

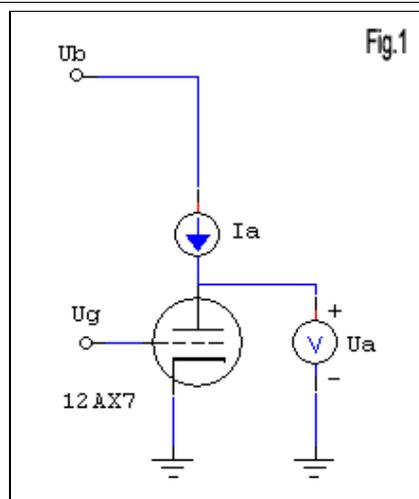
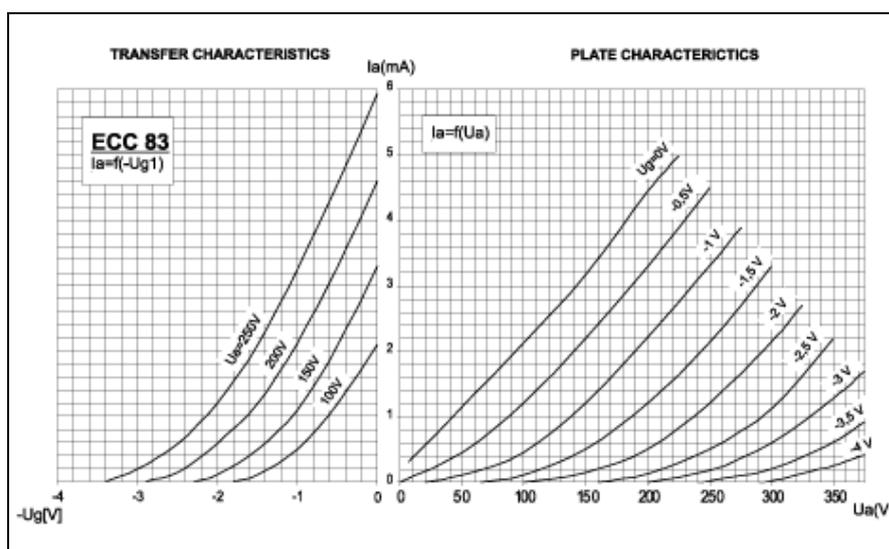
# Les droites de charges ou comment polariser un tube.

## Préambule

Nous allons travailler à l'aide des courbes caractéristiques des tubes que l'on trouve dans les datasheets des fabricants. J'ai fait le tour des datasheets à l'aide de l'outil TDSL de duncanamps, et au final pour me permettre de travailler correctement j'ai pris celle de chez JJ à l'adresse suivante :

[Caractéristiques de l'ECC83S de chez JJ Electronics](#)

Ces courbes nous renseignent sur la manière donc le tube se comporte en présence d'une tension d'anode ( $U_a$ ) et d'une tension de grille ( $U_g$ ). Nous n'allons pas passer plus de temps sur la manière d'obtenir ces courbes, qui sera probablement l'objet d'un autre article. Néanmoins il faut tout de même que l'on vous montre quel schéma a été utilisé pour les tracer.

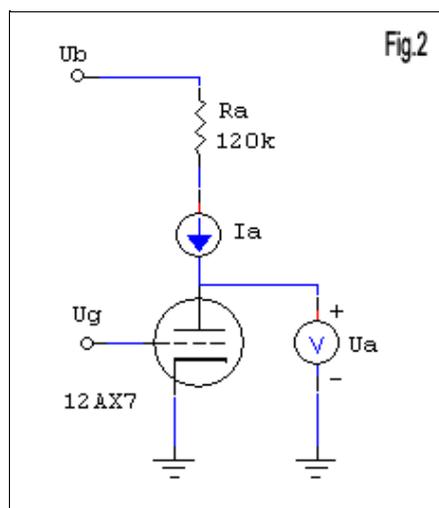


La 12AX7 est alimentée par une tension  $U_b$ , on note sur la fig.1 la présence d'un ampèremètre qui permet de mesurer le courant d'anode noté  $I_a$  sur les datasheets et d'un voltmètre pour mesurer  $U_a$ . En modifiant la tension d'anode ( $U_a$ ) pour une tension de grille donnée ( $U_g$ ), on obtient différentes valeurs de  $I_a$  qu'il suffit alors de retranscrire sous forme graphique. Dans ce schéma la tension  $U_b = U_a$ .

