

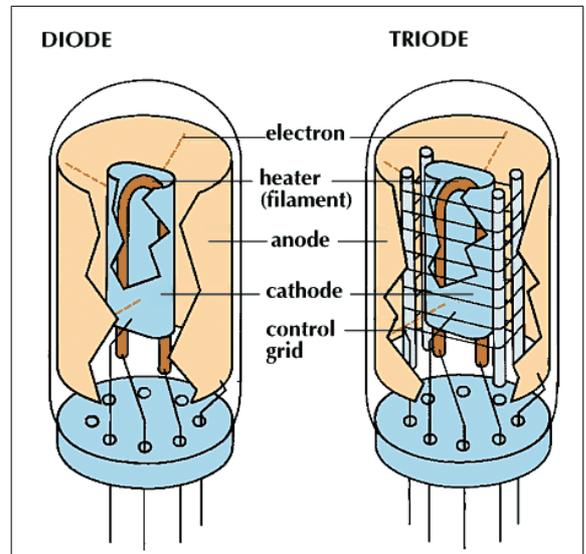
Les tube pour les newbees;-)

Source WIKIPEDIA : http://fr.wikipedia.org/wiki/Tube_%C3%A9lectronique

A – Présentation & principes :

1 - Pourquoi des lampes (selon wikipedia):

En diffusion sonore, certains [audiophiles](#) trouvent que les tubes électroniques permettent une qualité de son supérieure aux systèmes à [transistors bipolaires](#) ou à [amplificateurs opérationnels](#). D'autres affirment par contre que les tubes électroniques n'apportent rien et qu'ils ne représentent plus aujourd'hui qu'un argument commercial. Il est toutefois peu probable qu'ils disparaissent, vu l'intérêt majeur que leur portent certains amateurs, musiciens et techniciens, par exemple pour les amplificateurs de [guitare électrique](#) ainsi que pour les préamplificateurs de [microphone](#) et de studio d'enregistrement, où, selon des tests effectués comparativement, les préamplificateurs à tubes, utilisés dans des conditions de surcharge et de distorsion dépassant leur gamme utile, reproduiraient mieux les harmoniques que leurs équivalents à transistors ou à amplificateurs opérationnels⁹.



2 - Principe de base (selon Eynkel):

En audio la lampe sert principalement à amplifier un signal.
Comment ça marche ?

On crée une « DDP » (différence de potentiel) entre deux plaques : L'**Anode (+)** et la **Cathode (-)**.

Un peu comme un condensateur. Sauf que ce champ électrique va être le terrain de jeu des porteurs de charges les plus connus : les électrons.

Ces derniers, en se déplaçant, représentent le courant. Un peu comme les gouttes d'eau qui représentent à petite échelle le courant d'une rivière. Les gouttes d'eau se déplacent du haut vers le bas, elle se déchargent alors de ce que l'on nomme leur « Énergie Potentielle ». En étant en haut, leur énergie est maximum puisqu'elles vont tomber, et lorsqu'elles sont arrivées en bas, elle devient nulle.

Il en va de même pour les électrons. Ils ont une charge négative, ils partent donc de la borne négative (comme la goutte d'eau qui part du haut) et sont attirés par la borne positive (comme la goutte d'eau qui va vers le bas).

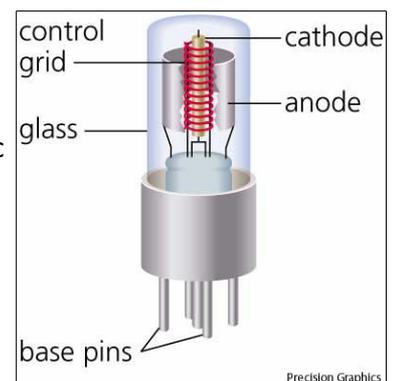
Donc dans notre lampe :

Borne (-) = **Cathode** → point de départ des électrons

Borne (+) = **Anode** → arrivée des électrons.

Pour induire un déplacement entre les deux il faut donc un champ électrique (comme le champ de pesanteur pour la goutte d'eau). Il va donc falloir créer une différence de potentiel (DDP) entre l'Anode et la cathode. La valeur de cette DDP va dépendre du type de tube utilisé, et de ses caractéristiques.

La distance à parcourir (fixe pour une lampe donnée) en fonction de la valeur de la DDP va laisser le temps aux électrons d'accélérer, et donc d'amplifier leur déplacement.



