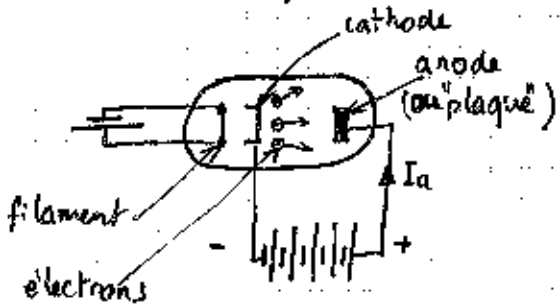


## La diode à vide

La diode à vide est constituée de deux électrodes placées à l'intérieur d'une ampoule en verre où on a fait le vide d'air.

Une électrode appelée cathode est chauffée électriquement par un filament (comme celui d'une ampoule électrique). La cathode sous l'effet de la température émet des électrons (c'est l'effet Edison). Si on relie la cathode au "moins" d'une source de courant continu et l'autre électrode appelée anode au "plus", les électrons émis par la cathode et chargés négativement seront attirés par l'anode reliée au plus.



Des électrons vont donc circuler de la cathode vers l'anode (sans être gênés par les molécules d'air puisqu'on a fait le vide dans l'ampoule).

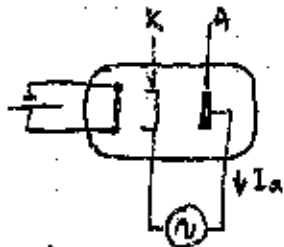
Cette circulation d'électrons constitue un courant électrique appelé courant anodique ( $I_a$ )

ou courant de plaque qui va de l'anode (la plaque) vers la cathode (du plus au moins : sens conventionnel du courant)



Si on inverse la polarité des électrodes l'anode alors négative repousse les électrons (négatifs) et il ne passe pas de courant

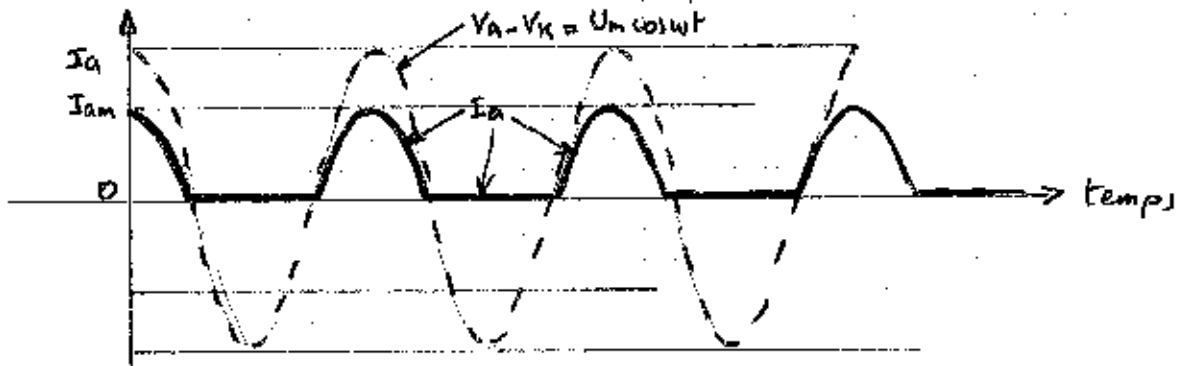
La diode a la propriété de ne laisser passer le courant que dans un seul sens



Si on branche la diode à une source de courant alternatif sinusoïdal, seules les alternances où l'anode est positive par rapport à la cathode

provoqueront l'apparition d'un courant anodique

Ce courant en fonction du temps aura l'allure suivante



La courbe représentant le courant est composée des "parties positives" de la sinusoïde, la "partie négative" prenant la valeur zéro.

Le courant sans être continu est devenu unilatéral : il a toujours le même sens on dit qu'on a redressé le courant.

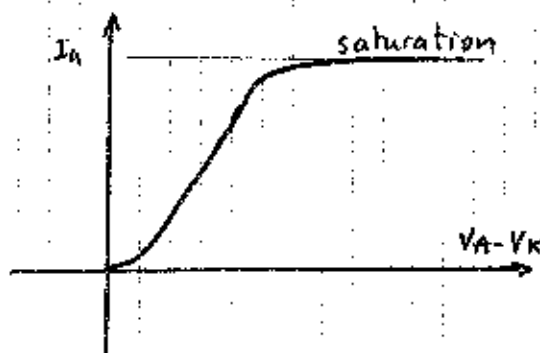
De nos jours on n'utilise que très rarement les diodes à vide, celles-ci ayant été remplacées par des diodes au germanium ou au silicium que nous verrons par la suite.