## Résistance de charge

Avec le schéma de la figure 1, vous vous dites qu'il manque quelque chose par rapport à ce que vous avez l'habitude de voir dans les schémas de préamplis. Nous allons mettre une résistance sur l'anode de la 12AX7, cette résistance est

aussi appelée "résistance de charge", elle est notée  $R_a$ , elle va profondément modifier le fonctionnement du tube. En effet de part sa présence le tube va enfin se mettre à amplifier, sa valeur en ohms va définir ce que l'on appelle la "droite de charge".



Prenons ici comme valeur de  $V_{1a}$  du préampli du G5, soit  $R_a = 120K$ .

La résistance de charge va créer une chute de tension par rapport à  $U_b$ . La tension d'anode ( $U_a$ ) va donc être égale à :

$$(1) U_a = U_b - (R_a * I_a)$$

Il ne faut donc pas confondre la tension d'alimentation du tube ( $U_b$ ) et la tension d'anode du tube ( $U_a$ ).  $U_a$  sera toujours inférieure à  $U_b$  dès que le tube sera chargé avec une résistance d'anode ( $R_a$ ).

## Droite de charge

Revenons à nos courbes que nous avons trouvées dans les datasheets du constructeur. Pour tracer la droite de charge il nous faut quelques informations :

- La résistance de charge,  $R_a = 120K$
- La tension d'alimentation du tube  $U_b$ , sur le G5 celle-ci est fixée à 180V.

Ces valeurs auraient pu être différentes, amusez-vous à tracer d'autres droites si vous le souhaitez en prenant d'autres valeurs arbitrairement.

Commençons :

Le **premier point** (X) à placer sur le graphique, est lorsque le tube est bloqué, c'est à dire qu'il n'est pas traversé par un courant, cela peut arriver quand le tube n'est pas chauffé (donc pas d'émission d'électrons, pas de courant) ou que la grille est fortement négative par rapport à la cathode (dans ce cas les électrons ne peuvent migrer vers l'anode). Les anglo-saxons appellent ce point le *cut-off bias* [EN]. Donc le premier calcul à effectuer est pour  $I_a = 0mA$ , calculons la tension d'anode  $U_a$  dans la relation (1) :