Precision Graphics

Mais pour pouvoir amplifier quelque chose, il faut que ce quelque chose existe !
Donc pour amplifier un déplacement d'électrons, il faut qu'il y ait un petit déplacement au départ.

C'est ce qui est provoqué par la tension de la **Grille**.

On l'appelle « grille » car, en métal, elle va permettre de faire varier le champ magnétique entre la cathode et elle-même, tout en laissant passer les électrons arrachés à travers elle.

Sur la **Grille** arrive un signal, celui que l'on veut amplifier.

Il y a donc une DDP **Grille-Cathode** variable en fonction du signal arrivant sur la **Grille**.

Cela va arracher les électrons de la **Cathode** et les diriger vers la grille, ils sont alors accélérés par la forte charge de l'**Anode** et captés par cette dernière, pour ensuite sortir du tube.

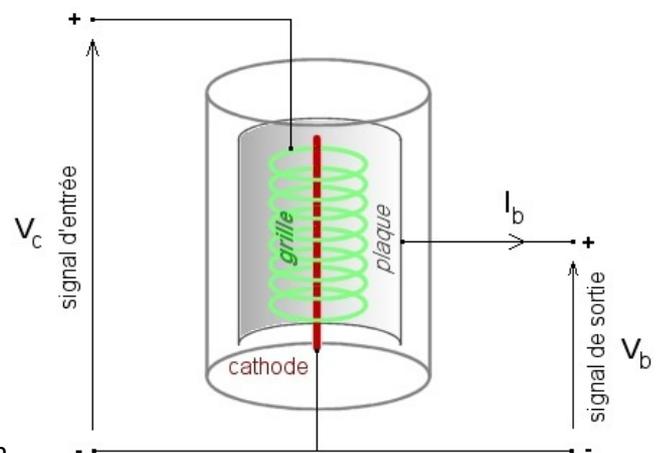
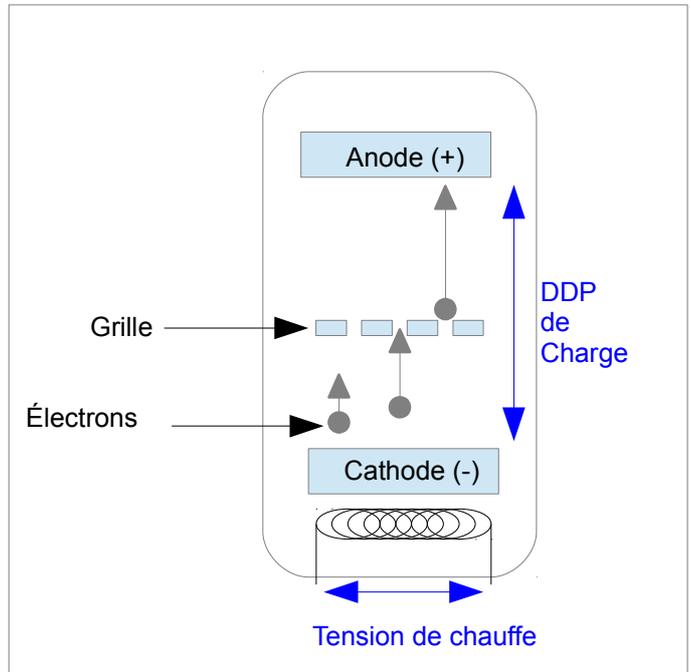
Nous avons donc, en sortie d'**Anode**, un courant variable, correspondant au signal d'entrée arrivé par la **Grille**, amplifié par l'accélération des électrons, arrachés à la **Cathode**, effectuée dans la lampe.

De plus, il faut chauffer la cathode pour favoriser le débit du « canon » à électrons que devient la cathode.

Cette opération a besoin de se faire dans le vide pour éviter l'ionisation de l'air et l'apparition d'arcs électriques, ainsi que pour préserver la durée de vie de la lampe, car des électrons s'arracheraient en permanence de la cathode, et entraîneraient un vieillissement prématuré du tube.

Pour préserver les tubes, il est donc vivement conseillé d'attendre que la **Cathode** soit chaude avant de mettre la forte polarisation de l'**Anode** en place. Cette temporisation peut se faire, soit de façon manuelle avec un simple interrupteur, soit à l'aide d'un circuit tout fait de temporisation.

Le chauffage de cette Cathode se fait soit de façon directe (on applique un courant à ses bornes, et cela fait comme une ampoule à incandescence : ça chauffe) soit de façon indirecte à l'aide d'un filament, placé à proximité de la Cathode, auquel on applique une DDP de chauffage.