### Courbe caractéristique d'une diode à vide



Si on fait varier la tension positive  $V_A - V_K$  de 0 à quelques centaines de volts on constate que le courant croît progressivement pour atteindre une valeur maximum.

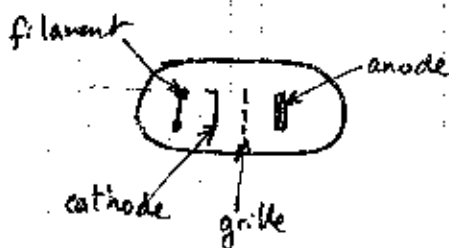
En effet plus la tension est élevée, plus le nombre d'électrons attirés et qui atteindront l'anode sera élevé donc le courant anodique croîtra jusqu'au moment où tous les électrons que peut émettre la cathode (les possibilités émissives de la cathode ne sont pas illimitées) auront atteint l'anode.



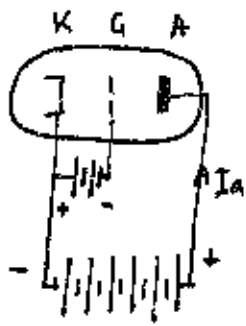
La courbe est à peu près linéaire puis atteint un palier maximum. Il y a alors saturation.

### La triode à vide

La triode (= trois électrodes) est constituée comme une diode à vide mais avec en plus une électrode supplémentaire ayant l'aspect d'un grillage placé en cathode et anode. On appelle cette troisième électrode "la grille".



habituellement sur les schémas on ne représente pas le filament de chauffage.



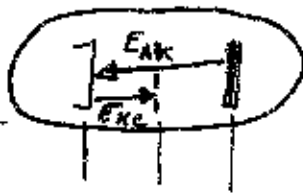
En reliant la cathode au moins et l'anode au plus la triode se comporte comme une diode ordinaire

Mais si on intercale entre cathode et grille une source de tension continue avec le + relié à la cathode et le - relié à la grille on observera une diminution du courant de plaque (anodique)

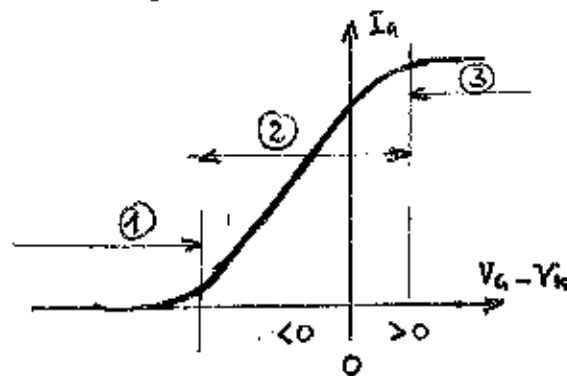
En effet la grille négative par rapport à la cathode aura tendance à repousser les électrons émis par la cathode

les empêchant ainsi d'atteindre la plaque

On peut aussi dire que le champ électrique entre cathode et grille se retranche de celui créé par anode-cathode (vecteurs de sens opposé) donc le champ résultant est diminué et les électrons sont soumis à une force moins importante en direction de l'anode



si on représente pour une valeur donnée de  $V_A - V_K$  la variation du courant anodique en fonction de la tension négative  $V_K - V_G$  on obtient la courbe suivante



la courbe comporte 3 parties : ①, ②, ③

Dans la partie ① le courant de plaque est nul : la tension de grille est tellement négative qu'aucun électron n'atteint l'anode

Dans la partie ② le courant anodique croît régulièrement : moins la grille est négative, plus les électrons arrivent à passer

Dans la partie ③ la grille n'arrête plus les électrons et on arrive au phénomène de saturation comme dans la diode

En résumé ① : triode bloquée  
② : triode conductrice

③ : triode saturée

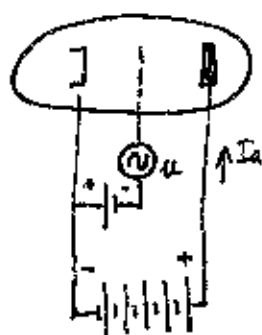
## Utilisation de la triode en amplification

On vient de voir que la tension de grille "commandait" le courant de plaque. On utilise cette propriété pour faire fonctionner la triode en amplificateur de tension.