$$U_a = U_b - (R_a * I_a)$$

$$U_a = 180 - 0 = 180V$$

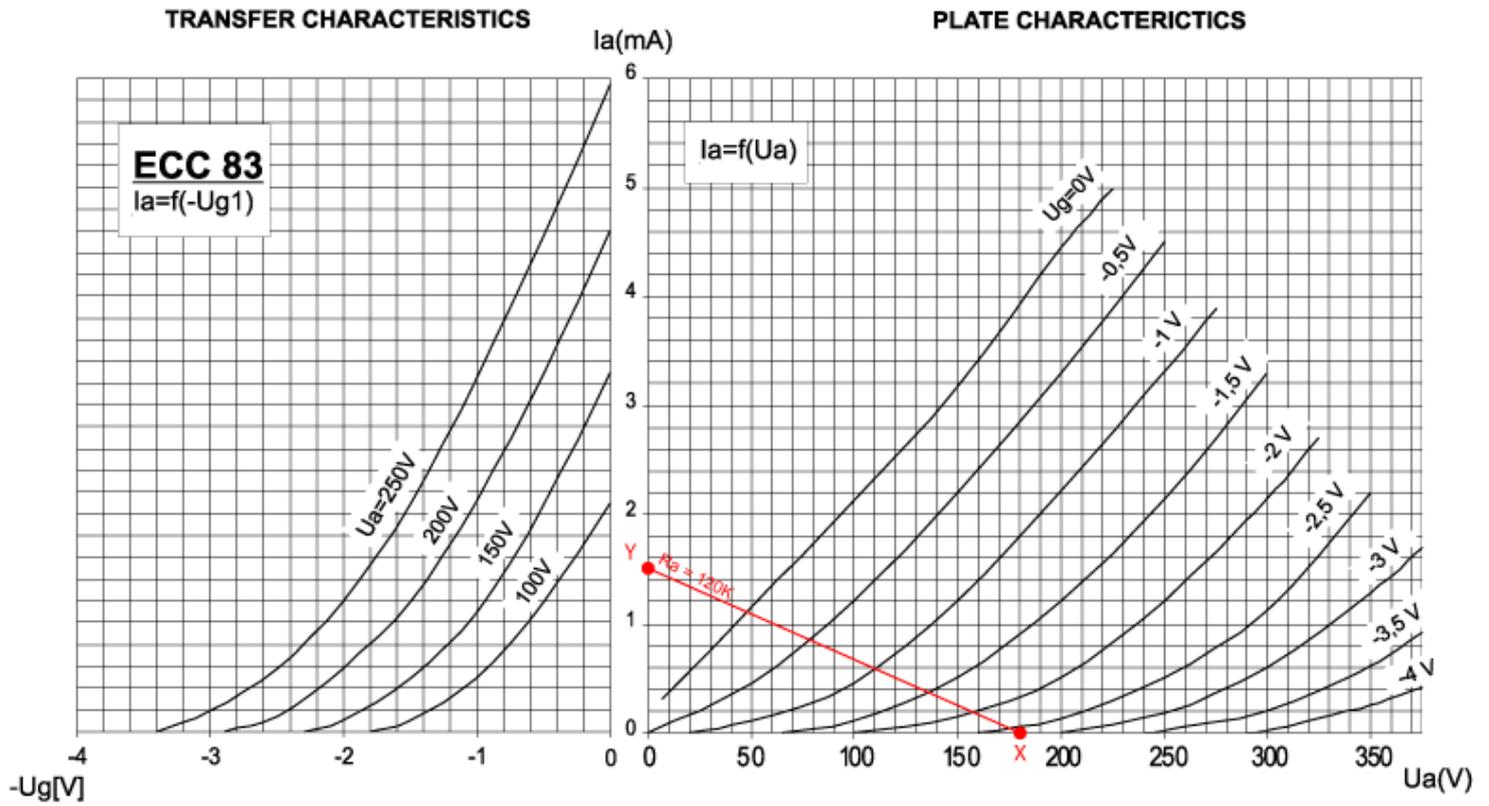
Pour placer le **deuxième point** (Y), supposons maintenant qu'il y ait un court-circuit dans le tube, la tension d'anode  $U_a$  serait alors égale à 0V. Seule la résistance d'anode limiterait alors le courant, ce qui le fixerait à une valeur de :

