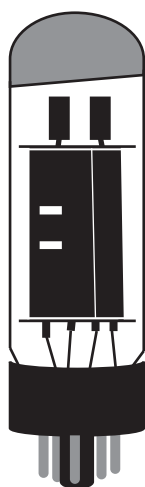


# LES CHRONIQUES TECHNIQUES DU TUBE

N° 1 - Novembre 2018



## Les techniques de biasing des amplificateurs à tubes

*Tout amplificateur à tubes dispose d'un circuit dit de biasing. Il permet l'utilisation optimale des tubes électroniques en fixant leurs points de fonctionnement. Les différentes méthodes de biasing sont détaillées, puis leurs avantages et inconvénients exposés.*

# SOMMAIRE

<b>1 - INTRODUCTION</b>	Page 1
<b>2 - LES TECHNIQUES DE BIASING</b>	Page 1
2.1 - BIASING PAR RÉSISTANCE DE CATHODE	Page 1
2.2 - BIASING FIXE	Page 3
2.3 - BIASING ADAPTATIF	Page 4
2.4 - BIASING INTELLIGENT	Page 5
<b>3 - AUTRES CONSIDÉRATIONS</b>	Page 6
3.1 - LES PERTURBATIONS DU BIAS	Page 6
3.2 - LES TUBES APPARIÉS	Page 7
<b>4 - REMARQUES FINALES</b>	Page 7

## 1 - INTRODUCTION

Tout amplificateur à tubes dispose d'un circuit dit de biasing permettant l'utilisation optimale des tubes électroniques en fixant leur point de fonctionnement. Les tubes électroniques sont des éléments électromécaniques complexes dont les caractéristiques sont nécessairement différentes pour chaque exemplaire, chaque tube étant unique.

Lors de leur utilisation dans les systèmes audio et afin d'obtenir un fonctionnement optimal ainsi qu'un son de qualité, un courant moyen, appelé le courant de bias, doit les traverser en permanence. La variation rapide de ce courant autour de sa valeur moyenne permet d'amplifier les signaux électriques et de générer la puissance sonore.

Il convient alors de régler ces courants moyens, ou courants de bias, avec précision : c'est le biasing de l'amplificateur à tubes. Mal réglés, ils compromettent la qualité sonore et risquent de causer des pannes sévères. Réglés correctement, ils permettent de profiter pleinement de la musicalité des tubes, voir même de changer la sonorité de l'appareil en fonction des styles de musiques, pour les utilisateurs les plus experts et les biasing les plus évolués.

## 2 - LES TECHNIQUES DE BIASING

Différentes techniques existent pour créer, maintenir et stabiliser ces courants de bias : ce sont les techniques de biasing. De la plus simple à la plus récente, les nombreux inconvénients ont laissé place aux avantages et à une nouvelle manière de régler les amplificateurs, pour les techniques les plus performantes.

### 2.1 - BIASING PAR RÉSISTANCE DE CATHODE

Ce circuit est également appelé «cathode bias» ou «biasing automatique» car il ne requiert pas de réglage manuel.

#### FONCTIONNEMENT

Le courant circulant dans le tube est utilisé pour créer la tension négative nécessaire pour la polarisation de la grille : lorsque le courant circulant dans le tube traverse la résistance de cathode, il crée une tension à ses bornes et relève donc le potentiel électrique de la cathode par rapport à la masse. La grille étant connectée à la masse par le biais d'une autre résistance dans laquelle aucun courant ne circule, cette dernière est au potentiel de la masse, et donc à un potentiel inférieur à la cathode : elle est polarisée par une tension négative (au regard de la cathode).

Le système se régule automatiquement à un point d'équilibre : plus le courant dans le tube est élevé, plus la tension de la grille est négative par rapport à la cathode. Plus la tension de la grille est négative, plus le courant dans le tube diminue.

La figure suivante expose un schéma typique de biasing à cathode :

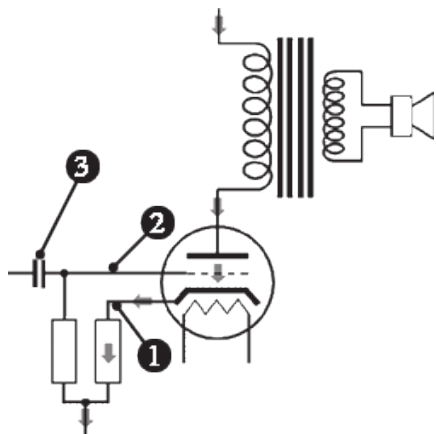


Figure 1 : Circuit de biasing par résistance de cathode

- 1 - Tension de cathode** créée par le courant circulant dans le tube ;
- 2 - Tension de la grille de contrôle**, de valeur négative au regard du potentiel de la cathode ;
- 3 - Condensateur d'entrée**, ne laisse passer que les signaux audio en ne perturbant pas le système de polarisation.

