

Lead

COURS N° 4 : ET SI ON PARLAIT : «TUBES»

DE LA DIODE À LA TRIODE : LA GRILLE

AMPLIFICATEUR HYBRIDE DE 2 x 6 Weff

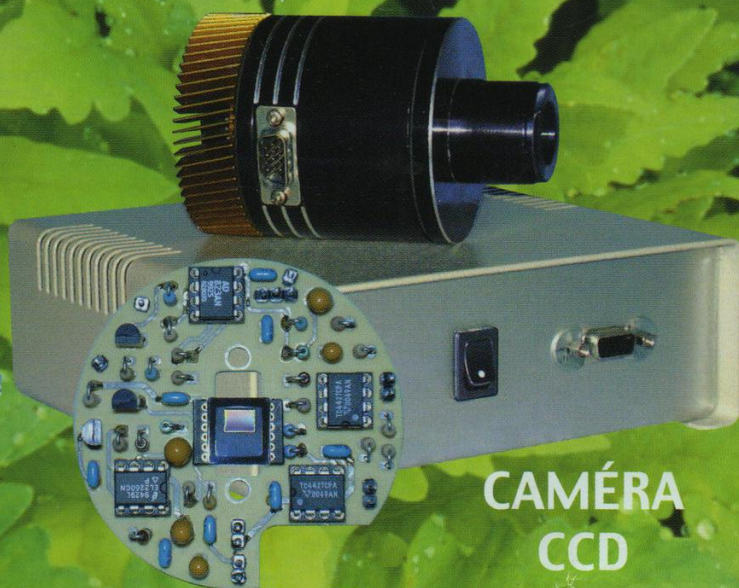
PRÉ-PRÉ POUR DISQUES VINYLES

CAMÉRA CCD SEMI-PROFESSIONNELLE

AMPLIFICATEUR PUSH-PULL DE TRIODES 2A3



**PRÉAMPLIFICATEUR 6 ENTRÉES
AVEC PRÉ-PRÉ POUR DISQUES VINYLES**



**CAMÉRA
CCD**



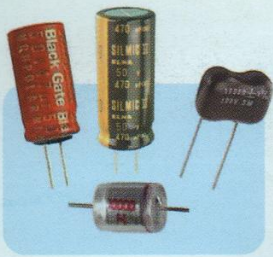
PUSH-PULL DE TRIODES 2A3

M 01226 - 177 - F: 4,50 € - RD



Quoi de Neuf chez Selectronic ...

Composants pour montages AUDIOPHILES ...



Condensateurs BLACKGATE :

- Série BG : pour découplage,
- Série BG-C : pour liaison,
- Série BG-N : non polarisés

ELNA : SILMIC-II STYROFLEX de précision

- de 100 pF à 82 nF
- MICA argenté 1%**
- de 10 pF à 100 nF

Transformateurs d'alimentation type "R"

Ce qui se fait de mieux pour vos appareils audio

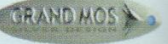
- Faibles pertes.
- Très faible capacité E/S.
- De 30 VA à 500 VA.



Kits Selectronic pour AUDIOPHILES



kit Triphon II Série GRAND MOS



Le **TRIPHON II** est l'évolution ultime du célèbre filtre actif 3 voies TRIPHON. Nous y avons apporté de nombreuses améliorations d'ordre technique et pratique. Il bénéficie d'une exceptionnelle conception audiophile. Pour compléter idéalement le filtre, nous avons conçu un quadruple amplificateur **classe A** issu du Grand Mos. **Transparence et musicalité absolues.**

Section filtre actif

- Cellules R-C à pente 6 dB cascadeables • 3 voies configurables en 6 ou 12 dB • En 12 dB : filtre LINKWITZ-RILEY vrai • Voie Médium : configurable en passe haut ou passe bande • Fréquences de coupure : au choix • Câblage réduit au strict minimum.

Section amplificateurs

- Alimentations totalement séparées pour les voies droites et gauches • 4 x16 W RMS / 8 ohms, pure classe A • Technologie MOS-FET.

Divers

- Connectique Argentée - Isolant PTFE (Téflon) • Circuits imprimés Verre-Téflon pour les cartes filtres et amplificateurs • Utilisation de transistors soigneusement triés par paires complémentaires • Coffrets représentant l'esthétique du GRAND MOS, pour réaliser un ensemble harmonieux (face avant massive de 10mm et radiateurs latéraux).



Filtres actifs



Amplificateurs

Le Kit **COMPLET** Filtre + Ampli 115.4250-2 ~~1769,00€~~ **PROMO 1590,00 € TTC**

Supports TEFLON

Supports en **PTFE** (Teflon) massif usiné. Contacts **ARGENTÉS** (sauf indication contraire).

NOUVEAU

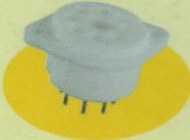
Pour vos réalisations à TUBES

Modèle 1



Pour tubes : **300B, WE274A**
La pièce 115.2228-1
43,20 € TTC

Modèle 2



Pour tubes : **KT88, 6550A, 6SN7**, etc.
La pièce 115.2228-2
58,60 € TTC

Modèle 3



Contacts dorés
Pour tubes : **EL84, ECC83, 12AU7, 12AX7**, etc.
La pièce 115.2228-3
89,00 € TTC

Modèle 4



Pour tubes : **845**, etc.
La pièce 115.2228-4
99,00 € TTC

Kit BASIC Préamp

Basique mais tout ce qu'il y a de plus audiophile !



- Préamplificateur présenté en configuration minimum : 2 entrées commutables bénéficiant des meilleurs étages audiophiles disponibles • Entièrement à composants discrets, condensateurs haut de gamme (Styroflex, BLACKGATE), potentiomètre ALPS • Pourvu d'une entrée RIAA de très haute qualité ce préampli est idéal dans une installation simple, et / ou pour les personnes désireuses d'écouter ou graver leur disques vinyle sur PC.

Le kit **COMPLET** 115.6200 199,00 € TTC

Galva ronds - Design rétro "AVIATION"

NOUVEAU

Dimensions : 40 x 40 x 40 mm. Perçage : Ø 39 mm.



Enjoliveur

Ampèremètre 50mA

RDC = 1,6 kOhms
La pièce 115.2113-1 115,00 € TTC

Ampèremètre 300mA

RDC = 180 Ohms
(NB: nécessite un shunt)
La pièce 115.2113-3 115,00 € TTC

Vu-mètre -20 à +3 dB

(0 dB = 1,228 V)
RDC = 26 kOhms
La pièce 115.2113-5 115,00 € TTC

Ampèremètre 150mA

RDC = 1,6 kOhms
(NB: nécessite un shunt)
La pièce 115.2113-2 115,00 € TTC

Voltmètre ±300mVcc

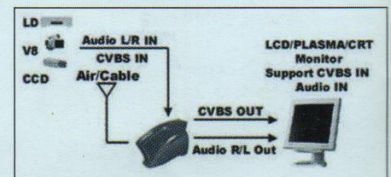
RDC = 6 kOhms
La pièce 115.2113-4 115,00 € TTC

Enjoliveur pour d°

En aluminium anodisé "LAITON"
La pièce 115.2113-6 28,00 € TTC

Tuner TV UNIVERSEL externe

- Compatible avec tout moniteur (LCD, PLASMA, CRT) avec entrée vidéo composite.
- Compatible PAL, SECAM, NTSC.
- Standard du signal vidéo composite de sortie identique à celui du signal d'entrée.
- Recherche de station automatique.
- Avec télécommande.
- Entrées :
 - 75 ohms (antenne ou câble)
 - Vidéo composite et Audio.
- Sorties :
 - Vidéo composite (RCA)
 - Audio stéréo (compatible NICAM).
- Alimentation par bloc-secteur fourni.



Le tuner TV 115.0390 145,00 € TTC

Selectronic
L'UNIVERS ELECTRONIQUE



Magasin de PARIS

11, place de la Nation
Paris Xle (Métro Nation)

Tél. 01.55.25.88.00

Fax : 01.55.25.88.01



Magasin de LILLE

86 rue de Cambrai
(Près du CROUS)

86, rue de Cambrai - B.P 513 - 59022 LILLE Cedex

Tél. 0 328 550 328 Fax : 0 328 550 329

www.selectronic.fr

Conditions générales de vente : Règlement à la commande : frais de port et d'emballage 4,50€, FRANCO à partir de 130,00€. Contre-remboursement : +10,00€. Livraison par transporteur : supplément de port de 13,00€. Tous nos prix sont TTC.

Led

Société éditrice :
Editions Périodes
Siège social :
5 bd Ney, 75018 Paris

SARL au capital de 7 775 €
Directeur de la publication
Bernard Duval

Led

Bimestriel : 4,50 €
Commission paritaire : 64949
Tous droits de reproduction réservés
textes et photos pour tous pays,
LED est une marque déposée
ISSN 0753-7409

Services :

Rédaction - Abonnements :

01 44 65 88 14

5 bd Ney, 75018 Paris
Ouvert de 9 h à 12h30 et de
13h30 à 18 h - Vendredi : 17 h

Ont collaboré à ce numéro :

Rinaldo Bassi
André Cochetoux
Bernard Dalstein
Bernard Duval
Jérôme Gest

Abonnements :

6 numéros par an :
France : 19 €
Etranger : 27 €
(Ajouter 8 € pour les expéditions
par avion)

Publicité :

Bernard Duval

Réalisation :

- PV Editions
Christian Mura
Frédy Vainqueur

Secrétaire de rédaction :

Fernanda Martins

Photos :

Antonio Delfin

Impression :

Berger Levraut - Toul
Imprimé en France

6

LA CLÉ DE L'ÉLECTRONIQUE À TUBES ? DE L'AUDION À LA TRIODE (COURS N° 4)

En 1907, Lee De Forest qui vient d'avoir l'idée lumineuse de glisser une grille entre la cathode et l'anode d'une diode de Fleming observe de curieux phénomènes : la triode était née. Sans la triode, nous serions certainement restés sourds et aveugles pendant de longues années. Tout part de là !



16

MU-FOLLOWER DE PUISSANCE MONO-TUBE (1^{ÈRE} PARTIE)

Le circuit amplificateur qui va vous être présenté ici recèle de plusieurs particularités. D'une part, c'est un circuit mu-follower hybride dans lequel un Mos-Fet de puissance se substituera à la pentode communément utilisée, avec des avantages importants en terme de gain, d'impédance de sortie et de dissipation. D'autre part, c'est un circuit mono-étage qui se charge de fournir un gain en puissance suffisant pour attaquer des enceintes à haut rendement (94 dB ou plus), et ce avec un seul tube !

26

PREAMPLIFICATEUR AUDIOPHILE 6 ENTRES (3^{ÈME} PARTIE)

Compte tenu des très nombreuses demandes concernant la description de la partie vinyle, nous avons décidé d'inverser l'ordre de parution initialement prévu. Vous trouverez dès maintenant la description de la carte «PRE-PRE VINYLE», la version professionnelle définitive du préamplificateur sera décrite dans le numéro suivant cette parution.

36

K2, NOTRE CAMÉRA CCD DESTINÉE À L'ASTRONOMIE : LA TÊTE OPTIQUE (1^{ÈRE} PARTIE)

Notre objectif est de vous proposer la réalisation complète et détaillée d'une caméra CCD d'instrumentation, principalement dédiée à l'astronomie. Bien qu'il s'agisse d'un dispositif majoritairement électronique, il vous permettra d'aborder des notions de mécanique, d'optique, de thermodynamique et d'informatique : tout un programme !

52

PUSH-PULL DE 2A3 : 2 x 12 Weff / 4 ET 8 Ω SANS CONTRE-RÉACTION

La 2A3 est une triode à chauffage direct qui ressemble beaucoup à la 300B avec son enveloppe volumineuse et enflée, son embase à 4 broches.

Ne pouvant fournir qu'une puissance de 3,5 Weff avec 5 % de distorsion en simple étage, nous avons décidé de passer immédiatement au fonctionnement en push-pull pour bénéficier d'une puissance plus conséquente et ainsi pouvoir «driver» une paire d'enceintes au rendement moyen de 92 dB / 1 W / 1 m dans de bonnes conditions.