$$U_a = U_b - (R_a * I_a)$$

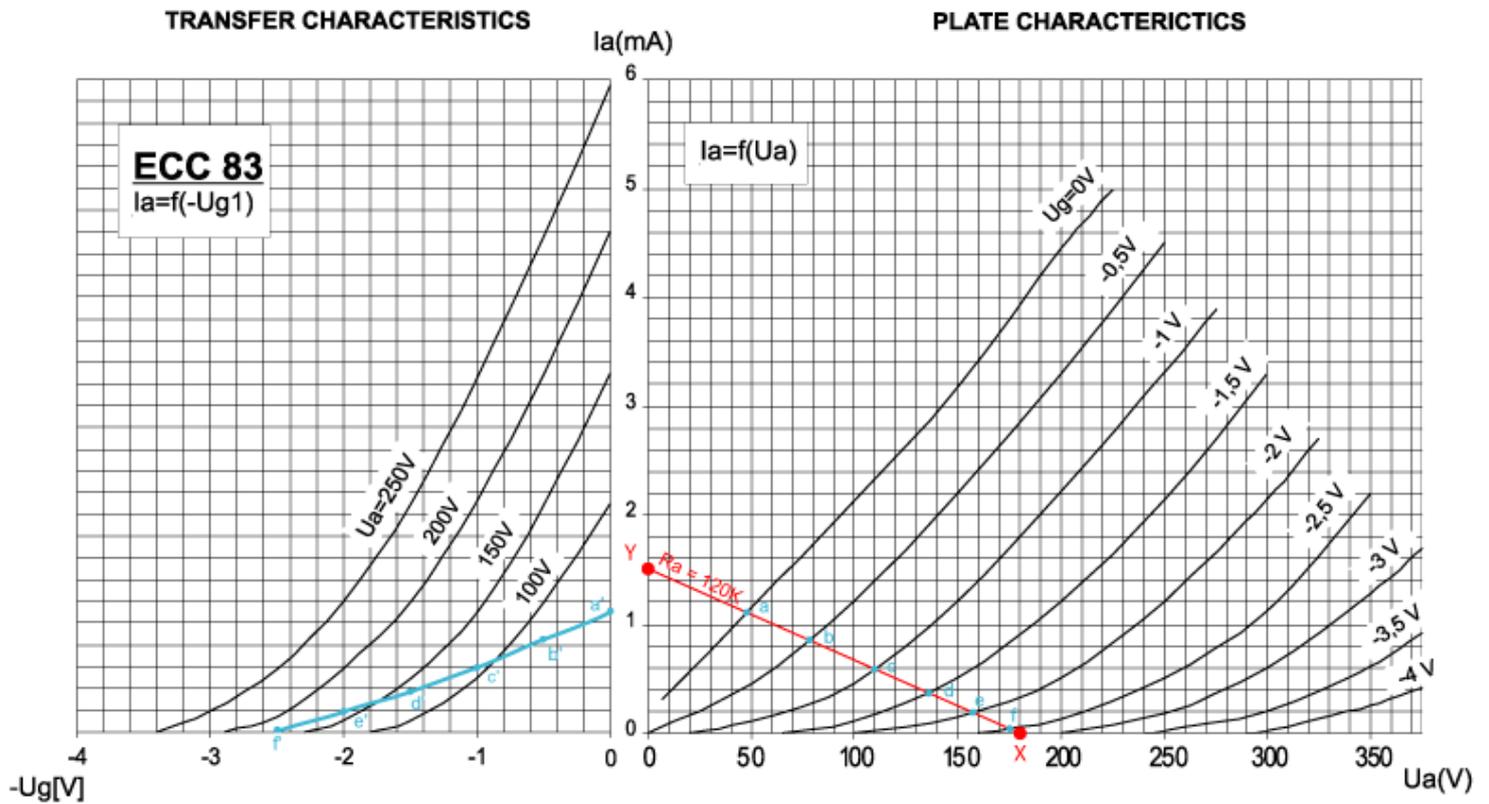
$$\text{soit } I_a = U_b / R_a \text{ puisque } U_a = 0V$$

$$I_a = 180 / 120\,000 = 0.0015A \text{ soit } 1.5mA$$

Comme par deux points il ne peut y passer qu'une seule droite on prends notre règle et on trace la droite de charge pour  $R_a = 120K$ .