## AVANTAGES ET LIMITATIONS

Ce circuit a pour avantage sa simplicité car seuls une résistance et un condensateur sont nécessaires, composants économiques et très largement disponibles. Par ailleurs, il fonctionne relativement bien sur une large gamme de tubes sans aucun ajustement. Il comporte cependant un certain nombre de désavantages.

En premier lieu, une perte de puissance se fait ressentir. Les tubes de puissance nécessitent une tension de grille élevée. Cette tension étant prélevée sur la tension d'alimentation du tube, celui-ci travaille avec une tension entre cathode et anode moindre, et donc une puissance limitée. Cela constitue également une perte de rendement car une certaine puissance est simplement

perdue pour la polarisation sans contribuer à la production de son.

Par ailleurs, le son est également, d'une certaine manière, perturbé. Pour maintenir constante la tension aux bornes de la résistance de cathode malgré les variations de courant dues à l'amplification des signaux et donc à la production de puissance vers les haut-parleurs, un condensateur de filtrage d'une forte valeur (non représenté sur l'illustration) est requis. Ce condensateur est mis en parallèle de la résistance de cathode, si bien que les variations de courant ne produisent pas une variation de tension à ses bornes, ce qui perturberait la polarisation. Les caractéristiques de ce composant ne sont pas constantes et varient en fonction de la fréquence, notamment. Cela conduit à un changement de polarisation en fonction des fréquences, ce qui altère la qualité de restitution du son.

De plus, le courant n'est pas totalement stabilisé. Le courant de bias est régulé mais sa valeur n'est pas précise car elle dépend du tube et de son état d'usure, ce qui constitue un problème majeur notamment pour les topologies Push-Pull. Deux tubes en Push-Pull auront alors très certainement un courant de bias sensiblement différent. Au cours du temps, la topologie push-pull tend par ailleurs à amplifier ce déséquilibre.

Finalement, ce système de bias provoque un pic de courant au démarrage de l'amplificateur, ce qui abîme les tubes.

Lorsque la haute tension est appliquée au tube, le condensateur de filtrage situé aux bornes de la résistance de bias n'est pas chargé. Ce faisant, la tension de grille du tube n'est pas encore négative. Ainsi, le courant s'établissant dans le tube au moment où la haute tension apparaît peut être élevé, à un moment où le tube n'a pas encore atteint sa température de fonctionnement, ce qui peut l'abîmer. Au fur et à mesure que le condensateur se charge, le courant se rapproche de la valeur prévue.

La figure suivante présente le pic de courant enregistré au travers d'une EL34 au démarrage, polarisée pour 50mA.

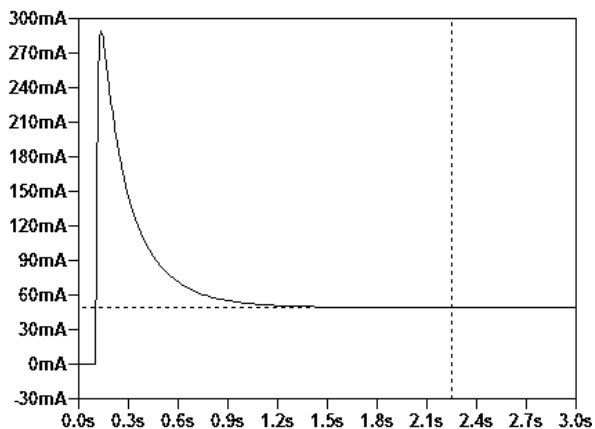


Figure 2 : Courbe d'un pic de courant dans un tube au démarrage, pour une polarisation par résistance de cathode.