3 - Comparatif Lampes-transistors (source) :

Le principe de fonctionnement de ces deux composants est le même. Seules les réactions physiques mises en jeu sont différentes : les lampes utilisent l'émission contrôlée d'un flux d'électrons par une cathode alors que les transistors utilisent un matériau semi-conducteur dopé plus ou moins enclin à laisser passer le courant selon le potentiel qui lui est appliqué.

Les analogies entre leurs différentes parties peuvent être résumées comme suit :

<u>Lampe :</u>	<u>Transistor :</u>
grille	base
cathode	émetteur
plaque	collecteur

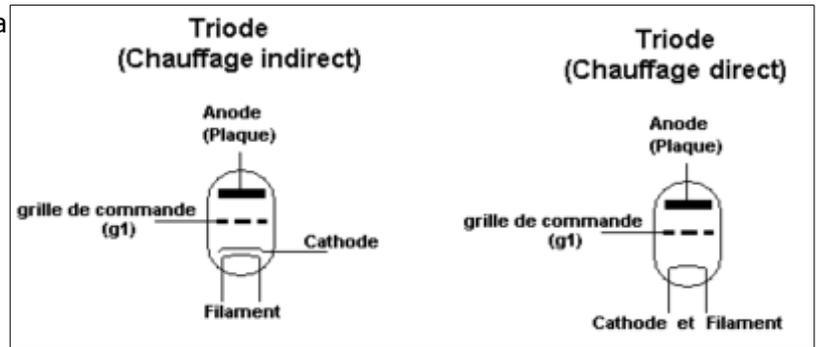
4 – Compléments (selon wikipedia):

Pour la Cathode :

Dans un [tube électronique](#) (lampe radio) les [électrons](#) (qui portent des charges négatives) circulent de la cathode vers l'anode. Ils sont émis par la cathode grâce à l'[effet thermoïonique](#). Celle-ci est constituée d'un petit tube de [nickel](#) revêtu d'oxyde de [baryum](#) et de [strontium](#), matériaux qui favorisent l'émission d'électrons à des températures inférieures à 1 000 °C. La cathode est chauffée par le filament en [tungstène](#) isolé par un revêtement réfractaire glissé à l'intérieur du petit tube. On dit que la cathode est à chauffage *indirect*

La triode :

En modulant la tension appliquée sur la grille par rapport à la cathode, un nombre plus ou moins grand d'électrons émis par la cathode arrivent jusqu'à l'anode, créant un courant variable entre l'anode et la cathode. Une charge en série dans l'anode convertit la variation de courant en variation de tension et de puissance : l'amplification est réalisée.



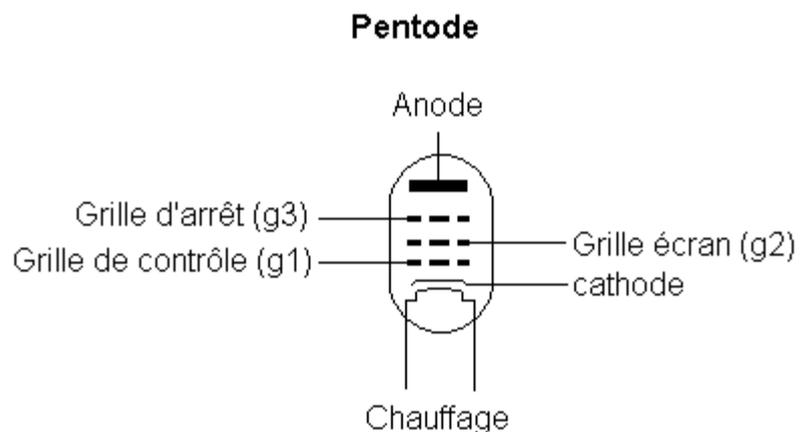
La triode présentait des défauts, en particulier une tendance à osciller en raison de la capacité que forme le couple grille-anode. Elle fut rapidement améliorée par l'adjonction d'une grille intermédiaire à un potentiel proche de celui de l'anode, réduisant cette capacité nuisible : la [tétrode](#) était créée.

Enfin la pentode permet de supprimer l'effet des émissions secondaires d'électrons sur la grille écran de la tétrode grâce à une troisième grille au potentiel de la cathode. D'autres combinaisons comme l'hexode, munie de deux grilles de commande, permettent de réaliser le mélange de fréquences nécessaire aux récepteurs.