Aujourd'hui les triodes et autres lampes de radio appelées aussi tubes électroniques ont largement été supplantées par les transistors et les circuits intégrés que nous verrons plus loin.

Par contre les lampes restent toujours d'actualité pour l'amplification de puissance des tensions de fréquences élevées en raison de leur robustesse et de leur faible coût comparé aux transistors. Elles sont de ce fait encore très utilisées par les radio-amateurs en particulier pour des fréquences supérieures à 100 MHz quand on veut obtenir plus de 100W HF et même en décimétrique si on veut 250W HF ou plus.

Réalisons le montage suivant :



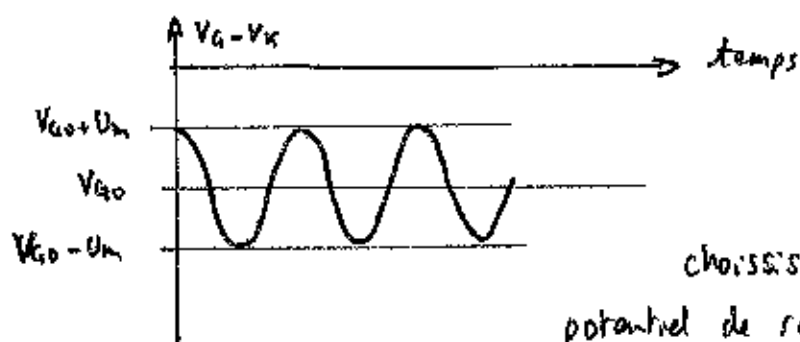
Intercalons dans le circuit de grille, polarisée (= portée à un potentiel) négativement par rapport à la cathode, un générateur de tension alternative sinusoïdale.

Soit  $V_{G0}$  la tension initiale de la grille par rapport à la cathode avant d'avoir intercalé la source

alternative de valeur  $u = U_m \cos(\omega t)$

Les tensions s'ajoutant algébriquement la différence de potentiel entre grille et cathode vaut  $V_{G0} + U_m \cos(\omega t)$

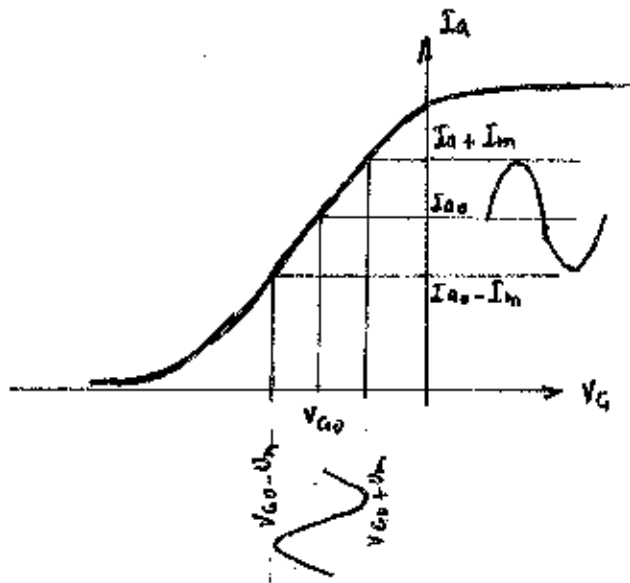
Comme  $\cos(\omega t)$  varie alternativement de  $-1$  à  $+1$  en passant par 0  $V_G - V_K$  oscille entre  $V_{G0} - U_m$  et  $V_{G0} + U_m$  soit graphiquement



$V_{G0}$  est négatif

Pour plus de commodité choisissons la cathode comme potentiel de référence  $V_K = 0$

Si on a polarisé correctement la triode c'est à dire choisi  $V_{G0}$  au milieu de la partie rectiligne de la courbe caractéristique le courant anodique va osciller autour de sa valeur de repos  $I_{A0}$  avec une amplitude  $I_m$ .



$$\begin{aligned} V_{G0} &\longrightarrow I_{A0} \\ V_{G0} - V_m &\longrightarrow I_{A0} - I_m \\ V_{G0} + V_m &\longrightarrow I_{A0} + I_m \end{aligned}$$