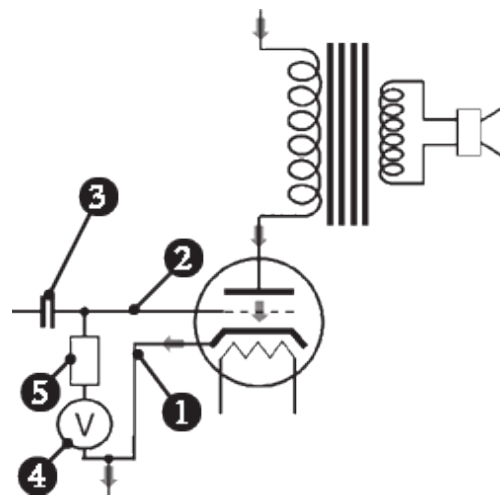


Figure 3 : Circuit de biasing fixe

Un compromis apparaît alors: plus le condensateur est élevé, moins les signaux amplifiés par le tube perturberont la polarisation, mais plus important sera le pic de courant au démarrage.

Ces raisons font que ce circuit de biasing n'est employé pour les tubes de puissance que dans les appareils les plus économiques.

## 2.2 - BIASING FIXE

Cette méthode est généralement appelée «bias fixe» ou «fixed bias» car le contrôle de la grille n'est pas «flottant» comme il l'est avec le circuit de résistance de cathode, mais fixé par le biais d'un générateur de tension dédié, pour chaque tube.

### FONCTIONNEMENT

Cette tension de bias doit être ajustée manuellement, lorsque l'amplificateur est en fonctionnement, en fonction des mesures de courant faites pour chaque tube. Cette procédure d'ajustement ne comporte pas de difficulté particulière, mais peut se révéler extrêmement dangereuse dans les cas où l'amplificateur doit être ouvert alors qu'il est sous tension, afin de procéder au réglage.

La figure suivante illustre un circuit typique de bias fixe :

- 1 - **Tension de cathode** : connectée directement à la masse, la cathode présente une tension nulle ;
- 2 - **Tension de grille de contrôle** : cette tension est rendue négative au regard de la cathode grâce à la source de tension (4) ;
- 3 - **Condensateur d'entrée** ;
- 4 - **Source de tension ajustable** : cette source crée la tension négative appliquée à la grille de contrôle et est ajustée pour régler la valeur du courant de bias ;
- 5 - **Résistance de haute valeur** : elle permet d'appliquer la tension négative à la grille, tout en laissant les signaux audio y transiter.

### AVANTAGES ET LIMITATIONS

Tout en offrant l'avantage de ne pas perdre de puissance dans une résistance de cathode, cette méthode comporte un certain nombre d'inconvénients.

En premier lieu, des réglages réguliers sont nécessaires. Ces réglages doivent être réalisés afin de compenser l'usure des tubes. Par ailleurs, ils ne peuvent être réalisés immédiatement après l'allumage de l'appareil, mais après un certain temps au cours duquel les tubes auront atteint des températures de fonctionnement stables.

Lorsque ces réglages sont réalisés, ils changeront les courants moyens dans les tubes et provoqueront alors un changement de leurs températures, ce qui imposera d'attendre de

nouveau leur stabilisation thermique avant de procéder à un nouvel ajustement. C'est alors un réglage qui, pour être parfait, doit être effectué par étapes, ce qui est fastidieux.

Les risques de pannes sont également accrus. Un mauvais réglage de bias peut conduire en une panne de l'appareil et en la destruction des tubes ou des alimentations. Ces réglages évoluant dans le temps et au fur et à mesure que l'amplificateur atteint sa température de fonctionnement, ils doivent être revus régulièrement et le risque de réaliser un mauvais réglage est réel.

Cette méthode présente également des instabilités, car ce circuit ne peut pas compenser les facteurs affectant le bias tel que les variations de tension du secteur, ou l'état de chauffe des tubes. Une variation de tension secteur produit, sur les appareils dont la haute tension n'est pas stabilisée, une variation de la tension d'alimentation des tubes, ce qui change également le réglage des bias. Le risque est alors que le réglage se « décale » et conduise un tube à absorber un courant plus important, réduisant sa durée de vie ou provoquant sa destruction.

Le résultat, si positif, est la quantité de courant en excès, ou la quantité de courant manquant si négatif. Ce résultat est traité par un amplificateur qui convertit la valeur positive ou négative en une tension négative appliquée sur la grille de contrôle.