L'évolution s'est poursuivie vers la miniaturisation, les tubes multifonctions, l'amélioration de la durée de vie et de la fiabilité, l'augmentation de la puissance et de la fréquence au fur et à mesure des besoins de la radio et de l'électronique.

La pentode :

La pentode est créée en [1926](#) par Bernard Tellegen de la société [Philips](#). C'est une évolution de la [tétrode](#) (tube à 4 [électrodes](#)). La pentode est une [tétrode](#) à laquelle on a ajouté une troisième grille appelée supprimeuse ([grille d'arrêt](#)) entre l'écran et la plaque ([anode](#)) pour réduire les [émissions secondaires](#) de l'anode. La grille d'arrêt est portée à un potentiel négatif par rapport à l'anode et à la [grille écran](#) (le plus souvent celui de la [cathode](#)) afin que les électrons émis par l'anode (les émissions secondaires) soient renvoyés vers celle-ci et ne soient pas captés par l'écran. Cela permet d'éviter l'effet *Dynatron zone* où le tube tétrode a une [résistance négative](#).



La pentode permet d'obtenir un meilleur rendement (moins de pertes dans l'écran) et une linéarité plus grande de la courbe courant / tension du tube pour une même tension de la [grille de contrôle](#).

Distinction entre pentode et triode en audio (selon Berl) :

une triode n'a pas le même son qu'une pentode, elle peut être aussi plus linéaire selon les tubes.

La 12AY7 est un bon tube bien adapté à sa tâche dans un micro : faible bruit, courbes linéaires même à faible courant, accepte une polarisation de grille par une résistance extrêmement élevée sans générer (trop) de bruit... mais n'existe pas en simple triode.

Il en existe : EC92, EC70, E80C, EC806S par exemple, avec un seul C qui signifie triode selon la norme européenne : l'ECC83 est alimentée en 6,3V (=E) et est une double triode (=CC), l'AC701 alimentée en 4V (=A) est une simple triode (=C), l'EF86 alimentée en 6,3V (=E) est une pentode faibles signaux (=F)...

Tubes 6,3V courants dans les micros :

6AU6 : 300mA (pentode, 1 seule cathode à chauffer)

6072 : 350mA

12AX7 : 300mA

12AT7 : 300mA

EC92 (simple triode, 1 seule cathode à chauffer) : 150mA

EF86 : 200mA (pentode, 1 seule cathode à chauffer)

EF95 : 175mA (pentode, 1 seule cathode à chauffer)

6BR7 : 150mA (pentode, 1 seule cathode à chauffer)

5718 / 5719 (tube simple triode miniature, 1 seule cathode à chauffer) : 150mA

EC70 / EC71 (tube simple triode miniature, 1 seule cathode à chauffer) : 150mA

B - Montages :

La théorie c'est bien, mais dans la vraie vie, ça donne quoi ?

1 - Principe de base (selon Offenbach) :

Dans un emploi "réel" de la triode, on va créer en fait 2 circuits, un avec grille/cathode, l'autre avec anode cathode avec une résistance R_a (résistance d'anode, ou résistance de charge).

Il y a 2 générateurs qui sont en fait pour la droite la source HT, et pour la gauche la polarisation de la grille + le signal :

Si on résume :

le « DC power » fournit un courant dans le circuit de droite dont la valeur est modulée par la tension appliquée à la grille.

Aux bornes de la résistance se produit une chute de tension, qui "transforme" ce courant variable en tension variable.

Toute l'astuce consiste à bien polariser la grille, bien choisir la tension d'alimentation du circuit anode/cathode, ainsi que la valeur de la résistance, de façon à amplifier d'une certaine façon en utilisant le régime le plus linéaire (ou pas ;)) du tube.

Ensuite il faut voir comment on fabrique cette tension de polarisation de la grille, tension qui doit être négative et de 1 à 2V environ.

On peut la prendre sur le PSU (Power Supply Unit = boîtier d'alimentation), c'est une "**polarisation fixe**".

On peut aussi utiliser un petit montage qui fonctionne bien avec les lampes type "preampli" (les lampes de puissance sont mieux avec une polarisation fixe), c'est la "**polarisation automatique**".