63

SERVICE CIRCUITS IMPRIMÉS

64

PETITES ANNONCES

DROITS D'AUTEUR

Les circuits, dessins, procédés et techniques publiés par les auteurs dans Led sont et restent leur propriété. L'exploitation commerciale ou industrielle de tout ou partie de ceux-ci, la reproduction des circuits ou la formation de kits partiels ou complets, voire de produits montés, nécessitent leur accord écrit et sont soumis aux droits d'auteurs. Les contrevenants s'exposent à des poursuites judiciaires avec dommages-intérêts.

VENTE AU NUMÉRO

à adresser aux EDITIONS PÉRIODES, Service abonnements, 5, boulevard Ney 75018 Paris

N° 151

- Kitty 255. Caméra CCD d'instrumentation, réalisation de la tête de caméra (2^{ème} partie)
- Le PUSH : amplificateur de 2 x 12Weff à ECL86 Push-Pull en ultra-linéaire
- CAPACIMÈTRE Numérique 20 000 points
- Chaîne triphonique de 3 x 75 Weff pour sonorisation ou écoute Hi-Fi (2^{ème} partie)

N° 152

- Photocopies de l'article** (Prix de l'article : 4,60 €) :
- La triode 300B. Amplificateur de 2 x 9 Weff en pure classe A sans contre-réaction

N° 154

- Multimètre 4 rampes 35 000 points (2^{ème} partie)
- La 300B en push-pull classe A de 20 Weff et sans contre réaction
- Jeu de lumières 4 voies. Des lumières au rythme des notes
- KITTY 255 : caméra CCD : l'interface 8 bits (5^{ème} partie)

N° 156

- En Savoir Plus Sur : La protection des transistors de puissance bipolaires
- Module amplificateur de 150 Weff à TDA7294
- Filtre actif 2 voies pour caisson d'extrême grave (4^{ème} partie)
- Caméra CCD d'instrumentation équipée du capteur TC237 (7^{ème} partie)
- Générateur vobulé 1 Hz - 1,5 MHz avec marqueur

N° 157

- La 6L6 : Reine des tétrodes. Double Push-Pull stéréo de 2 x 40 Weff
- Utilisez votre oscilloscope en écran de télévision
- Filtre actif 3 voies pour caisson de grave et satellites : le passe-bande (5^{ème} partie)
- Gén. vobulé 1 Hz - 1,5 MHz avec marqueur (2^{ème} partie)
- Les déphaseurs : le double cathodes

N° 158

- Commande d'un moteur Pas à Pas bipolaire avec le kit de développement 68HC11
- Préamplificateur bas niveau à tubes ECC83/ECC81 pour platines vinyls ou microphones
- Enceinte deux voies Euridia 2000
- Générateur vobulé 1 Hz - 1,5 MHz avec marqueur (3^{ème} partie)

N° 159

- Commande d'un moteur Pas à Pas Unipolaire avec le kit de développement 68HC11
- Enceinte deux voies Euridia 2000 (2^{ème} partie)
- Générateur vobulé 1 Hz - 1,5 MHz avec marqueur l'Anti-Barkhausen (4^{ème} partie)
- Le single : amplificateur de 2 x 8 Weff en classe A

N° 160

- Caméra Kitty : l'interface 12 bits (8^{ème} partie)
- Les Tubes KT88 / KT90 : un push-pull en ultra-linéaire classe AB1 de 2 x 50 Weff
- BC Acoustique/SEAS : kits d'enceintes pour le HC
- Le Single II : amplificateur de 2 x 11 Weff en classe A avec tétrodes 6550

N° 161

- Caméra CCD d'instrumentation : programmation de la carte 12 bits (9^{ème} partie)
- La Coaxiale : mini enceinte de 5 litres
- Le Triode 845 : amplificateur de 2 x 18 Weff en Single End sans contre-réaction (1^{ère} partie)

N° 162

- Boîte de mesure secteur
- GBF Synthétisé 0,1 Hz - 102,4 kHz (1^{ère} partie)
- Horloge murale avec fonction Thermomètre : une application du kit de développement 68HC11
- Le Triode 845 : amplificateur de 2 x 18 Weff en Single End sans contre-réaction (2^{ème} partie)

N° 163

- Horloge murale avec fonction Thermomètre : une application du kit 68HC11 (2^{ème} partie)
- Filtre actif 2 voies à triodes ECC83, pente d'atténuation de 12 dB/octave
- GBF synthétisé 0,1 Hz - 102,4 kHz : 2 sorties multifonctions à déphasage programmé ou sinus vobulé avec marqueur (2^{ème} partie)
- Le Triode 845 (3^{ème} partie)
- La Mesure des résistances de faibles valeurs Milli-Ohmmètre de précision

N° 164

- Horloge Murale dotée d'une fonction Thermomètre : application du kit de développement 68HC11 (3^{ème} partie)
- Enceinte active 2 voies Opus 2VA
- Amplificateur / mélangeur : 5 entrées mono 2 x 50 Weff avec correcteur de tonalité
- GBF synthétisé 0,1 Hz - 102,4 kHz : 2 sorties multifonctions à déphasage programmé ou sinus vobulé avec marqueur (3^{ème} partie)

N° 168

- Photocopies de l'article** (Prix de l'article : 4,60 €) :
- Préampli haut niveau à tubes : ECC83 / ECC81 4 entrées / 2 sorties à basse impédance
 - Un bloc amplificateur mono de très forte puissance : 280 Weff/8 Ω avec des LM3886 (1^{ère} partie)

N° 169

- Photocopies de l'article** (Prix de l'article : 4,60 €) :
- Amplificateur de 2 x 60 Weff : un push-pull de tétrodes 6550 avec déphaseur 6SN7
 - Préampli à tubes ECC83/ECC81. Complément d'informations du haut niveau au bas niveau (2^{ème} partie)
 - Un bloc amplificateur mono de très forte puissance : 280 Weff/8 Ω avec des LM3886 (2^{ème} partie)

N° 170

- Correcteur d'acoustique 10 voies à amplis OP à FET OPA-604AP
- Le MICROCONTROLEUR SX28 (Scénix). Réalisation d'un chronomètre de précision (3^{ème} partie)
- Filtre actif triphonique de 24 dB/Octave. Aiguillage à 100 Hz
- Amplificateur classe A de 2 x 15 Weff avec tétrodes 6V6

N° 172

- Photocopies de l'article** (Prix de l'article : 4,60 €) :
- Push-Pull de 845 : Bloc mono de 40 Weff (1^{ère} partie)

N° 173

- Photocopies de l'article** (Prix de l'article : 4,60 €) :
- Push-Pull de 845 : Bloc mono de 40 Weff (2^{ème} partie)
 - Les alimentations H.T. pour amplificateurs à tubes (1^{ère} partie)

N° 174

- Et si on parlait : « tubes » ? Remontons en arrière voulez-vous ? (Cours n°1)
- Réalisation d'un analyseur spectral audio 2x8 voies piloté par le kit SX28 (7^{ème} partie)
- Compte rendu d'écoute du push-pull 845
- Amplificateur en classe A Single-End avec MOS-FET 2SK1058, sans contre réaction
- Dispositif d'alimentation pour le rétro-éclairage des modules LCD
- Les alimentations pour amplificateurs à tubes (2^{ème} partie)

N° 175

- La clé de l'électronique à tubes. (Cours n°2)
- Amplificateur audio en d mos avec le TDA 7293 de STMicroelectronics
- Les circuits SRPP
- Single End en quatuor avec tubes 7189 ou EL84M
- Enceinte avec HP RADIANT 2312
- Filtre actif 2 voies butterworth ordre 6-36 dB/octave
- Préamplificateur audiophile de très haute performance (1^{ère} partie)

N° 176

- La clé de l'électronique à tubes. Électron libre, pas pour longtemps !... (Cours n° 3)
- SRPP et bêta-follower
- Réalisation pratique du Préamplificateur audiophile (2^{ème} partie)
- Amplificateur stéréophonique double Push-Pull de triodes 6AS7-G ou 6080 : 2 x 18 Weff

Je vous fais parvenir ci-joint le montant de €
par CCP par chèque bancaire par mandat

4,60 € le numéro
(frais de port compris)

Quelques numéros encore disponibles (prix 4,60 €) :
122, 123, 125, 132, 141, 143, 149, 155

Je désire :

- ...n° 151 ...n° 157 ...n° 161 ...n° 170
...n° 152 ...n° 158 ...n° 162 ...n° 174
...n° 154 ...n° 159 ...n° 163 ...n° 175
...n° 156 ...n° 160 ...n° 164 ...n° 176

Photocopies d'articles (**préciser l'article**) :

- ...n° 152 ... n° 169 ... n° 173
...n° 168 ... n° 172

NOM : PRÉNOM :

N° : RUE

CODE POSTAL : VILLE :

DE L'AUDION À LA TRIODE



Bon ! D'accord, on est plusieurs milliards à circuler entre la cathode et l'anode d'une diode... peinards si j'ose dire (c'est un électron qui nous parle). De temps en temps la tension change sur l'anode on accélère, tous ensemble ; la tension baisse on ralentit. On retrouve bien de temps en temps un copain dans la charge d'espace, mais enfin, «bof», çà manque d'animation tout çà ! Faudrait que çà remue un peu ! Patience les gars : Lee De Forest vient de placer une grille entre la cathode et l'anode, et croyez moi, çà va secouer... vous êtes prêts ?...

NAISSANCE DE LA TRIODE

Quand en 1907, Lee De Forest qui vient de glisser une grille entre la cathode et l'anode d'une diode de Fleming observe de curieux phénomènes : une faible variation de tension entre la grille et la cathode entraînant une forte variation de courant traversant le tube entre la cathode et l'anode : la triode était née (figure 1).

Lee De Forest qui avait baptisé son tube «l'Audion» (figure 1) avait, certainement sans le vouloir à l'époque, ouvert la porte

au maelström électronique de notre 20^{ème} siècle. Sans la triode, nous serions certainement restés sourds et aveugles pendant de longues années (quelqu'un aurait bien fini par l'inventer tout de même !).

Tout part de là, y compris l'invention du transistor en 1948 car au fond, le transistor a été inventé uniquement pour remplacer les triodes, pentodes et autres tubes dont l'inconvénient majeur était la taille et le chauffage.

Avant 1907, la diode de Fleming était déjà utilisée couramment mais, somme toute, elle n'était qu'un substitut aux



Figure 1

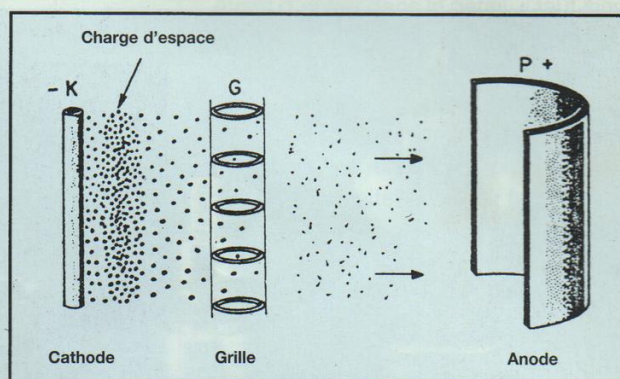


Figure 3 : coupe théorique d'une triode. La grille G portée à un potentiel plus ou moins négatif, va freiner plus ou moins les électrons négatifs qui passent à travers les mailles, attirés par la plaque portée à un potentiel positif. Si la grille est portée à un potentiel très négatif par rapport à la cathode, la totalité des électrons seront repoussés dans la charge d'espace, aucun courant ne traversera alors le tube. La grille de commande est l'élément fondamental du fonctionnement des tubes électroniques.



Figure 2 : éclaté d'une triode 300B de la collection Balaton que nous avons cassée exprès pour nos chers lecteurs (nous ne reculons devant aucun sacrifice !). On distingue nettement la grille qui entoure le filament en forme de W inversé ; la 300B était une triode à chauffage direct, en haut la plaque qui entoure l'ensemble.

détecteurs à cristaux ou au cohéreur de Branly qui étaient utilisés comme redresseurs. L'invention de De Forest a transformé la diode en un relais hypersensible qui peut commander des courants

intenses sans emprunter d'énergie à la source de commande (du moins en théorie) et tout cela grâce à la grille de commande.