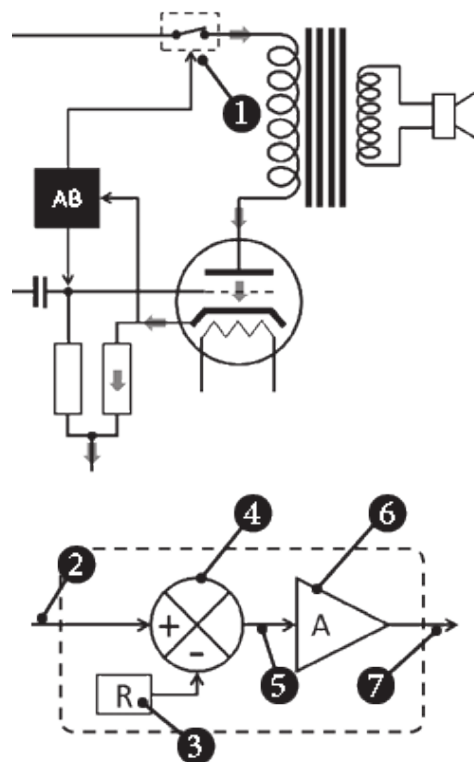


Figure 4: Circuit de bias adaptatif

## 2.3 - BIASING ADAPTATIF

Ces circuits sont plus évolués que les précédents. Ils se situent en lieu et place de la source de tension vue précédemment et régulent le courant de bias en mesurant sa valeur et en agissant sur la tension appliquée à la grille.

### FONCTIONNEMENT

Ce sont des circuits purement analogiques, certains ont la capacité de stopper la haute tension appliquée aux tubes dans le cas où le courant dans l'un des tubes deviendrait trop important.

Pour réaliser cela, le courant est mesuré par l'intermédiaire d'une résistance de faible valeur placée au niveau de la cathode du tube. Le courant de référence (qui est la valeur à laquelle on souhaite régler le bias) est alors soustrait au courant mesuré à l'aide de circuits analogiques.

- 1 - **Relais haute tension** : permet d'appliquer ou de supprimer la haute tension alimentant les tubes ;
- 2 - **Entrée de la mesure du courant** : permet de mesurer les courants circulant au travers des tubes ;
- 3 - **Courant de référence** : valeur de courant que le système cherche à atteindre ;
- 4 - **Soustracteur** : le courant de référence est soustrait au courant mesuré ;
- 5 - **Résultat de la soustraction** : indique la quantité de courant en excès ou en manque ;
- 6 - **Amplificateur** : convertit le résultat en une tension négative pouvant piloter la grille du tube ;
- 7 - **Tension de pilotage** : tension négative appliquée sur la grille de contrôle.

Ce circuit électronique est souvent réalisé sur une carte électronique spéciale, de faibles

dimensions, à l'aide de circuits analogiques discrets.

## AVANTAGES ET LIMITATIONS

Ces circuits présentent l'avantage de ne pas nécessiter une intervention de l'utilisateur, les réglages étant réalisés en permanence et de manière automatique. Dans sa version évoluée, la possibilité d'éteindre l'alimentation haute tension dans le cas où le courant traversant l'un des tubes est trop important est également un gage de fiabilité.

Il est envisageable de rajouter ce système à un amplificateur existant, afin d'obtenir un meilleur contrôle des bias, et ce relativement facilement.

Des désavantages persistent cependant, tels que l'impossibilité de détecter certaines pannes et l'impossibilité de régler la valeur du courant de référence.

De plus, le bias est ajusté en permanence et de la même manière, au démarrage de l'amplificateur et pendant son fonctionnement, ce qui dégrade le son.

Certains fabricants indiquent également qu'il est nécessaire d'attendre au minimum 5 minutes entre une extinction et un nouvel allumage, afin de réinitialiser le système de bias, sous peine d'endommager l'amplificateur. Cela est dû au fait que le système est entièrement conçu en électronique analogique et qu'il serait alors extrêmement difficile de faire réagir de manière différente en fonction des phases d'allumage, de fonctionnement et d'extinction de l'amplificateur.

## 2.4 - BIASING INTELLIGENT

La nouvelle génération de système de biasing utilise des microprocesseurs, afin d'obtenir des performances et fiabilités inégalées. Les versions les plus usitées présentent même des fonctionnalités innovantes.

### FONCTIONNEMENT

Le système de bias intelligent utilise un microprocesseur afin de créer un comportement

impossible à atteindre avec les méthodes précédemment évoquées. Il devient alors possible de réaliser des programmes très complexes, prenant en compte un grand nombre de paramètres et modifiant leurs comportements en fonction des situations, particulièrement en cas de démarrage, d'arrêt et de pannes.