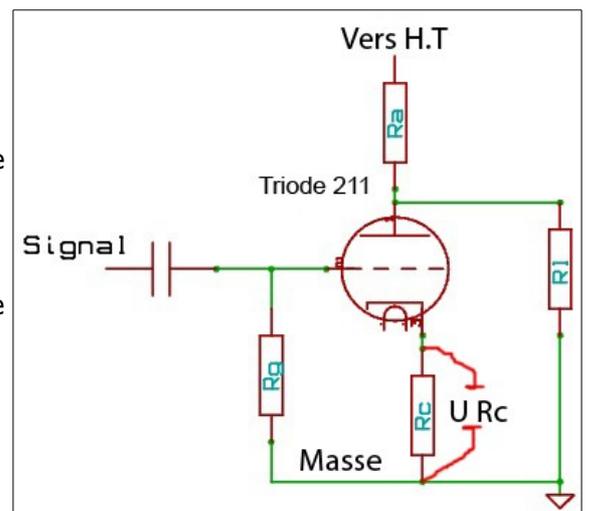
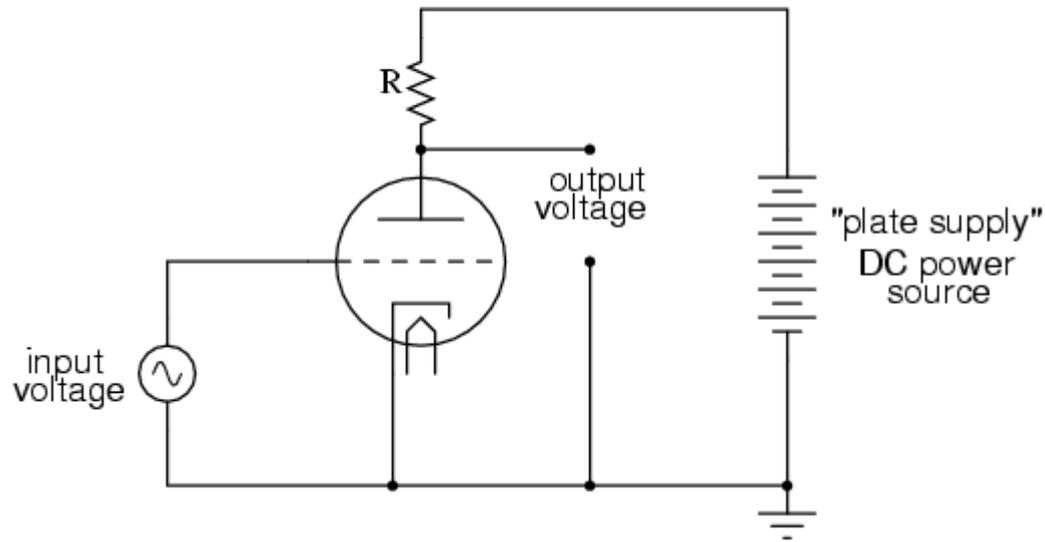
Dans ce schéma, R_1 correspond à la résistance de charge du circuit qui suit (transfo par exemple).

Donc pour polariser automatiquement la grille, on place R_c en série entre le cathode et la masse. Loi d'ohm oblige, on crée une petite chute de tension aux bornes de R_c . Si on référence la grille par rapport à la masse, comme la cathode n'est plus référencée à la masse, un potentiel négatif est vu sur la grille par rapport à la cathode.

Le problème est qu'en procédant ainsi, comme la tension de cette branche R_a /anode/cathode/ R_c varie avec le signal, la polarisation varie elle aussi...

Et ça c'est pas terrible car ça fait comme un genre de contre réaction et ça fait une perte de gain d'amplification. On peut contourner en très grande partie le problème en plaçant en

Triode amplifier circuit



parallèle à R_c un Condensateur d'une valeur assez importante pour envoyer à la masse tout ce qui est alternatif à la cathode. Ainsi on maintient relativement constant le potentiel de la cathode et donc le **bias** (= tension de polarisation).

2 – Rôle des composants du montage (source) :

Condensateur de liaison d'entrée : (Ci)

Le rôle du condensateur de liaison est de séparer le signal audio des tensions continues nécessaires à la polarisation. Elle a très peu d'influence sur le tube de l'étage. Par contre elle coupe les basses fréquences de l'étage précédent.

La résistance d'entrée grille : (Rg in)

Elle permet de référencer la tension de grille à la masse et de contrôler l'impédance d'entrée. Elle est de forte valeur de l'ordre de 1Mohm. Elle a très peu d'influence sur le tube de l'étage. Par contre elle est la charge de l'étage précédent, donc en diminuant sa valeur, on diminue le signal d'entrée.

Résistance d'anode (plate) : (Rp)

Elle permet de contrôler directement l'amplification de l'étage, ainsi que son impédance de sortie. Une plus faible valeur permet de diminuer l'impédance de sortie et d'améliorer le passage des fréquences aiguës.