Où est placée cette grille ? A proximité de

la cathode du tube (figure 2). En gros, comment cela fonctionne-t-il ? (figure 3). La grille est portée à un potentiel négatif par rapport à la cathode. Les électrons émis par cette dernière et qui se sont

ET SI ON PARLAIT : «TUBES»



Figure 4 : de gauche à droite : Triode 216B Western Electric (collection Balaton, 1922). Triode phare 2C41 : ce tube peut amplifier des fréquences jusqu'à 4 000 MHz ! (1942). Triode ECC83 très utilisée en audio. Triode céramique 6CW4 dite «Nuvistor» (1963) : le tube fétiche des pré-amplificateurs Conrad-Johnson.

entassés dans la charge d'espace vont être tentés de rejoindre l'anode portée à un potentiel positif ; mais la grille va avoir tendance à les repousser. Pour une valeur très négative de la tension de grille, aucun électron ne pourra rejoindre la plaque mais, moins la tension de la grille sera négative, plus un grand nombre d'électrons pourront passer à travers les mailles du filet et rejoindre la plaque. A l'extrême, lorsque la grille sera au potentiel de la cathode, tous les électrons iront vers l'anode ; le tube se comportera alors comme une diode. Ce qu'il faut savoir, c'est que **de très faibles variations de la tension négative de la grille entraîneront de très fortes variations du flux électronique dans le tube**, donc de courant emprunté à la source d'alimentation dans le circuit d'utilisation, et cela avec un apport d'énergie quasiment nul de la part de la source de commande. **C'est là la différence fondamentale entre un tube et un transistor**, seuls les transistors à effet de champ présentent un mode de fonctionnement à peu près similaire.

DE L'AUDION À LA TRIODE

Il faut bien avouer que l'invention de l'audion n'était pas parfaitement au point et

que en particulier le vide à l'intérieur de l'ampoule était loin d'être parfait.

Il fallut plusieurs années à De Forest pour comprendre que c'était là l'élément clé du bon fonctionnement de son Audion et pour que Mac Candless, qui fabriquait les tubes, réussit à obtenir un vide suffisamment poussé. Toujours est-il que sept ans plus tard, en 1913, l'intérêt exceptionnel de l'invention n'était toujours pas reconnu. Il est vrai qu'avec seulement 800 tubes vendus en 7 ans, les affaires de la société de Lee De Forest n'étaient pas brillantes. Les actionnaires excédés le traînèrent en justice où il fut inculpé et condamné pour escroquerie sans aucune circonstance atténuante. **L'acte d'accusation vaut son pesant d'or, surtout pour nous qui savons ce que l'humanité doit à l'invention de la triode.** Il est vrai que l'on ne pouvait pas demander à ces juges d'être clairvoyants, la justice n'est-elle pas représentée avec un bandeau sur les yeux ?...

L'acte d'accusation, le voici : il portait sur le fait de négocier les actions d'une société dont le seul actif était :

«Les brevets de Lee De Forest couvrant principalement un étrange dispositif (a strange device...) semblable à une lampe à incandescence qu'il nomme «Audion»

et dont on a démontré par expérience qu'il est sans aucun intérêt (wich device has provens to be worthless)...

Suivait : le résumé de la cause rapportée par le procureur...» ... Lee De Forest avait prétendu dans de nombreux articles sous sa signature : «qu'il serait possible de transmettre la voix humaine à travers l'océan Atlantique avant qu'il soit longtemps»... Se laissant égarer par ces propos aussi absurdes que délibérément trompeurs dus à Lee De Forest, le public aura été persuadé d'acheter des actions de la société en question... Attendu que... etc».

Lee De Forest fut condamné pour escroquerie... L'année d'après éclatait la guerre de 1914. En moins de quatre ans, les transmissions et l'amplification telles que nous les connaissons furent mises au point et utilisées intensément grâce à l'Audion : **Lee De Forest, fut mondialement reconnu comme le grand inventeur qu'il était.**

Malheureusement, cette condamnation le poursuivit toute sa vie et malgré l'intervention de centaines de scientifiques mondiaux, dont Albert Einstein, Louis de Broglie, Brillouin et d'associations tant américaines qu'européennes, **on lui refusa le prix Nobel, qu'il méritait cependant comme étant le père de toute l'électronique...**

Mais au fond, un prix Nobel, est-ce tellement important ? Combien de Prix Nobel sont-ils tombés dans l'anonymat le plus total alors que Lee De Forest, lui, reste bien vivant, surtout en ces jours de renaissance de l'électronique à tubes... Mais, trêve de digressions, si nous parlions de la triode ?...

LA TRIODE MODERNE

Certes, l'aspect a bien changé (figure 4) mais le principe reste toujours le même. Reportons-nous de nouveau à la figure 3 et affinons notre approche. Comme vous l'avez compris une faible tension, négative sur la grille va contrôler les flux électroniques en direction de l'anode. Que se

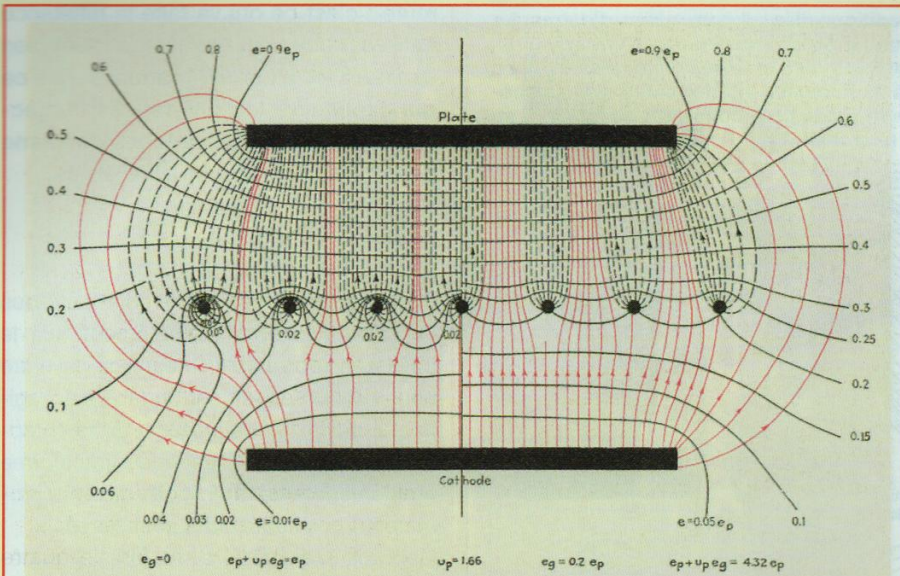


Figure 5 : répartition équipotentielle du champ électrique dans une triode théorique à électrodes planes. Les lignes parallèles aux électrodes représentent la répartition du gradient de potentiel entre la plaque (100 % de la tension) et la cathode à 0 V. Les lignes continues avec des petites flèches représentent le trajet des électrons à travers la grille (gros points noirs) et la plaque. De gauche à droite : valeurs négativement décroissantes de la tension de grille. Les lignes pointillées avec des flèches représentent le champ négatif produit par la grille. A gauche, peu d'électrons passeront entre les mailles alors qu'à droite un grand nombre atteindra la plaque. La partie en pointillés s'appelle «l'ombre de la grille». Elle est visible dans certains tubes de puissance dont le célèbre EL34.

passera-t-il si on provoque une faible variation de cette tension de grille, d'instinct on peut comprendre que cette faible variation de tension va entraîner une variation importante du flux électronique, donc une grande variation du courant dans le circuit «cathode, anode» : **c'est l'effet amplificateur.**

En réalité, le terme est incorrect : il n'y a pas à proprement parler d'amplification de la faible tension appliquée sur la grille mais **cette tension va «contrôler» le flux de courant** produit par la source principale. Si nous prenions une analogie hydraulique, nous pourrions représenter la grille comme la commande d'un robinet : en exerçant sur cette commande un faible effort, on peut contrôler un débit plus ou moins important de l'eau circulant dans la canalisation principale.

C'est ce terme «**contrôle**» qui est important - les anglo-saxons appellent d'ailleurs toujours la grille «**control grid**» - car on va pouvoir commander des courants

intenses, donc des puissances importantes sans aucun apport d'énergie (du moins en théorie) ; en effet les phénomènes mis en jeu à l'intérieur d'une triode parfaite, aucun courant ne peut circuler dans le circuit de grille.

Hélas, rien n'est parfait en ce bas monde et nous verrons plus loin qu'en réalité il circule un courant extrêmement faible, mais n'allons pas trop vite, voulez-vous ? Le fait qu'aucun courant ne circule dans le circuit de la grille de commande va nous permettre d'effectuer une masse d'opérations sur le signal, opérations qu'il est parfois difficile d'effectuer avec les semi-conducteurs qui, eux (à l'exception des FET), consomment une certaine puissance à la source, ce qui fait dire à certains, avec une certaine exagération il faut bien le dire, que si l'électronique avait commencé avec le transistor, l'invention du tube aurait été considérée comme une révolution.

Avant d'entrer dans le détail, il faut signaler que tous les tubes : tétrodes, pentodes, heptodes, etc, ne sont que des perfectionnements de la triode de base et que tous fonctionnent sur le même principe : les électrons (charges négatives d'électricité) émis par la cathode et regroupés dans la charge d'espace (appelée aussi nuage électronique) sont attirés par l'anode portée à un potentiel positif, mais sont plus ou moins freinés par la grille portée à un potentiel négatif. C'est leur petite taille qui va leur permettre de passer à travers les mailles du filet, si je peux m'exprimer ainsi au risque de m'attirer les foudres des «Quantistes» convaincus ! Pour parler plus scientifiquement, on dira que les charges négatives vont suivre les lignes de force correspondant à la répartition équipotentielle du champ électrique... Ouf ! Ne vous inquiétez pas, on ne vous demandera jamais de calculer ni de tracer ces lignes de force : lorsque vous achetez un tube, il est déjà construit, mais il est tout de même intéressant de comprendre ce qui se passe à l'intérieur, non ? (figure 5).

Tout cela est très bien, me direz-vous, mais **comment est fabriquée cette fichue grille, et où se trouve-t-elle dans le tube ?**

Les figures 6 et 7 répondent à la première question et la figure 8 à la seconde. Pour faire bonne mesure, nous vous offrons la figure 9 qui représente une octode (donc un tube à huit électrodes dont six grilles) afin que vous compreniez que les grilles sont effectivement des «grilles» et qu'elles sont toutes montées concentriquement autour de la cathode entre cette dernière et l'anode.

Si vous voulions faire preuve de sadisme, nous vous demanderions de tracer les équipotentielles et les lignes de force correspondantes dans un tel tube ! Ne vous inquiétez pas, nous n'irons pas jusque là, mais sachez qu'à travers ce fouillis qui semble inextricable, les électrons s'y retrouvent très bien et, quittant la cathode, ils atteindront tout de même l'anode. Certains vont se perdre en

ET SI ON PARLAIT : «TUBES»

Figure 6 : voici plusieurs formes de grilles traditionnelles ; il y en a bien d'autres. Le métal les constituant est du nickel, du tungstène ou du molybdène. Certains tubes possèdent des grilles en platine ; d'autres sont plaquées or. Une bonne grille dans un tube traditionnel, c'est un fil très fin (de 100 à 25 microns), indéformable avec la chaleur de fonctionnement du tube et suffisamment rigide pour conserver sa forme et sa distance par rapport à la cathode (300 à 110 microns).