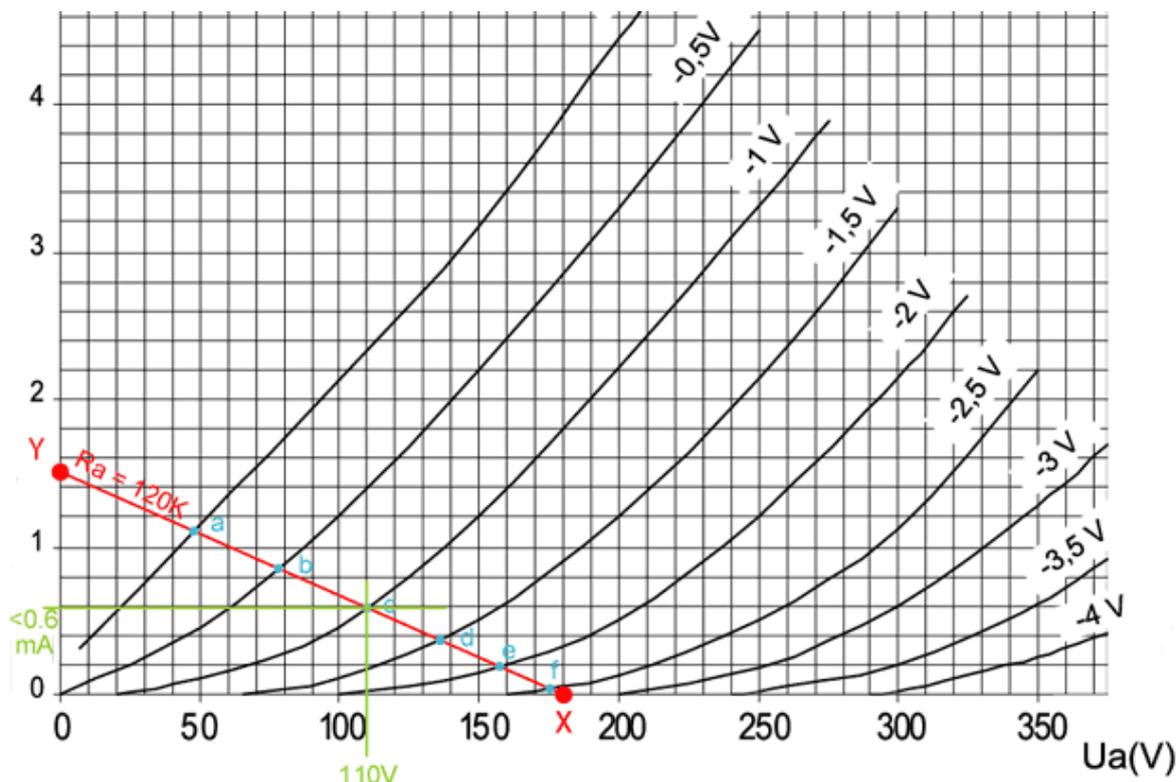


Bon ce n'est pas tout, on a notre droite mais il faut maintenant choisir le point sur la droite qui va permettre à notre tube de fonctionner au mieux. Et pour cela nous allons transférer les points d'intersection de la droite de charge avec les différentes courbes de tension de grille, sur la partie de gauche.



Pour choisir correctement le point de fonctionnement du tube nous devons le choisir au milieu de la partie la plus rectiligne de la courbe bleue dite de transfert. On choisit le milieu de la droite de charge pour que le tube puisse amplifier avec distortion minimale les alternances positives et négatives.

Ici le point (c') situé donc entre (b') et (d') semble être un bon compromis. Son vis-à-vis le point (c) coupe la courbe de grille (-1V) aux coordonnées suivantes que nous déterminons graphiquement :



Soit  $U_a = 110V$  et  $I_a =$  légèrement inférieur à  $0,6mA$ .

On note aussi que pour une variation de  $1V$  crête à crête soit entre le point b et d, on a une tension d'anode qui oscille entre  $77V$  et  $137V$  soit  $60V$  crête à crête. Magique notre lampe vient d'amplifier la tension !