Condensateur de liaison de sortie : (C out)

Une plus forte valeur augmente les basses fréquences. Elle est liée à la charge R_l . Son prix augmente aussi avec sa valeur. Attention au choix des paramètres et de sa technologie pour ne pas diminuer la bande passante et rester suffisamment linéaire.

Résistance de charge (load) : (Rl)

Une plus forte valeur augmente le niveau du signal ainsi que les médiums et basses fréquences.

Résistance de Cathode : (Rk)

Cette résistance permet de polariser (Bias) le tube. Elle permet de créer une tension positive sur la cathode et de ce fait, de décaler la tension de grille qui se retrouve référencé négativement par rapport à la cathode.

Elle contrôle la plage de fonctionnement du tube en linéaire ou en distorsion.

Une plus faible valeur augmente le courant de polarisation d'anode.

Condensateur de découplage de la Cathode : (Ck)

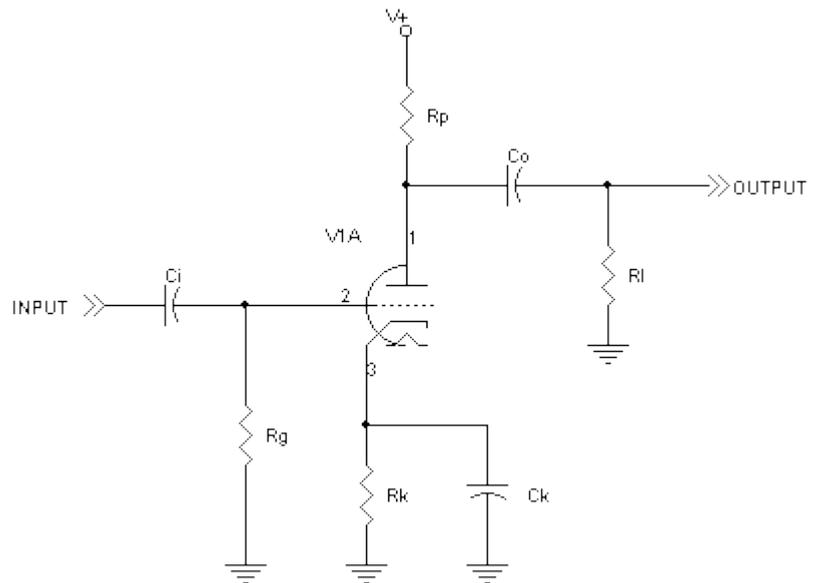
Le découplage de la cathode permet de diminuer l'ondulation alternative, ce qui améliore la dynamique en diminuant l'impédance de sortie. Une valeur suffisamment élevée laissera passer davantage les basses fréquences.

Si C_k est supprimé, il en résulte une contre réaction qui diminue le gain en augmentant l'impédance de sortie.

Si C_k est faible par rapport à R_k , les basses seront supprimées pour ne laisser passer que les aigus.