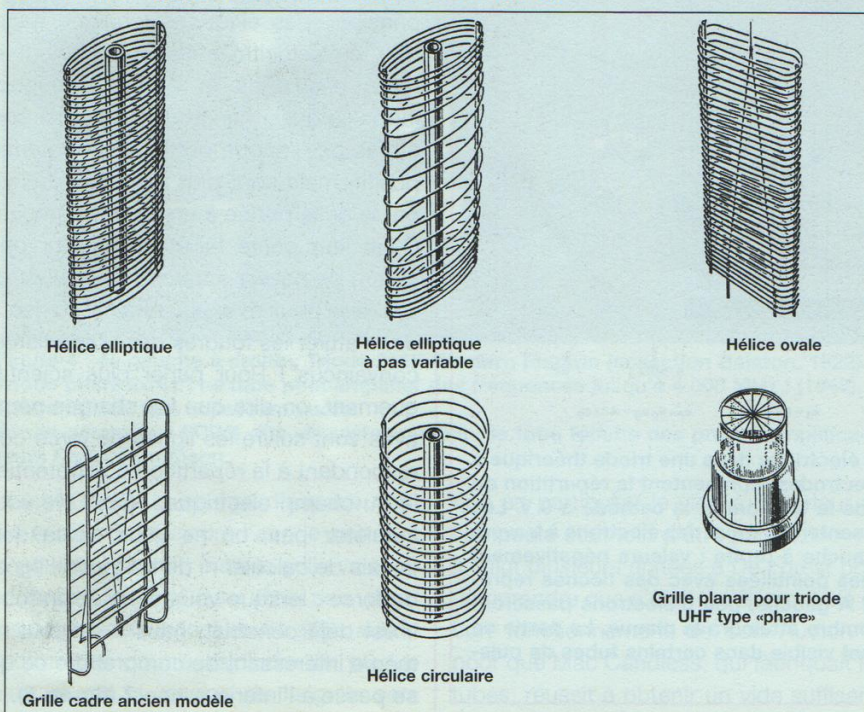


Figure 7 : grille moderne de type cadre (à droite) comparée à une grille classique. La grille cadre a été mise au point en 1959 en France par la Radiotechnique ; ce procédé de fabrication a permis de réduire à 10 microns (!) le diamètre du fil. La distance entre la cathode et la grille a pu ainsi descendre à 57 microns sans risque de court-circuit accidentel avec la cathode. Grâce à cette technique, les performances des tubes ont fait un bond extraordinaire dans les années 60. A droite, coupe d'une double triode ECC88/6DJ8, à grille cadre, le tube fétiche des préamplificateurs Audio Research. La forme particulière de l'anode permet de réduire au maximum les capacités parasites. D'autre part, une déformation accidentelle des électrodes du tube lors de son vieillissement n'aura que peu d'influence sur ses caractéristiques.

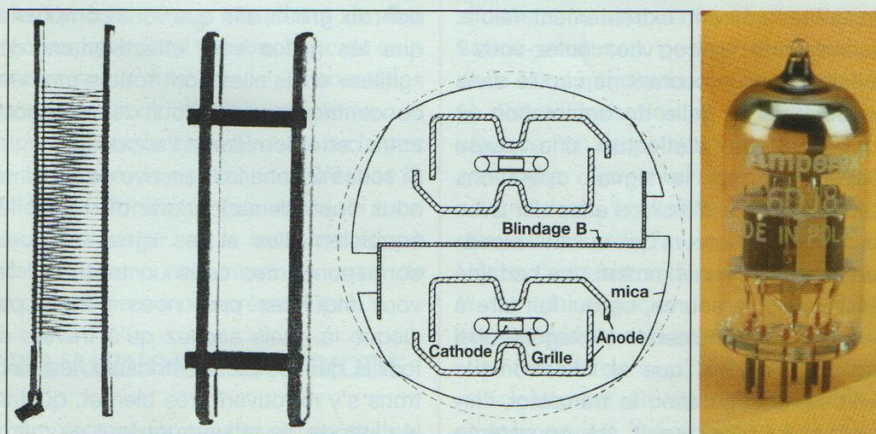


Photo 6DJ8

route ; c'est ce qui va faire la différence entre un tube bien étudié et surtout bien construit, et **c'est en grande partie ce qui expliquera les différences subjectives qui existent entre tubes de même type mais de marques différentes.**

• LE TUBE OBJET

(petite digression !)

Pour un objet, c'est un bel objet ! Et nous l'exposons désormais fièrement sur le châssis de nos amplificateurs, ce qui entre nous est une erreur, car un tube est fragile et il mérite d'être protégé. Sans compter que la chaleur dégagée transforme rapidement le bel amplificateur tout chromé en un véritable nid à poussières.

Cela dit, la poussière n'a jamais empêché de faire fonctionner un tube car, bien à l'abri de leur ampoule de verre plongés dans un vide quasi parfait, nos électrons vont tout de même valser joyeusement au rythme de la Neuvième de Beethoven entre la cathode et l'anode, obéissant au doigt et à l'œil à leur chef d'orchestre - la grille de commande - qui va moduler leur vitesse en fonction de la partition. Du moins en théorie pure !

Ce n'est malheureusement jamais le cas ! Car, en ce bas monde, rien n'est parfait et le tube électronique idéal permettant d'amplifier sans déformation le signal musical original tel que nous le décrivons - à travers un anthropomorphisme électronique suspect (veuillez m'en excuser !) - n'existe malheureusement pas ! En effet, la cathode n'alimente jamais la charge d'espace en électrons d'une façon régulière et paisible (voir nos précédents numéros), d'où une source de «souffle» et de bruits de fond divers. Le vide dans l'ampoule n'est jamais parfait et nos malheureux électrons lancés à des vitesses de plusieurs milliers de kilomètres à la seconde vont heurter de grosses molécules de gaz, lesquelles, sous le choc, perdent un ou plusieurs électrons périphériques. Transformées en charges positives - **on les appelle des ions** - elles vont se précipiter vers la cathode négative et bombarder cette

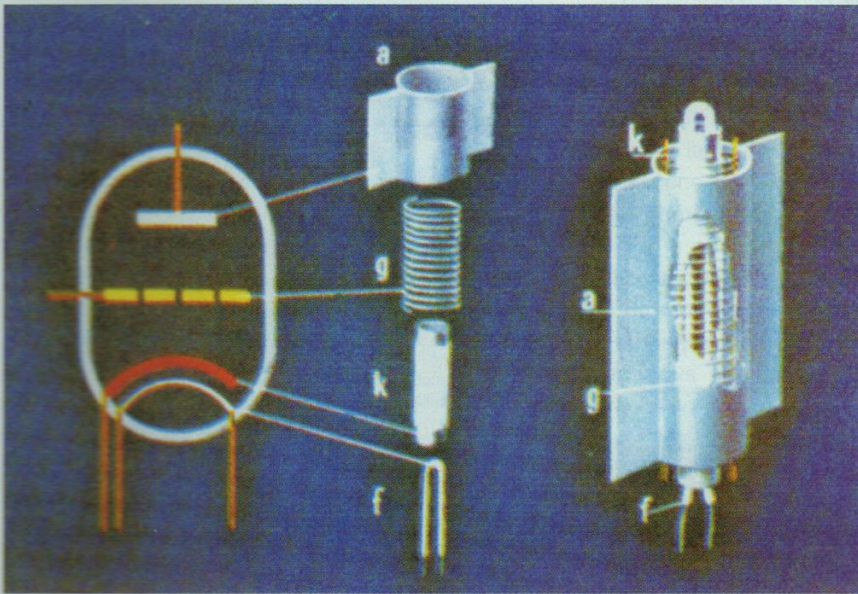


Figure 8 : à côté du symbole usuel de la triode, voici les électrodes telles qu'elles existent réellement dans un tube. F : filament, K : cathode, G : grille, A : anode (document Radiotechnique).

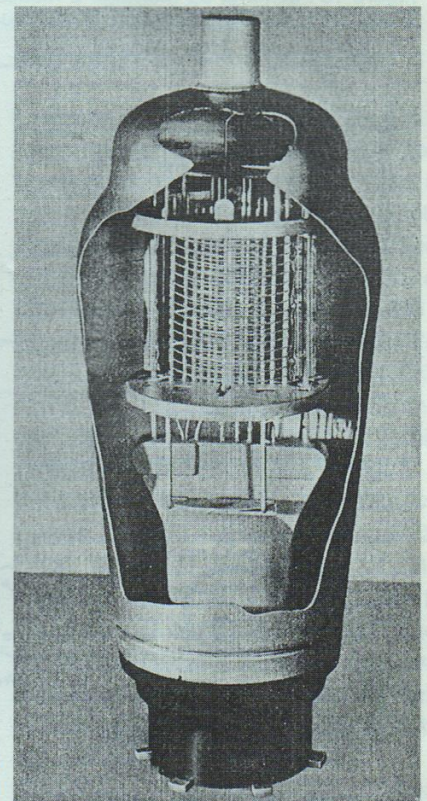


Figure 9 : une octode, donc un tube à huit électrodes dont six grilles !

dernière, ce qui va passablement abîmer la couche d'oxydes la constituant. Une autre partie de ces ions positifs va atterrir sur les mailles de la grille (portée à un potentiel négatif) provoquant ce qu'on appelle un **courant inverse de grille**, source de distorsions diverses. Et puisque nous en sommes au chapitre des catastrophes, il nous faut parler des électrons arrachés à l'anode sous la violence du choc des électrons primaires, c'est le **phénomène d'émission secondaire** : des atomes de gaz inclus dans le métal de l'anode sont libérés dans le vide de l'ampoule lors de l'échauffement de cette dernière. Noircissons encore le tableau en parlant des **électrons vagabonds** qui vont quitter l'espace cathode-anode et percuter les supports en mica, les isolants et la paroi en verre du tube, arrachant à ces matériels des électrons secondaires en les rendant positifs, ce qui se traduit par des décharges violentes par couplage électrostatique, qui

se manifestent à leur tour dans les haut-parleurs par des claquements on ne peut plus désagréables, surtout lors des «forte». Cela est surtout valable pour les tubes de puissance mal construits, en particulier une certaine KT90 de triste mémoire. Pour achever cette peinture épouvantable, il nous faut parler de l'impédance parasite de cathode (source de distorsions), du courant parasite dû à un mauvais isolement du filament par rapport à la cathode (source de souffle et surtout de ronflements), sans oublier la présence des capacités parasites entre les électrodes, ni la variation des caractéristiques d'un tube en fonction de son vieillissement et de la déformation géométrique de ces mêmes électrodes due à l'échauffement.

Je vous rassure tout de suite : la majorité des phénomènes épouvantables que je viens de vous décrire peut être maîtrisée, à certaines conditions dont les principales sont les suivantes :

- Ne jamais faire fonctionner

un tube au-delà de ses capacités en courant et en tension indiquées par le constructeur sous le générique : «valeurs limites d'utilisation». Les deux valeurs importantes à surveiller étant dissipation maximale d'anode et surtout le courant maximum toléré par la cathode.

- Respecter la tension de chauffage du filament

car un tube surchauffé verra sa durée de vie diminuer dans d'énormes proportions. Si vous le sous-chauffez, vous n'augmenterez pas sa durée de vie, bien au contraire : sa cathode va s'épuiser et se polluer.

- Eviter

(surtout pour les tubes de puissance) d'appliquer la haute tension avant que le tube soit chaud, c'est-à-dire avant que la cathode ait eu le temps d'alimenter la charge d'espace.

ET SI ON PARLAIT : «TUBES»

Figure 10 : schéma du montage à réaliser pour faire fonctionner une triode et mesurer ses paramètres statiques.

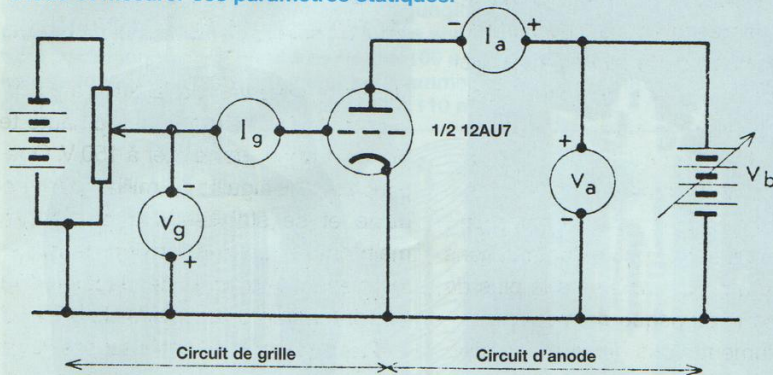
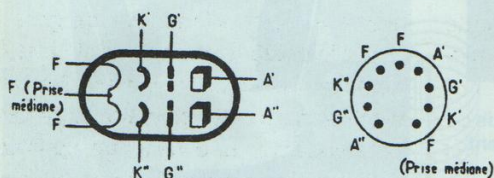
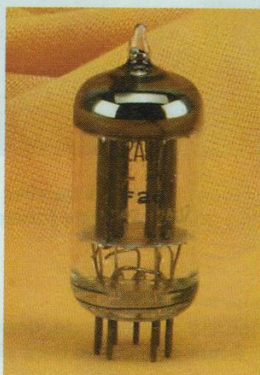


Figure 11 : disposition des électrodes.