En résumé à la grille nous avons la tension  $V_{G0} + V_m \cos(\omega t)$  dans le circuit d'anode circule un courant égal à  $I_{A0} + I_m \cos(\omega t)$

Les variations de la tension de grille provoquent des variations au même rythme et dans les mêmes proportions du courant anodique

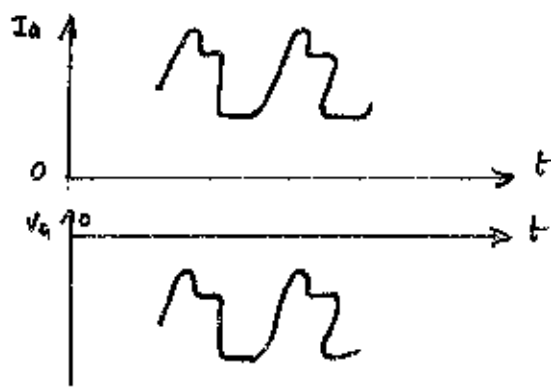
Le rapport entre l'amplitude des variations du courant anodique et l'amplitude des variations de tension de grille s'appelle la pente notée généralement  $s = \frac{\Delta I_A}{\Delta V_{G0}} \approx \frac{I_m}{V_m}$  et exprimée en mA/V

L'ordre de grandeur du courant dans une triode est de quelques mA à une centaine de mA, la pente valant autour de 1 à 10 mA/V

### Classes de fonctionnement

En fixant la tension  $V_{G0}$  dite tension au repos au milieu de la partie rectiligne, nous sommes dans la partie rectiligne de la courbe caractéristique l'amplification est dite linéaire c'est à dire que la forme des signaux sous forme de tension appliquée à la grille est recopiée par le courant anodique sans altérer la forme des signaux : une sinusoïde reste une sinusoïde, un signal carré reste carré.

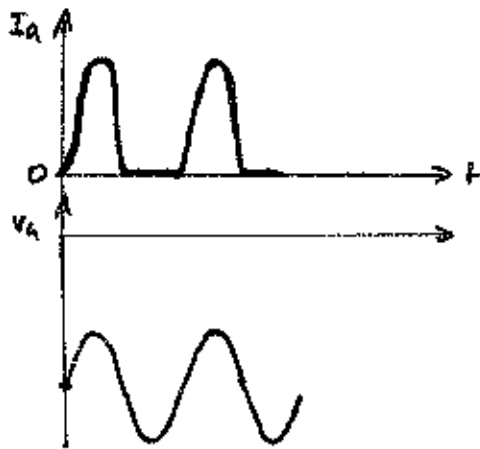
Cette classe de fonctionnement est dite classe A.



⑥

Amplification Linéaire  
la forme du signal est  
conservée

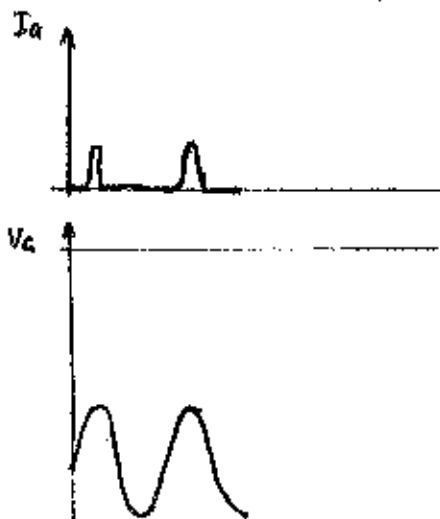
Par contre si on avait fixé  $V_{g0}$  à la valeur négative à partir de laquelle le tube est bloqué seules les alternances positives provoqueraient l'apparition d'un courant anodique, les alternances négatives bloquant encore plus le tube (la triode), le courant anodique serait nul à ce moment.