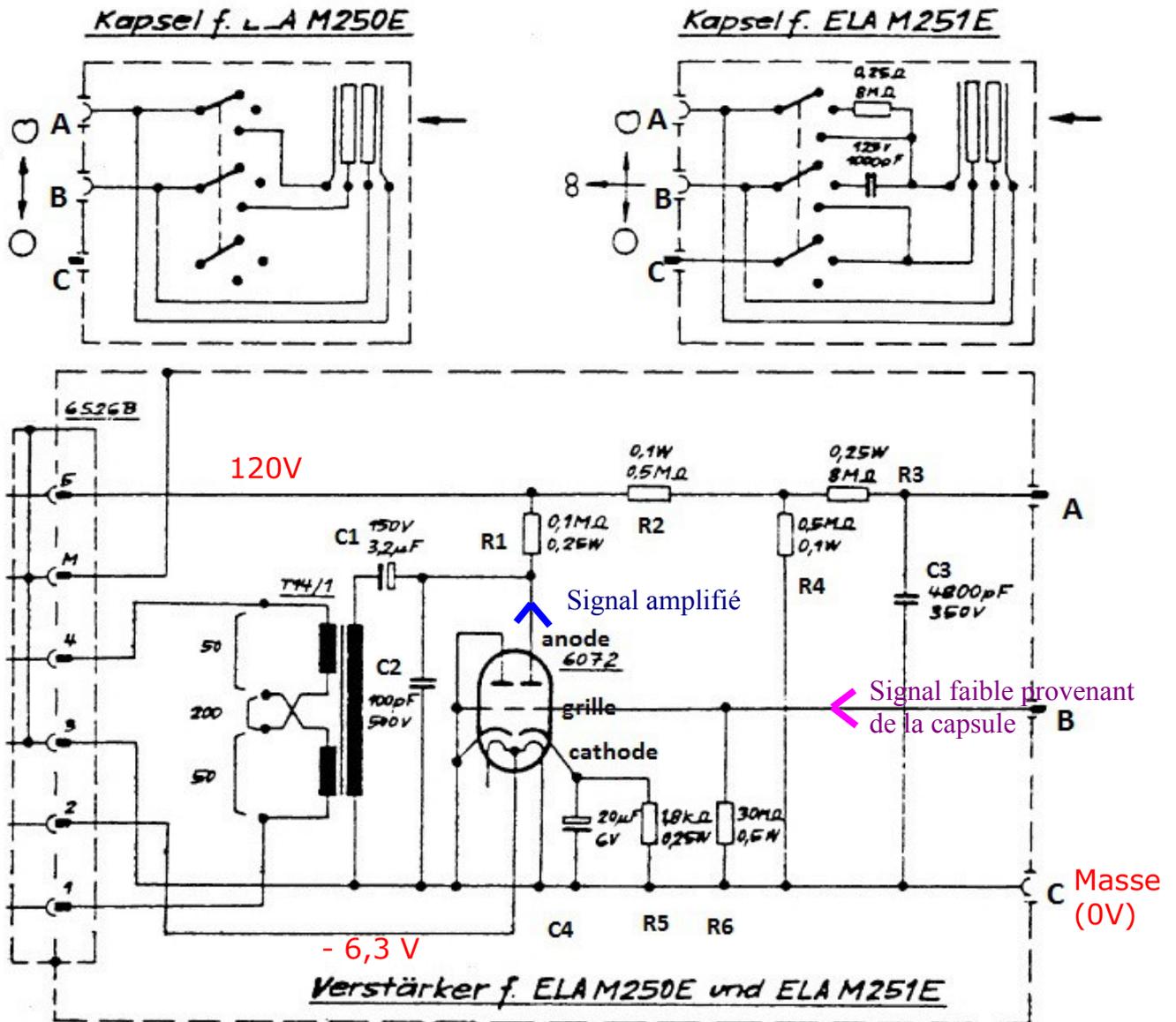
Conclusion:

D'une manière générale, choisir des valeurs des composants pour privilégier la réponse fréquentielle et la linéarité.



C – Exemple d'utilisation : le micro ELAM

Étudions l'application d'une amplification à lampe dans un micro...



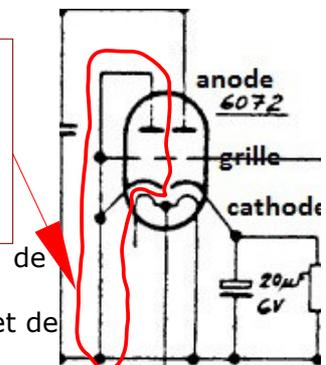
Prenons comme exemple le fameux ELAM, micro haut de gamme de Telefunken. Le schéma est assez simple, il rappelle la théorie des triodes que nous venons juste de voir. La lampe est une double triode, dont on n'utilise qu'une seule moitié.

*Pourquoi prendre un tube et n'en utiliser qu'une moitié ?
Car ses caractéristiques pour l'Audio restent loin devant son homologue mono ;-)*

L'**Anode** reçoit une tension inférieure à 120V, car elle est minorée par R1 qui crée une chute tension.

La **Cathode** est reliée à la masse par l'intermédiaire de R5 qui permet de définir le « bias » et de C4 qui permet de compenser les variations de tension entre la grille et la **Cathode** afin que celles-ci soient entièrement dirigées vers l'**Anode**, donc amplifiées.

On observe qu'une **Anode**, une **Grille** & une **Cathode** sont reliés à la masse. C'est la partie inutilisée du tube.



Remarques de Berl :

La polarisation de la grille est référencée au 0V lorsque la cathode est décalée de la masse par une résistance : elle est alors légèrement positive, donc la grille est négative par rapport à la cathode, condition sine qua non pour que le tube fonctionne. On parle d'auto-polarisation dans ce cas, et de bias fixe lorsque la cathode est à la masse et la grille polarisée négativement.

Dans ce cas la cathode aussi est reliée à la masse, car le bias fixe négatif est fourni par le diviseur sur la tension filament (-6,3V). Du coup logiquement l'autre extrémité du filament est à la masse. Comme la cathode car on est en bias fixe.