On peut même calculer le coefficient d'amplification du tube :

$$A = 60/1 = 60$$

Une autre formule existe et fait appelle aussi à des données des datasheets :

$$\text{Voltage gain} = (gm / 1\ 000\ 000) * R_{int} * R_a / (R_{int} + R_a)$$

-  $gm$  étant la transconductance, on trouve plutôt dans les datasheets  $S=1.25mA/V$ , il suffit de multiplier par  $1\ 000$  pour avoir la transconductance.

-  $R_{int}$  : la résistance interne de l'anode

-  $R_a$  : Résistance d'anode ou dite de charge

Dans le PDF de chez JJ, on trouve  $S = 1.6mA/V$ ,  $R_i = 62.5K$ , ces valeurs sont pour une tension d'anode ( $U_a$ ) de  $250V$ , ce qui n'est pas trop notre cas, mais ça permettra d'approcher quand même le résultat.

$$\text{Voltage gain} = (1600 / 1\ 000\ 000) * 62\ 500 * 120\ 000 / (62\ 500 + 120\ 000) = 65.75$$

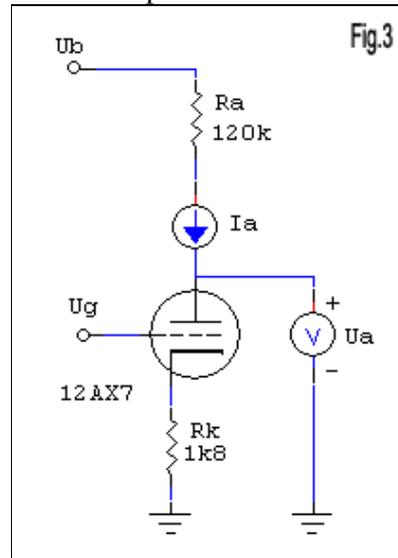
C'est un résultat relativement satisfaisant vu les approximations sur les données.

Il existe sur internet une page fort intéressante qui calcule automatiquement le gain et d'autres informations précieuses :

<http://holken.net/biastool/bt.html>

## Calcul de la résistance de cathode

Reprenons la figure 2, la tension de grille est fixée à -1V pour que notre tube fonctionne à notre point de fonctionnement et la cathode est reliée à la masse. Pour éviter d'avoir à générer cette tension négative, il suffit d'élever le potentiel de la cathode par rapport à la grille. La différence de tension entre la cathode et la grille dans la figure 2 est de 1V au bénéfice de la cathode. Si nous mettons la grille à la masse soit  $U_g = 0V$  (via une résistance de grille de 1M par exemple comme sur le G5), alors il suffit d'élever la tension de cathode ( $U_k$ ) à 1V. Comme un courant traverse déjà le tube, il suffit d'intercaler une résistance entre la cathode et la masse pour voir une tension sur la cathode.



Pour définir la valeur de la résistance de cathode ( $R_k$ ), il suffit d'appliquer encore la loi d'ohms :

$$R_k = U_k / I_a$$

$$R_k = 1 / 0.6 = 1.66 \text{ Kohms}$$

*Soit en valeur normalisée la plus proche 1.8Kohms*

Voilà j'espère que vous y voyez plus clair sur les droites de charge, en tout cas moi oui !

## Bibliographie :

- Polariser une triode - Electron fou - Techniguitare
- G Dutheil - Amplificateurs à tubes pour guitare et hi-fi - Publitrionic
- Revue LED - Cours "Et si on parlait tubes... n° 6, 7, 8 et 9" soit les numéros LED de 179 à 182 inclus.
- The AX84 Theory - David Sorlien 1998
- Loadlines Made Simple by Carl B. and Matthias M. - Avril 2002 - AX84 community.
- Datasheet JJ Electronics
- Biastool de Arvid Rosen - Web.

(c) Copyright 2006 M. COLSON - Autorisation de publication accordée à [www.projetg5.com](http://www.projetg5.com) uniquement.