Embase miniature 9 broches (Noval)

Photo tube 12AU7



CARACTÉRISTIQUES ECC82

Chauffage		
Indirect (cathodes isolées du filament) :	Vf = 6,3 ⁽¹⁾	12,6 ⁽²⁾ V
	If = 0,3	0,15 A

Conditions nominales d'emploi		
Tension de l'anode	Va = 100	250 V
Tension de la grille	Vg = 0	-8,5 V
Courant anodique	Ia = 11,8	10,5 mA
Coefficient d'amplification	K = 19,5	17
Résistance interne	ρ = 6 250	7 700 Ω
Pente	S = 3,1	2,2 mA / V

Capacités ⁽³⁾		
Capacité de la grille	Cg' = Cg'' =	3,6 pF
Capacité de l'anode	Ca' = Ca'' =	3,8 pF
Capacité anode-grille	Ca'g' = Ca''g'' =	1,5 pF
Capacité grille-cathode (RMA)	Cg'' (k'+f) =	1,6 pF
	Cg'' (k''+f) =	1,6 pF
Capacité anode-cathode (RMA)	Ca' (k'+f) =	0,5 pF
	Ca'' (k''+f) =	0,35 pF

Valeurs à ne pas dépasser

Par triode :		
Tension de l'anode	Va	max = 300 V
Puissance dissipée sur l'anode	Pa	max = 2,75 W
Courant cathodique	Ik	max = 20 mA
Résistance du circuit de grille ⁽⁴⁾	Rg	max = 1 mΩ
Résistance du circuit de grille ⁽⁵⁾	Rg	max = 0,25 MΩ
Tension entre filament et cathode	Vkf	max = 200 V

- (1) Les deux sections du filament en parallèle.
- (2) Les deux sections du filament en série.
- (3) Mesurées sans blindage.
- (4) En polarisation automatique.
- (5) En polarisation fixe.

LA RADIOTECHNIQUE - COPRIM - R.T.C.

C'est une règle rarement suivie, surtout par les fabricants d'amplis BF - et c'est dommage - surtout lorsque l'amplificateur utilise des diodes à semi-conducteur pour l'alimentation (ce qui se produit dans 90 % des cas) ; dans cette configuration, la haute tension est appliquée aux anodes des tubes dès l'allumage de l'appareil. Ce serait moins pratique mais, sur un appareil non doté d'un dispositif de temporisation, mieux vaudrait utiliser des diodes à vide qui, étant chauffées elles-mêmes, font monter graduellement la haute tension aux bornes des circuits.

Certains diodes à vide à chauffage indirect ont été conçues spécialement pour cela : EZ80, EZ81, GZ32, GZ34, GZ37. Méfiez-vous des diodes à chauffage direct : leur débit est presque instantané, comme celui des diodes semi-conductrices (5U4, 5R4, 5T4).

Et puis, de grâce, dans toute la mesure du possible évitez les tubes construits à la va-vite et on ne sait où ! Vous vous épar-

gnerez bien des déboires. De même, évitez les tubes de fabrication antérieure à 1945. Ce n'est pas qu'ils soient mauvais, mais la technologie des tubes a fait un bond fantastique entre 1945 et les années 70, surtout en ce qui concerne la purification des métaux et des alliages, la technique du vide, celle des isolants devant supporter des hautes températures, et celle de la verrerie. Pour ne citer que quelques tubes communément réutilisés de nos jours en BF, il n'y a aucune commune mesure entre une 2A3, une 6L6, une 6SN7 et même une 300B fabriquées dans les années 60. Les gabarits sont les mêmes mais la technologie de fabrication est totalement différente quant à la qualité du vide, la robustesse de l'enveloppe en verre, la pureté des métaux employés et la stabilité des isolants.

Pour terminer cette digression, il faut préciser ici que la grande majorité des tubes refabriqués aujourd'hui sont d'excellente facture, il convient cependant de

faire attention aux courants débités qui sont parfois bien plus importants que ceux des tubes fabriqués jusque dans les années 80, parfois 15 à 20 % au-dessus de la valeur du gabarit pour une même polarisation. Ceci est dû essentiellement à la constitution des cathodes qui ont fait des progrès énormes grâce à la Télévision (eh oui ! l'écran de votre téléviseur est... un tube !). Le pouvoir émissif des cathodes des tubes modernes et très important, il convient d'être prudent lorsque vous changez les tubes de puissance d'un amplificateur ancien par des tubes récents. Au long de cette série d'articles nous vous indiquerons quelles sont les précautions à prendre pour éviter bien des déboires. Certains constructeurs sérieux se mettent à l'abri des accidents en soumettant les tubes qu'ils utilisent sur leurs appareils à un vieillissement de l'ordre de 200 heures de fonctionnement afin de calmer leur ardeur juvénile !

LA TRIODE EN FONCTIONNEMENT

Retour à la triode. Le moment est venu de la faire fonctionner.

Pour ce faire nous allons réaliser le petit montage de la **figure 10**. Nous avons choisi une double triode courante : une 12AU7/ECC82 dont nous n'utiliserons qu'une moitié. Afin de vous familiariser, nous vous communiquons en **figure 11** le data complet de ce tube ainsi que son brochage.

Ne paniquez pas : tout au long de cette étude nous définirons les notions de perte, résistance interne, coefficient d'amplification... chaque chose en son temps ; mais jetez tout de même un coup d'œil au paragraphe : «valeurs à ne pas dépasser», vous y trouverez les notions sur lesquelles nous avons lourdement insisté depuis le début de nos causeries : les puissances, tensions et courant maximum de cathode... et maintenant au travail.

Reportez-vous au paragraphe : «Brochage du tube», c'est un brochage «noval» donc à 9 broches, cette figure se lit toujours par «dessous» en basculant le tube tête en bas, on lit toujours le brochage de gauche à droite dans le sens des aiguilles d'une montre, dans le cas présent les broches sont numérotées de 1 à 9.

Et maintenant retour au petit montage, je ne saurais trop vous recommander de le réaliser afin de vous familiariser avec les tubes.

Que voyons-nous sur la figure 10 ? Tout d'abord notre triode dont nous n'avons pas représenté le circuit de chauffage. Le filament peut être alimenté en courant alternatif à partir d'un transformateur avec enroulement secondaire 6 V (pour le branchement en parallèle des filaments : réunir les broches 4 et 5 et vous connecter entre 4 et 9.

Si vous voulez alimenter le filament en 12 V, connectez-vous directement entre les broches 4 et 5.

A droite sur les schémas, nous avons dis-

posé une alimentation continue variable de 0 à 300 V pour la haute tension (V_b sur le schéma représentée par une batterie). Le pôle positif de cette source étant bien entendu relié à l'anode du tube (broche 1), et le pôle négatif à la cathode (broche 3). Dans cette branche nous avons disposé un milliampèremètre qui nous permettra de mesurer le courant traversant le tube «**la**» de la cathode à l'anode, sens réel du courant du moins vers le plus de l'alimentation ; au risque de me répéter il faut absolument vous familiariser avec cette notion de sens «réel» du courant qui est la clé de toute l'électronique à tubes. Le voltmètre V_a permettra de mesurer la tension aux bornes du tube.

Du côté de la grille de commande (broche 2), nous avons connecté un milliampèremètre (très sensible, il doit pouvoir mesurer un courant très faible, de l'ordre de 0,0001 A et même moins) et un autre voltmètre qui nous permettra de mesurer «**Vg**», la tension appliquée à la grille de commande ; la source de tension variable peut être constituée par des piles car le débit sera pratiquement nul. Pour tester notre 12AU7, une batterie de piles pouvant délivrer 24 V est suffisante lors de ces essais.

Attention ! Le pôle négatif de cette source d'alimentation doit être réuni du côté de la grille de commande et le pôle positif à la cathode du tube ; ainsi, nous serons sûrs de «polariser» la grille négativement.

Le pôle (+) sera connecté à la cathode (broche 3) afin de fermer le circuit. En parallèle sur la source de polarisation de la grille, on a placé un potentiomètre de 10 000 Ω qui permettra de faire varier cette tension appliquée à la grille de 0 (curseur vers le bas) à -24 V (curseur vers le haut). Vous pouvez remplacer la pile par une alimentation continue variable de 0 à 24 V. Dans ce cas le potentiomètre P n'est pas nécessaire. Si j'insiste lourdement, et je m'excuse encore auprès de «ceux qui connaissent», c'est pour vous familiariser à la lecture d'un schéma et à sa transposition «physique».

TOUT EST PRÊT ?... MOTEUR... ÇA TOURNE !...

Fixons le potentiel de la grille à - 5 V et augmentons graduellement la haute tension que nous allons fixer à 150 V. Que se passe-t-il ? L'aiguille du milliampèremètre dévie et se stabilise à 5 mA. Faisons maintenant varier la tension de grille en maintenant la tension de plaque à 150 V. Portons d'abord la tension de grille «**Vg**» à -2,5 V (ce qui revient à rendre la grille moins négative par rapport à la cathode) : le courant «**la**» grimpe et atteint 12 mA.

Effectuons maintenant la manœuvre inverse et portons la tension de grille à - 7,5 V : le courant «**la**» baisse et se stabilise à une valeur de seulement 2 mA. La conclusion de cette première expérience est la suivante : **une variation de la tension appliquée entre la grille de commande et la cathode fait varier le débit du courant traversant le tube.**

Continuons maintenant l'expérience, fixons à nouveau la tension de grille à -5 V et n'y touchons plus mais agissons maintenant sur la haute tension et augmentons-la en surveillant le milliampèremètre : l'intensité dans le circuit augmente. Toujours sans toucher à la tension de la grille, essayons d'atteindre les 12 mA que nous avons obtenus précédemment en faisant varier notre tension de grille de -5 V à -2,5 V, soit une variation de 2,5 V. Pour atteindre 12 mA de débit dans le tube, il nous faut augmenter la haute tension jusqu'à une valeur de 200 V. De la même façon, si nous voulons réduire le débit aux 2 mA que nous avons enregistrés en polarisant la grille à -7,5 V, il nous faut ramener la tension de plaque à 100 V. On peut donc dire qu'une variation de 2,5 V sur la grille d'une 12AU7 entraîne la même variation de courant dans le tube qu'une variation de 50 V sur la plaque. C'est dû au fait que, par construction, la grille de commande est placée très près de la cathode, donc de la charge d'espace, et que son action sur cette dernière

ET SI ON PARLAIT : «TUBES»

est beaucoup plus efficace que celle de la plaque.

C'est ce qu'on appelle le **pouvoir amplificateur d'un tube** et ce pouvoir amplificateur ne dépend que de sa construction mécanique. En deux mots : plus la grille sera proche de la cathode, plus son action de contrôle sur les électrons puisés dans la charge d'espace sera importante. Le pas de la grille aura aussi une influence fondamentale sur l'intensité du flux électronique, donc sur le courant traversant le tube. Car, n'oubliez pas que les électrons sont très petits et ce sont des milliards d'entre eux qui vont se précipiter vers l'anode en passant à travers les

mailles de la grille : c'est d'ailleurs là tout le problème de la construction mécanique des tubes électroniques, car vous comprenez aisément que plus vous allez resserrer les mailles du filet plus vous allez rapprocher celui-ci de la cathode, plus la chaleur dégagée par cette dernière va agir sur le coefficient de dilatation du métal constituant la grille. Pour une 12AU7 la grille en nickel se trouve à 150 microns de la cathode ; la plaque est à 3,5 millimètres de cette dernière et le fil constituant la grille a un diamètre de 75 microns bobiné au pas de 0,001 millimètre !). Il est facile de comprendre que la moindre déformation de la grille due à

l'échauffement va bouleverser profondément les caractéristiques du tube. Ça y est !... vous commencez à comprendre ce qui se passe dans cet objet étrange qu'est un tube électronique, mais je peux vous assurer que notre brave petite 12AU7 n'a pas fini de souffrir.

A compter de la prochaine causerie nous étudierons à fond le fonctionnement de la triode en essayant toujours de vous fournir des renseignements pratiques à l'appui de la théorie.

Bonne lecture...

A suivre...

Rinaldo Bassi

POUR JOUER AVEC LES TUBES

Une alimentation variable de 0 à plus ou moins 350 V, ou de 0 à 700 V.

Alimentation des filaments : 6,3 V

Cette petite alimentation est directement inspirée des alimentations variables utilisées dans les années 60 pour l'enseignement.