Cette classe de fonctionnement est dite  
classe B

le courant anodique n'apparaît que  
pendant les alternances positives,

Si on polarise encore plus négativement la grille seules les maximaux des alternances positives appliquées à la grille provoqueront l'apparition d'un courant anodique

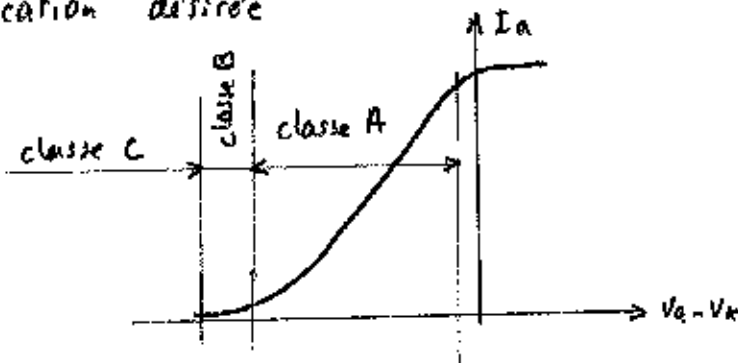


Cette classe de fonctionnement est dite  
classe C

En classes B et C l'amplification  
n'est pas linéaire la forme des signaux  
n'est pas conservée

## Polarisation d'une triode

Polariser une triode c'est fixer le potentiel de repos de la grille pour avoir un fonctionnement correspondant à la classe d'amplification désirée

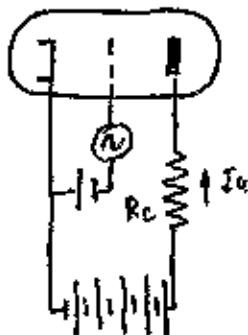


la classe A correspond à une amplification linéaire (pas de déformation du signal)

Les classes B et C déforment le signal mais sont utilisables sous certaines conditions pour l'amplification des tensions hautes fréquences.

## Amplification d'une tension

Pour transformer les variations de courant anodique en variation de tension il suffit d'intercaler une résistance dite résistance de charge dans le circuit anodique.



Si la tension sur la grille est  $V_g$

$$\text{avec } V_g = V_{g0} + U_m \cos(\omega t)$$

le courant anodique vaut si on est en

$$\text{classe A } I_a = I_{a0} + I_m \cos \omega t \quad \text{et d'après}$$

la loi d'ohm la tension aux bornes de  $R_c$

$$\text{vaut } V = R_c \times (I_{a0} + I_m \cos \omega t)$$

l'amplitude des variations de tension de grille vaut  $U_m$

l'amplitude des variations de tension aux bornes de la résistance

de charge vaut  $R_c I_m$

Précédemment on a vu que  $\frac{I_m}{U_m} = s$  (la pente)

le gain en tension égal au rapport des variations de tension sur la charge par les variations de tension de grille vaut

$$g = R_c s$$

avec par exemple  $R_c = 1 \text{ k}\Omega$  et  $s = 10 \text{ mA/V} = 0,01 \text{ A/V}$

$$g = 1000 \times 0,01 = 10 \quad \text{les variations de tension ont bien été amplifiées}$$

## Amplification sélective

Réalisons le montage suivant où la résistance de charge est remplacée par un circuit oscillant

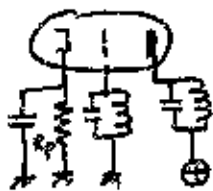


On a vu précédemment que la tension aux bornes de la charge valait  $R_c I_a$  avec  $I_a = I_{a0} + I_m \cos \omega t$ . La variation de tension aux bornes de la charge valant  $R_c I_m \cos \omega t$  est d'autant plus importante que  $R_c$  est grande.

Dans le cas présent, l'impédance de charge est un circuit oscillant parallèle dont l'impédance est maximum (théoriquement infinie) à la fréquence de résonance : la variation de tension est donc aussi maximum à la fréquence de résonance.

De ce fait toutes les fréquences appliquées à la grille ne sont pas amplifiées de la même façon : le gain de l'amplificateur dépend de la fréquence. L'amplification est sélective  
Le gain est maximum à la fréquence de résonance.

Pour améliorer la sélectivité de l'amplificateur on met aussi un circuit oscillant dans le circuit de grille.



Dans cet exemple la polarisation de la grille est obtenue par une résistance dans le circuit de cathode qui provoque une chute de tension quand le courant passe : la cathode devient alors positive par rapport à la masse (son potentiel étant  $R_p \times I_a$ ) ; comme la grille est reliée à la masse la cathode est positive par rapport à la grille, c.à.d la grille est négative par rapport à la cathode.

L'amplification sélective est utilisée en HF pour séparer les différents courants captés par une antenne correspondants à des émissions radio de fréquences différentes. Cela permet par exemple de séparer "France Inter", d'Europe 1.