L'organisation typique du système intelligent, dans sa version la plus simple, est constituée d'un bloc d'électronique analogique permettant au microprocesseur de mesurer les courants circulant dans les tubes (bias), d'une part, et de régler les tensions analogiques de grilles des tubes (donc de régler les courants de chaque tube), d'autre part. Un second bloc d'électronique numérique, connecté au bloc analogique, comprend notamment le microprocesseur ainsi que des signaux permettant la mise en route et l'extinction du système.

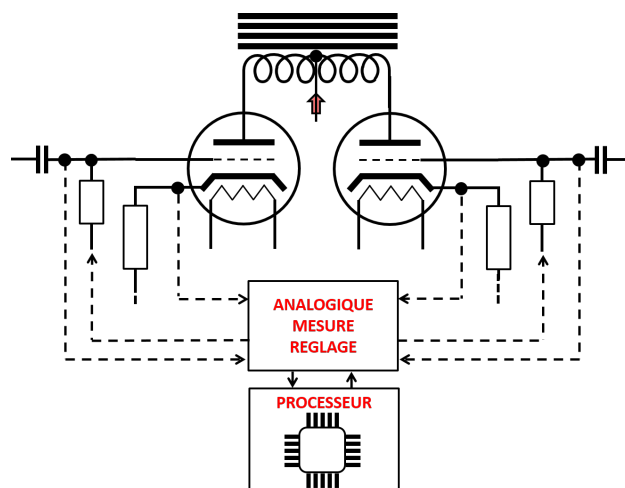


Figure 5 : Circuit de biasing intelligent

## AVANTAGES ET LIMITATIONS

Cette solution de biasing présente de nombreux avantages impossibles à atteindre avec les autres systèmes de biasing.

Dans les versions les plus simples de biasing intelligents, certaines erreurs peuvent être détectées, conduisant en une protection accrue de l'appareil. Pour exemple, un tube consommant trop de courant lors de l'application de la haute tension pourrait être détecté car le microproces-

## 3 - AUTRES CONSIDÉRATIONS

### 3.1 - LES PERTURBATIONS DU BIAS

seur verrait une surconsommation. Les circuits de «biasing adaptatifs», de même que les fusibles, ne peuvent pas gérer ce type d'erreur car ils ne peuvent pas adapter leurs seuils de courants en fonction de l'état de démarrage et de chauffe dans lequel se situe l'amplificateur. Le courant dans le tube au démarrage et pour une tension de polarisation très négative est en effet très faible. En cas de défaut, il peut être inférieur au courant maximal en fonctionnement. Ce problème sera détecté par un circuit de biasing intelligent car son seuil de courant aura été automatiquement ajusté pendant cette phase de démarrage.

La stabilisation est également plus précise car l'électronique numérique ne se dérègle ni avec le temps, ni avec la température. Le réglage est généralement effectué à chaque démarrage, garantissant un niveau d'équilibre des courants inégalé, sans aucune intervention de la part de l'utilisateur.

Les systèmes de biasing intelligents les plus évolués peuvent mettre en œuvre des protections plus complètes. Le Smart Bias est ainsi développé de manière globale, grâce à une chaîne de microprocesseur surveillant jusqu'aux hautes tensions d'alimentation des tubes. La totalité de l'amplificateur est commandé, conduisant en des séquences de mise en route et d'extinction très abouties.

Par ailleurs, et de manière tout à fait inédite, le bias peut être changé «à la volée», pour adapter la signature sonore de l'amplificateur à la musique écoutée.

Ces techniques de biasing intelligentes présentent alors des performances nettement supérieures, mais nécessitent de la part des fabricants des investissements de conception importants ainsi qu'une très bonne maîtrise tant des tubes électroniques que de l'électronique numérique et analogique.

L'architecture et les fonctionnalités du Smart Bias seront exposées dans une prochaine édition de «*Les chroniques techniques du tube*».

Un certain nombre de facteurs influent et perturbent la valeur du courant de bias. Le plus connu d'entre eux est l'usure des tubes : l'émissivité de la cathode du tube diminue et le courant, pour une même tension appliquée à la grille de contrôle, sera moindre.

La température ambiante provoquera également un décalage des courants de bias, car le tube atteindra une température différente, ce qui changera l'émissivité de la cathode.

De même, la fluctuation de la tension d'alimentation peut changer de manière significative le courant de bias, principalement pour les tubes de type triode et dans une moindre mesure pour les tubes de type pentode. Il est alors intéressant de disposer d'une alimentation haute tension régulée, afin de conserver le réglage des bias correct.