- Le transformateur d'alimentation

Vous utiliserez n'importe quel transformateur pour amplificateur, téléviseur ou poste de radio. Tension du secondaire de 250 à 300 V (maximum) capable de délivrer de 200 à 300 mA.

Une ou plusieurs basses tensions : 6,3 V / 2 à 5 A.

- Deux petites selfs de filtrage 7 à 10 Henrys / 200 à 300 mA. Si vous n'avez

pas de self, vous pouvez utiliser deux petits transformateurs 220 V/12 V ou 24 V. Vous utilisez le primaire 220 V comme self.

- 4 condensateurs de 100 μ F (maximum) 450 V.

- Un petit auto-transformateur variable de 0 à 240 V de 0,7 A ou 1 A maximum. Choisir un auto-transformateur à fixer sur panneau. L'ensemble pourra être monté dans un boîtier rack standard ou sur une planche en bois.

Analyse du schéma

L'astuce consiste à monter un auto-transformateur variable sur les secondaires haute tension du transformateur et de réaliser 2 redressements simple

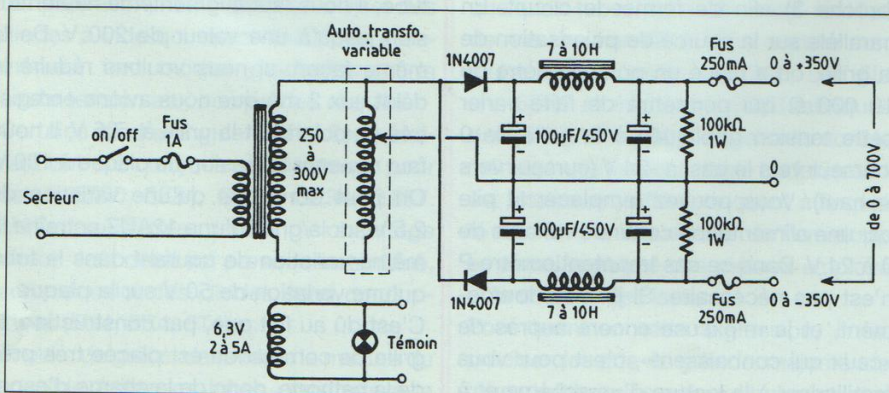
alternance, tête bêche, ce qui permettra de disposer de 2 tensions positives et négatives variables de 0 à 350 V, ou d'une tension de 0 à 700 V, ce qui revient à mettre en série les deux alimentations.

Grâce à ce système vous pourrez tester vos montages d'essais.

Attention :

Ceci n'est pas une alimentation stabilisée ou régulée, vous devrez vérifier à l'aide d'un voltmètre la tension délivrée au montage en fonction du débit. D'autre part malgré les résistances de 100 k Ω connectées en parallèle sur la sortie de l'alimentation et qui vont décharger les condensateurs, n'oubliez pas que la haute tension de sortie ne disparaîtra pas instantanément lors de la coupure de l'alimentation et que si vous augmentez ou baissez la tension à l'aide de l'auto-transformateur une inertie plus ou moins longue (fonction du débit) de la tension de sortie vous demandera d'attendre la stabilisation de cette dernière avant de faire vos mesures.

Comme toute alimentation délivrant des tensions continues élevées il convient de prendre toutes dispositions afin d'éviter les contacts corporels accidentels.



Sorties protégées
Rapport cyclique variable de 10 à 90%
Offset indépendant de l'atténuateur
Modulations AM, FM, FSK et PSK

distorsion < 0,5 %
précision < 0,005 %
interface RS 232 comprise

NOUVEAU

GF265



0,18 Hz à 5 MHz
Affichage sur 4 ou 9 digits
Fréq. ext. 0,8Hz à 100 MHz

389,90 €

NOUVEAU

GF266



11µHz à 12 MHz
Affichage sur 4 ou 10 digits
Fréq. ext. 0,8Hz à 100 MHz

598,00 €

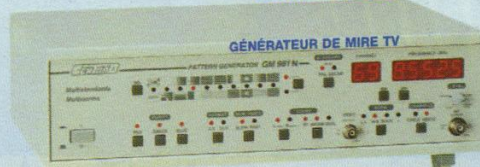
Prix TTC

GF 763



0,2 Hz - 2 MHz
Vob. int. lin. et log.
Sortie protégée 309,76 €

GM 981N



PAL-SECAM, NTSC (en vidéo)
L / L', B / G, I, D / K / K'
Affich. num. du canal et de la fréq.
Sorties : Vidéo - Y/C - Péritel - HF
Son Nicam 1 913,60 €

GF 763 F



0,2 Hz - 2 MHz
Vob. int. lin. et log.
Sortie protégée
Fréq. auto. 20 MHz 369,56 €

FR 649



Très haute sensibilité
2 entrées 0-100 MHz
1 entrée 50 MHz - 2,4 GHz
477,20 €

DC 05



100 pF à 11,111µF 257,14 €

GF 763 A



0,2 Hz - 2 MHz
Vob. int. lin. et log.
Sortie protégée
Ampli. 10W 333,68 €

GF 763 AF



0,2 Hz-2 MHz
Vob. int. lin. et log.
Sortie protégée. Ampli. 10W
Fréq. auto. 20 MHz 393,48 €

BOITES A DECADES R.L.C.

- DR 04 1 Ω à 11,110 KΩ 106,44 €
- DR 05 1 Ω à 111,110 KΩ 125,58 €
- DR 06 1 Ω à 1,111 110 MΩ 142,32 €
- DR 07 1 Ω à 11,111 110 MΩ 156,68 €

DL 07



1µH à 11,111 110 H 209,30 €

elc

59, avenue des Romains - 74000 Annecy
Tél. 33 (0)4 50 57 30 46 - Fax 33 (0)4 50 57 45 19
En vente chez votre fournisseur de composants électroniques
ou les spécialistes en appareils de mesure

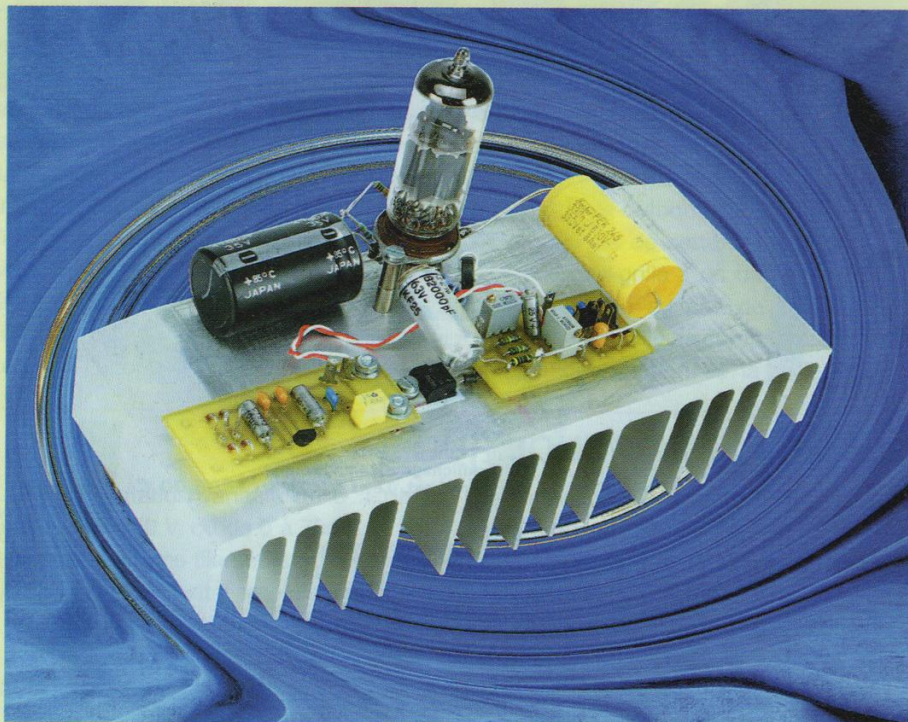
Je souhaite recevoir une documentation sur :

Nom _____

Adresse _____

Ville _____ Code postal _____

MU-FOLLOWER DE PUISSANCE MONO-TUBE



Le circuit amplificateur qui va vous être présenté ici recèle de plusieurs particularités. D'une part, c'est un circuit mu-follower hybride dans lequel un Mos-Fet de puissance se substituera à la pentode communément utilisée, avec des avantages importants en terme de gain, d'impédance de sortie et de dissipation. D'autre part, c'est un circuit mono-étage qui se charge de fournir un gain en puissance suffisant pour attaquer des enceintes à haut rendement (94 dB ou plus), et ce avec un seul tube !

Les détracteurs des semi-conducteurs ne doivent cependant pas arrêter là leur lecture et s'interroger sur les bénéfices que peut présenter une telle structure : le trajet du signal est réduit à son strict minimum ainsi que les condensateurs de liaison dont on connaît l'influence sur la transparence de la reproduction sonore. Cela n'est rendu possible que par l'utilisation d'un Mos sans lequel un étage supplémentaire aurait été nécessaire, faisant

perdre son intérêt au concept. De plus, l'impédance de sortie très basse du circuit, conséquence directe de la transconductance élevée des Mos, va nous permettre de faire des économies non négligeables sur le transformateur de sortie qui ne sera ni plus ni moins qu'un modèle torique pour alimentation, capable de performances dignes des meilleurs modèles destinés à l'audio ! Mais ce n'est pas tout, puisque le Mos présente encore l'avantage sérieux, à

l'instar des pentodes, de posséder une bonne linéarité de la transconductance en fonction de la tension d'entrée V_{GS} , ce qui n'est pas du tout le cas avec une triode. On peut ainsi compter sur une impédance de sortie variant peu en fonction de l'attaque du transistor, et donc de la puissance de sortie. Nous reviendrons aussi en détails sur le très bon rejet du bruit d'alimentation que permet notre structure hybride.

UN PEU DE THÉORIE

Afin de bien comprendre comment fonctionne le montage, il est nécessaire de reprendre une fois encore les équations générales régissant les structures SRPP :

$$A_v = \frac{-\mu_1(\rho_2 + \mu_2 R_2)}{(\mu_1 + 1)R_1 + (\mu_2 + 1)R_2 + \rho_1 + \rho_2} \quad (1)$$

$$Z_{out} = \frac{\rho_2 [R_1(\mu_1 + 1) + R_2 + \rho_1]}{(\mu_1 + 1)R_1 + (\mu_2 + 1)R_2 + \rho_1 + \rho_2} \quad (2)$$

$\rho_1, \mu_1 = \rho_{tube}, \mu_{tube}$ et $\rho_2, \mu_2 = \rho_{Mos}, \mu_{Mos}$ étant respectivement les résistances internes et gain en tension du tube T et du Mos et R_1, R_2 les résistances de polarisation.