Analyse selon Offenbach :

alors d'abord il faut savoir que ce micro nécessite une alimentation de 120V, appliquée au point 5, milieu à gauche.

le point A sert à "polariser" ou charger la capsule avec une tension moitié (diviseur de tension R2/R4), soit 60V.

Le signal de "modulation" produit par la capsule est récupéré au point B, le point C étant à la masse, blindage du micro. Celui-ci est appliqué à la grille de la lampe, qui va ainsi moduler plus ou moins le courant qui la traverse en fonction de ce qui arrive sur la grille. La lampe est alimenté par le 120V, R1 provoque une chute de tension, et au point de connexion entre R1 et C1 on récupère la haute tension modulée par la tension de grille, mais avec un facteur d'amplification important.

C1 va supprimer la partie continue du signal (haute tension) et laisser passer uniquement la modulation amplifiée. Il agit aussi comme un filtre coupe bas, dont la fréquence de coupure est déterminée par la valeur du condo et l'impédance de la liaison à cet endroit. C2 agit aussi comme un filtre, mais passe bas (normalement bien au-delà de l'audible).

C3 sert à filtrer le courant avant la capsule, afin de bien découpler de l'étage d'amplification de la lampe, surtout en cas de crête.

C4 et R5 sont ce qu'on appelle une polarisation automatique du tube. Pour fonctionner correctement, la grille doit être portée à un potentiel négatif par rapport à la cathode. Soit on l'alimente directement avec une tension dédié de l'alim (comme dans ton C12), soit on utilise un tel montage. En fonction du courant au repos qui traverse la branche R1 lampe R5, R5 produit une petite chute de tension de l'ordre du volt qui place de fait la cathode à un potentiel plus élevé que la masse, hors avec R6, la grille est vue par la cathode comme étant négative de cette tension là. Le problème est que le courant varie en permanence, donc la tension au borne de R5 aussi, donc la polarisation du tube aussi..... Donc on place C4 entre cathode et masse afin de "filtrer" la composante alternative présente sur la cathode. Ce qui augmente de façon non négligeable le gain du circuit.

La partie gauche de la lampe n'est pas utilisée donc reliée à la masse.

C3 et C4 :

C3 filtre le courant vers la capsule, donc grosse valeur. La valeur précise dépend de l'efficacité du filtrage qu'on désire, et du courant qui passe dans la branche.

C4 est le condo de "by pass", dans le sens où il envoi à la masse toute composante non continue (il faut bien se rappeler qu'un condo est passant pour l'alternatif, et non passant pour du continu). Il faut aussi une assez haute valeur pour que le coupe bas qu'il induit soit suffisamment bas pour être hors de l'audio. Là aussi à calculer en fonction de la fréquence de coupure souhaitée et du courant...

Remarque :

Pour R1, ce qui se passe dans la partie droite n'a pas vraiment d'importance, on pourrait envoyer la HT dans R1 et supprimer R2,R3, R4... la lampe fonctionnerai toujours parfaitement (pas la capsule par contre...).

D'autre part C1 isole la tension continue avant le transfo certes, mais il ne modifie pas (vraiment) ce qui se passe entre R1 et l'anode...

Remarques de *traintrain* :

Pour C2, il agit comme un filtre passe-bas car il atténue les parasites situés au dessus de 20.000 Hz inutiles dans les circuits audio (ondes radio et perturbations électriques diverses)

Pour C1, il agit comme un filtre coupe-bas car il atténue les graves en dessous de mettons 20 Hz et bien sûr stoppe totalement le courant continu

Pour une approche **très simplifiée**, en oubliant les déphasages on peut considérer qu'un condensateur se comporte comme une résistance de valeur $Z = 1/\omega C$

avec

Z impédance en ohms

C = capacité en Farad

$\omega = 2 \times \pi \times F$ avec F fréquence du signal et $\pi = 3.14...$

De même, un filtre RC simple a pour fréquence de coupure $F = 1/2\pi RC$

Mais la réalité est bien plus complexe puisque les vraies formules utilisent le nombre imaginaire "j"

http://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_RC

A priori, en cas de filtrage insuffisant d'une alim, la tension continue va légèrement onduler au rythme du secteur 50 Hz, et on va entendre un bourdonnement dans le son. C'est d'autant plus critique qu'un préampli micro amplifie énormément le signal.

D – Choix des composants : utilisation de DATASHEETS.