La figure suivante expose l'évolution du courant de bias d'un tube EL34 en fonction de la tension entre l'anode et la cathode (350V et 400V), sans système de contrôle. On remarque que pour une même tension de grille, le courant n'est absolument pas identique.

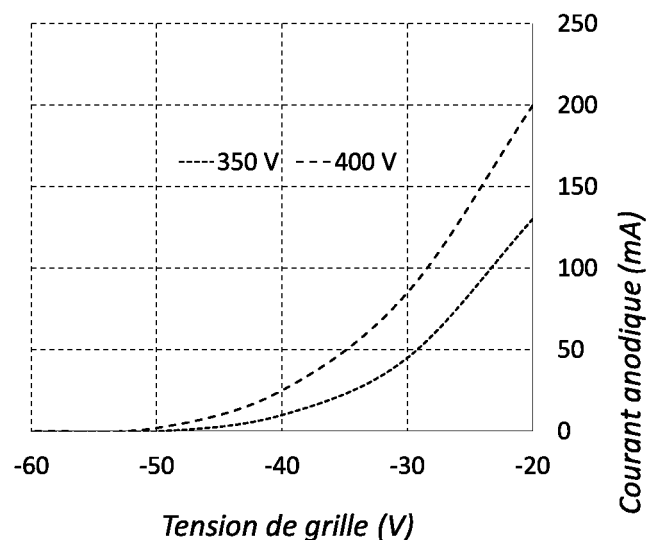


Figure 6 : Influence de la tension d'alimentation sur le courant anodique

Beaucoup de ces facteurs ne peuvent pas être aisément contrôlés et cela conduit en une dérive des courants de bias pour certaines des techniques exposées ci-dessus.

Seuls des systèmes de biasing évolués permettent de compenser ces phénomènes et maintiennent les performances et la musicalité d'un amplificateur à tubes dans toutes les conditions d'utilisation.

### **3.2 - LES TUBES APPARIÉS**

Certains amplificateurs nécessitent l'utilisation de tubes appariés (également appelés tubes appairés). Les tubes appariés sont des tubes sélectionnés afin de présenter des caractéristiques similaires, mais malgré tout différentes, chaque tube étant unique.

La qualité de l'appariage (également appelé appairage) est alors primordiale et il est nécessaire d'apparier suivant de nombreux paramètres, dont la transconductance et le gain, mais également sous de multiples tensions d'alimentations et idéalement à la tension d'alimentation à laquelle est utilisé le tube. Les tubes appariés peuvent présenter des écarts de caractéristiques de 2% à 20% suivant la qualité de l'appariage.

L'utilisation des tubes appariés est obligatoire pour les amplificateurs ne disposant que d'un système de bias fixe non réglable afin d'obtenir des courants de bias similaires.

Ces courants, bien que similaires, demeurent différents. Un bias correct ne sera alors pas garanti et les écarts entre les courants des différents tubes s'accroîtront avec l'usage.

Les systèmes de bias évolués permettent quant à eux d'utiliser des tubes non appariés. Pour autant, il est recommandable d'utiliser des tubes appariés avec tout type de système de bias, car leurs caractéristiques dynamiques seront similaires, les tubes produisant alors un son de meilleure qualité.

## **4 - REMARQUES FINALES**

Plusieurs techniques de biasing existent, de la plus simple à la plus évoluée. Les désavantages rencontrés se concentrent au niveau de l'équilibre des courants de bias, de leur nécessaire ajustement régulier et de la gestion des pannes.

De nombreux facteurs dont le contrôle est difficile dérèglent les courants de bias, ce qui explique que les techniques à réglage manuel ne sont pas optimales même dans le cas d'interventions régulières.

L'appariage des tubes est une opération complexe et qui doit être réalisée avec le plus grand soin, l'utilisation des tubes appariés étant parfois indispensable et souvent recommandée.

La technologie Smart Bias™ est le système de biasing intelligent le plus évolué du marché et ouvre de nouvelles perspectives aux amateurs de musique. Il permet de conserver les courants de bias stables et précis, et de contrer les différents facteurs pouvant les déstabiliser. Il limite les pics de courants au démarrage et à l'extinction, économisant les tubes.

De plus, il permet de changer la valeur du courant pendant le fonctionnement de l'amplificateur, à l'aide d'un sélecteur, afin d'obtenir le meilleur réglage de l'amplificateur pour chaque style de musique, ce qui est tout à fait inédit.

L'architecture et les fonctionnalités détaillées du Smart Bias seront exposées dans une prochaine édition de «*Les chroniques techniques du tube*».