Comme nous avons déjà pu le dire, le gain est une fonction croissante de μ_1, R_2 et ρ_2 . Ainsi, plus R_2 et ρ_2 seront élevées, plus le gain du montage tendra vers μ_1 . Il va sans dire que l'obtention d'un gain suffisant pour construire un ampli mono-étage obligera à choisir un tube dont le μ sera le plus élevé possible. L'impédance de sortie, quant à elle, dépend de R_2, ρ_1 et S_2 , pente du tube T2 : plus R_2 et S_2 seront élevées, plus l'impédance de sortie sera faible tandis que ρ_1 , pour sa part, devra avoir la plus faible valeur possible pour ne pas faire augmenter Z_{out} ... Notons au passage que le découplage de R_1 est nécessaire ici, sans quoi notre impédance de sortie augmenterait énormément et ne nous permettrait plus de connecter un transformateur de sortie à basse impédance primaire... et donc d'obtenir une puissance exploitable. Il est important aussi de

MONO-TUBE EL183

savoir que la tentation d'augmenter exagérément la valeur de R2 serait malheureusement très pénalisante dans notre cas, car diminuant l'excursion de la tension de sortie et donc la puissance dissipée dans la charge. Nous verrons plus loin que la valeur à adopter dépend intimement de l'impédance primaire du transformateur de sortie. Ainsi, nous constatons que le tube employé ici devra répondre à deux critères essentiels que sont un fort μ et une faible résistance interne. De par la formule $\mu = \rho \cdot S$, nous nous rendons bien compte que sa pente devra obligatoirement être élevée, voire très élevée. Cela oriente notre choix sur des tubes à grille cadre qui de plus, présentent souvent à l'instar des ECC88 bien connues, une linéarité très intéressante. Le choix est ici cependant plus restreint que pour un amplificateur de tension : notre tube doit pouvoir dissiper une certaine puissance, disons 6 à 8 W, afin de pouvoir en obtenir autant en sortie. Comment dites-vous ? 6 W en sortie, valeur égale à la puissance dissipée à l'anode ? Où est l'erreur ? Eh bien, il n'y en a pas ! En effet, correctement réglé, l'étage mu-follower travaille en classe A glissante, c'est à dire que son point de fonctionnement se déplace légèrement en fonction de la puissance délivrée en sortie. Ainsi, dans notre montage, le tube sera traversé par un courant de 30 à 32 mA au repos avec 230 V sur sa plaque alors qu'à pleine puissance, cette tension augmentera jusqu'à 260 V environ, le tube dissipant alors plus de puissance que le montage n'en fournit en sortie, ce qui est normal. Notons qu'une polarisation en classe A pure est possible en changeant le mode de polarisation du Mos, au prix d'une réduction assez sensible de la puissance de sortie. Très honnêtement, il ne m'a jamais été possible de discerner à l'oreille l'un ou l'autre de ces 2 modes de fonctionnement et je pense que la classe A glissante choisie ici permet d'obtenir une puissance utilisable par le plus grand nombre. De plus, un problème de stabilité thermique inhé-

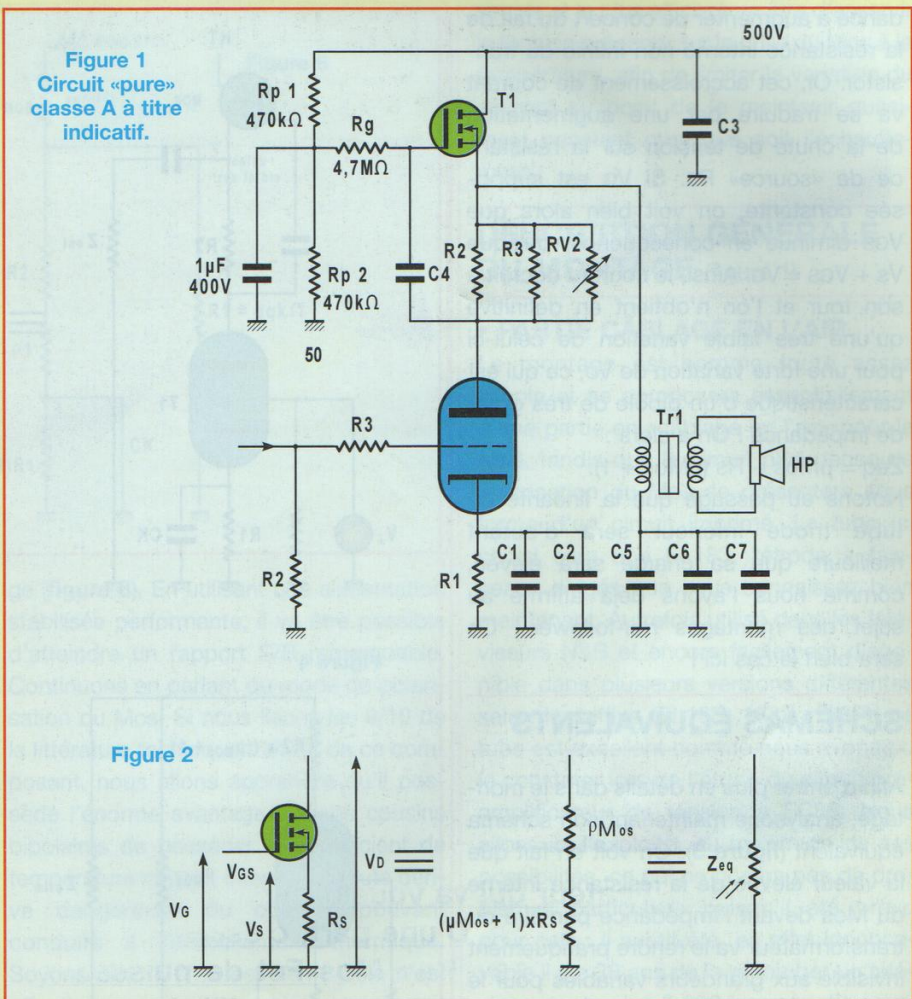
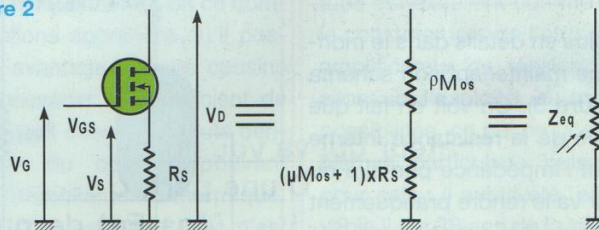


Figure 2



rent au Mos rend le montage pure classe A assez dangereux avec une forte tendance à l'emballement. Si vous êtes un fervent défenseur de cette classe, sachez qu'il est tout de même possible de réaliser un circuit fonctionnant sur ce principe à la condition expresse d'utiliser des dissipateurs très efficaces de résistance thermique $< 0,5^\circ/\text{W}$. Vous trouverez le schéma d'un tel amplificateur en **figure 1**. Avec la classe A glissante, le rendement global du montage atteint environ 50 %. Cela peut paraître élevé et susciter quelques interrogations. Dans un montage classique, triode chargée à l'anode, toute baisse de la tension anodique lors d'une alternance négative fait baisser le courant traversant la triode, d'autant plus si ce tube présente une

faible résistance interne. C'est une forme de contre-réaction et c'est ce qui explique le mauvais rendement de ce type de circuit. Si l'on remplace la triode par une pentode, le rendement augmentera énormément car la forte résistance interne de ce type de tube le rend pratiquement insensible à la variation de tension anodique : le courant ne baisse pas lors des alternances négatives. Dans notre montage, le rendement s'explique simplement par le fait que l'ensemble Mos + résistance de source va se comporter comme un générateur de courant quasi-constant, de résistance équivalente très élevée. Cela est assez simple à comprendre (voir **figure 2**). Lorsque la tension VD présente sur le drain du Mos augmente, le courant le traversant à ten-

MU-FOLLOWER DE PUISSANCE

dance à augmenter de concert du fait de la résistance interne non infinie du transistor. Or, cet accroissement de courant va se traduire par une augmentation de la chute de tension sur la résistance de «source» R_s . Si V_G est supposée constante, on voit bien alors que V_{GS} diminue en conséquence, puisque $V_s + V_{GS} = V_G$. Ainsi, le courant décroît à son tour et l'on n'obtient en définitive qu'une très faible variation de celui-ci pour une forte variation de V_D , ce qui est caractéristique d'un dipôle de très grande impédance ! On a alors :

$$Z_{eq} = \rho_{Mos} + R_s (\mu_{Mos} + 1).$$

Notons au passage que la linéarité du tube triode inférieur sera d'autant meilleure que sa charge sera élevée, comme nous l'avons déjà affirmé au sujet des montages mu-follower... Ce sera bien le cas ici !

SCHÉMAS ÉQUIVALENTS

Afin d'entrer plus en détails dans le montage, analysons maintenant son schéma équivalent (**figure 3**). On voit en fait que la valeur élevée de la résistance interne du Mos devant l'impédance primaire du transformateur va le rendre pratiquement invisible aux grandeurs variables pour le tube. Que verra le tube comme charge ? Tout simplement R_2 multiplié par le gain en tension du Mos, une valeur très élevée, et ce en série avec l'impédance primaire du transformateur mise en parallèle avec la résistance interne du Mos (**figure 4**). Ainsi, on peut considérer que le tube est connecté à une charge de valeur très élevée :

$Z_{charge} = (\mu_{Mos} + 1) R_2 + (Z_{prim} // \rho_{Mos})$
 Comme nous l'avons dit plus haut, le tube va procurer ici une linéarité maximale ainsi qu'un gain et un rendement important. Le Mos, quant à lui, fonctionne en source-follower avec une charge relativement importante égale à :

$Z_{prim} // [R_2 + \rho_{tube} + (\mu_{tube} + 1) R_1]$
 ce qui explique l'impédance de sortie assez basse du montage (**figure 5**). Le découplage de la résistance de polarisa-

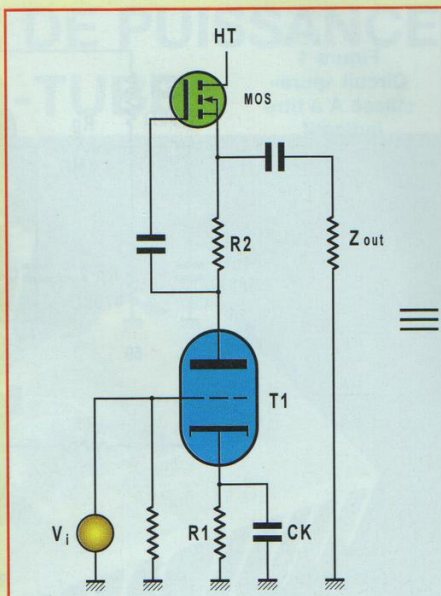


Figure 4

Figure 3
Schéma équivalent de la structure hybride.

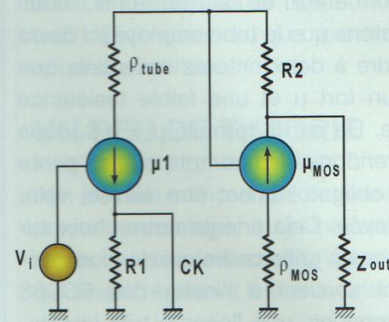


Figure 5

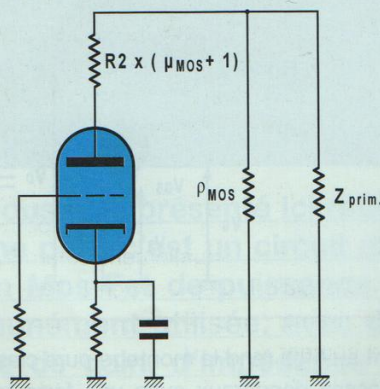


Figure 6

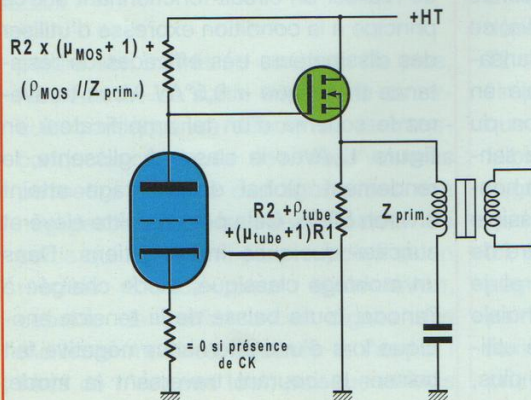
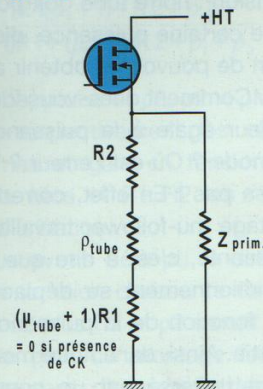
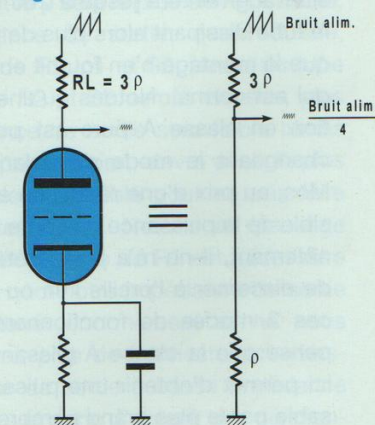


Figure 7



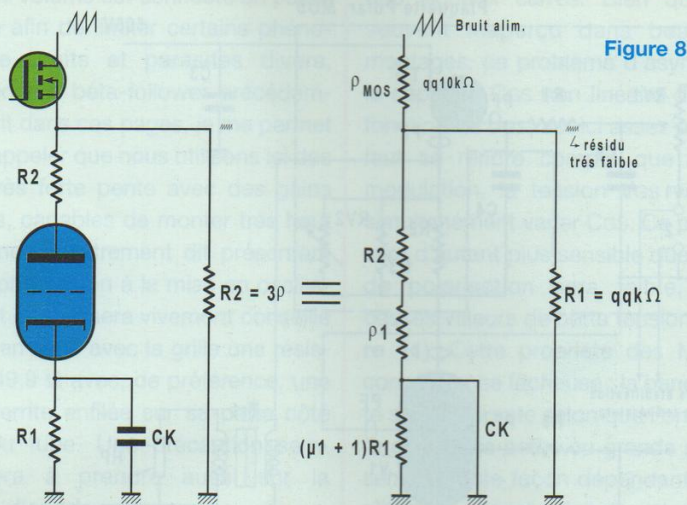


Figure 8

tion de la triode participe à ce résultat, puisqu'il faut donner dans ce cas la valeur 0 à R1. On peut en fait considérer notre structure comme la mise en cascade de deux circuits, le tube chargé par une impédance très élevée contrôlant la «grille» du Mos fonctionnant en adaptateur d'impédance (figure 6). Il apparaît clairement ici, connaissant les performances du Mos en source-follower, que le circuit générera une très faible distorsion si l'on prend la peine de choisir un tube à haute linéarité.

