ou } \frac{I_s}{I_e} \text{ et}$$

$$\text{GAIN} = 10 \log \frac{I_s}{I_e} \text{ ou } 20 \log \frac{V_s}{V_e}$$

EXEMPLE : La tension  $V_s$  d'un amplificateur est de 10 volts pour une tension d'entrée  $V_e$  de 0,01 Volt.

Le GAIN est de :

$$G = 20 \log \frac{V_s}{V_e} = 20 \log \frac{10}{0,01} = 20 \log \text{ de } 1000$$

Le logarithme de 1000 étant 3, nous avons :

$$G = 20 \times 3 = 60 \text{ dB}$$



## EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 17

- 1) Quelles sont les TROIS CLASSES FONDAMENTALES D'AMPLIFICATION ?
- 2) Quel est le rôle du condensateur de découplage de la GRILLE ECRAN.
- 3) En classe B, en quel point du diagramme —  $V_g$  est pris le point de fonctionnement ?
- 4) Même question pour la classe C ?
- 5) En classe C, peut-on avec un seul tube effectuer une amplification BF sans distorsion ?
- 6) Pour un tube donné, le constructeur indique le point de CUT-OFF à — 20 volt. On polarise ce tube à  $V_g = -10$  volts et on applique un signal alternatif de 2 volts.  
A priori dans quelle classe fonctionnera ce tube. ?
- 7) Pour un tube, le constructeur indique le point de CUT-OFF à — 15 volts. On polarise ce tube à  $V_g = -15$  volts et on applique un signal alternatif de 17 volts.  
Quelle est la classe de fonctionnement ?

- 8) Dans un montage auquel est appliqué une tension d'entrée de  $V_e = 1$  volt, on obtient en sortie  $V_s = 10$  volts.  
Quelle est l'AMPLIFICATION ?
- 9) Pour le montage ci-dessus quel est le GAIN en tension, exprimé en décibel ?