• REJET DU BRUIT D'ALIMENTATION

Il nous faut maintenant nous intéresser à la bonne capacité de réjection du bruit d'alimentation des circuit «mu-follower» en général et de notre montage en particulier. Pour cela, comparons notre structure hybride à un classique cathode commune à charge résistive (voir figure 7). Si l'on fixe classiquement $R_L = 3\rho$, on voit bien que le diviseur de tension ainsi constitué ramène à l'anode du tube environ 1/4 du bruit d'alimentation, et 3/4 de ce bruit sur la charge. En revanche, avec notre montage, R_L va être très inférieure à la résistance interne du Mos, à peine plus de 1 k Ω devant plusieurs dizaines de k Ω ! Nous n'allons donc retrouver qu'une faible fraction du bruit d'alimentation sur la char-

ge (figure 8). En utilisant une alimentation stabilisée performante, il va être possible d'atteindre un rapport S/B remarquable. Continuons en parlant du mode de polarisation du Mos. Si nous lisons les 9/10 de la littérature technique traitant de ce composant, nous allons apprendre qu'il possède l'énorme avantage sur ses cousins bipolaires de posséder un coefficient de température négatif, interdisant toute dérive dangereuse du courant pouvant conduire à l'emballement thermique. Soyons clair, il n'en est rien ! Cela n'est effectivement vrai qu'en basse tension et fort courant, le coefficient de température s'inversant pour les fortes tensions et bas courants, ce qui est le cas dans notre montage. Croyez moi, cela est bigrement ennuyeux ! En effet, plus le Mos va chauffer, plus le courant le traversant va augmenter et plus la tension anodique du tube va croître en conséquence. On peut penser alors que la tension aux bornes du Mos diminuant, le point de fonctionnement va se stabiliser... C'est vrai, mais l'expérience prouve qu'à cet instant, votre tube sera déjà rouge d'indignation puisque sa dissipation anodique aura considérablement augmentée ! Il va donc être impératif de prévoir un dispositif annulant ce dangereux phénomène, dispositif ne devant en rien nuire aux qualités musicales du montage. La solution la plus

simple et la plus efficace va être d'asservir la tension présente sur la grille du Mos à la température, afin de limiter la variation du courant au point de le maintenir quasiment constant quel que soit l'échauffement.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU MONTAGE (figure 1)

• PARTIE CÂBLAGE EN L'AIR

Le montage est somme toute assez simple et se composera essentiellement d'une partie en «câblage en l'air» pour le tube, tandis que le circuit plus dense de polarisation du Mos se présentera sous forme d'un circuit imprimé. Le tube ici choisi sera une EL183, tétrode à faisceaux dirigés que vous connaissez bien maintenant. Autrefois utilisé dans les téléviseurs N&B et encore facilement disponible dans plusieurs versions différentes selon le suffixe (EL183, 183E, 183P), ce tube est excellent comme nous avons pu le constater lors de l'étude du circuit pré-amplificateur de tension à EC86. Nous allons ici l'exploiter au maximum de ses possibilités, ce qui ne posera pas de problèmes particuliers puisqu'il été prévu pour cela : il aurait été en effet inconcevable il y a 30 ans de faire retuber un téléviseur toutes les 5 000 heures... Et pourtant, croyez moi, les tubes y étaient souvent malmenés. Je ne le répéterai jamais assez, la technologie des tubes à vide avait atteint son apogée dans les années 60 et un modèle comme l'EL183 n'a rien à envier en terme de linéarité aux tubes à chauffage direct comme la 300B, avec l'énorme avantage sur elle de posséder une pente de 25 mA/V... et un prix 30 fois inférieur ! Câblé en pseudo-triode en prenant la précaution d'enfiler une perle de ferrite sur la connexion de grille 2, ce tube peut dissiper environ 8 W, avec un gain compris entre 45 et 60 selon le modèle, pour une résistance interne à peine supérieure à 1 k Ω . Pour les connaisseurs, ces caractéristiques approchent celles des WE437 et autres 3B240M, triodes oh combien excellentes, mais coûtant sou-

MU-FOLLOWER DE PUISSANCE

Figure 9
Circuit « classe A glissante » adopté.

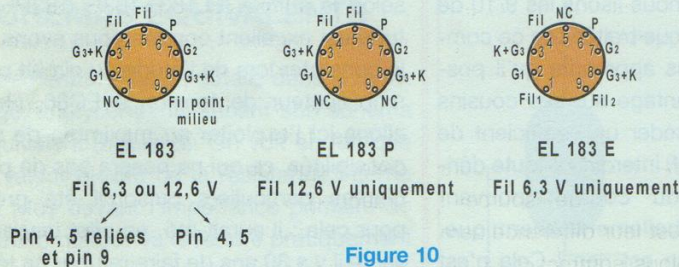
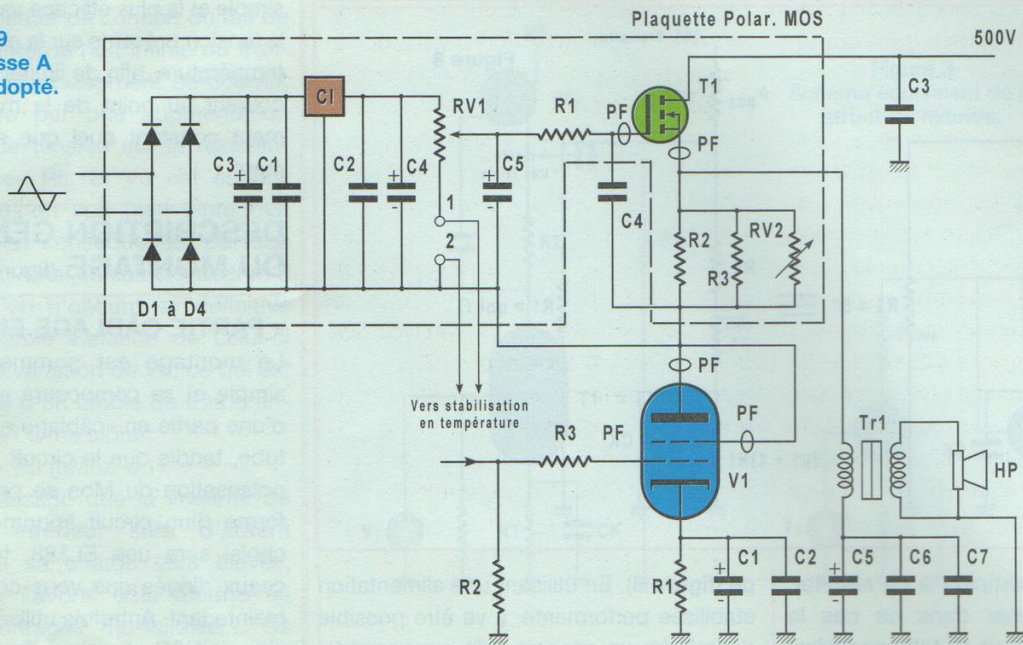


Figure 10

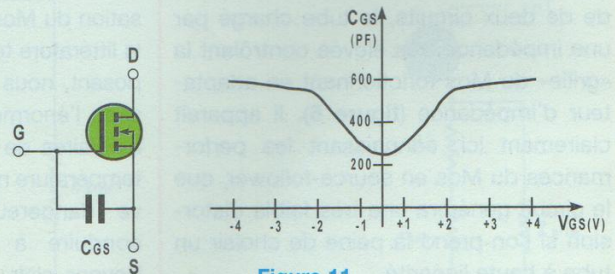


Figure 11

vent plus de 100 €... De plus, ce tube se contente d'un modeste support noval, qui méritera tout de même d'être de qualité ! Vous trouverez en **figure 10** les différents modèles d' EL183 avec leurs différents brochages. Tous sont utilisables, mais certains modèles surpassent de beaucoup les autres en terme de gain (mais pas forcément à l'écoute...), ce qui permettra d'atteindre une puissance de sortie plus importante à attaque égale. les tubes EL183E et EL183P décrochent la palme sur ce point, avec leur structure tout à fait différente des 183 rappelant celle des EL802, un autre tube TV dont la pente avoisine les 40 mA/V. D'après mes mesures, les modèles 183E et 183P sont quasiment identiques à l'EL802, puisque leur pente approche les 35 mA/V, valeur

notoirement plus importante que ce qu'indiquent les spécifications officielles de l'EL183. Je pense que dans un souci de rationalisation de la production, les constructeurs ont sûrement décliné le modèle 802 en version légèrement moins performante mais de même structure pour assurer la maintenance des postes TV noir et blanc encore en fonctionnement à l'époque. Ce n'est qu'une supposition et je remercie par avance tout lecteur capable de m'éclairer sur l'histoire de ces tubes !

Autour de notre pseudo-triode ne se trouveront que quelques composants destinés à assurer sa polarisation automatique, ils seront soudés directement sur le support noval. Précisons tout de même que la tenue mécanique très aléatoire de la sou-

ture ne vous dispense pas de fixer par un moyen quelconque les composants volumineux comme les condensateurs (la colle conviendra souvent). Ainsi, nous allons trouver sur la cathode une résistance R1 dont la valeur dépendra du tube utilisé, découplée très efficacement par un condensateur de 10 000 μ F de type chimique. Afin de parfaire les performances en régime musical, un second condensateur de 4,7 ou 10 μ F au polycarbonate sera monté en parallèle sur celui-ci. Cette valeur assez élevée pour un modèle non-polarisé interdit en pratique l'usage du polypropylène. Le dernier composant à souder sur le support sera la résistance de fuite de grille, 100 k Ω / 1 % à couche métallique. Il est conseillé de garder cette résistance même si un potentiomètre de

contrôle de volume est connecté en parallèle, et ce afin de limiter certains phénomènes de bruits et parasites divers. Comme pour le béta-follower précédemment décrit dans ces pages, je me permet de vous rappeler que nous utilisons ici des tubes à très forte pente avec des gains importants, capables de monter très haut en fréquence... Autrement dit présentant une forte propension à la mise en oscillation ! A cet effet, il sera vivement conseillé de placer en série avec la grille une résistance de $49,9 \Omega$ avec, de préférence, une perle de ferrite enfilée sur sa patte côté support du tube. Une précaution semblable sera à prendre aussi sur la connexion d'anode.

• CIRCUIT DE POLARISATION DU MOS

Le circuit de polarisation du Mos appelle plus de commentaires et sa densité justifie l'utilisation d'un circuit imprimé. Il faut bien avoir à l'esprit que de la qualité de ce circuit dépendra une grande partie du bruit en sortie de l'amplificateur. En effet, toute perturbation ou résidu d'ondulation présent sur la grille se retrouvera en sortie ! Le circuit n'est en fait ni plus ni moins qu'une petite alimentation régulée réglable à base du régulateur 78L12, suivi d'un pont diviseur de tension reposant sur un ajustable multitours qui permettra un réglage précis du courant de polarisation de notre montage. Un redressement/filtrage est prévu sur la plaquette dont les faibles dimensions permettront une disposition au plus près du Mos, directement sur le dissipateur thermique. Tout est ici prévu de telle sorte que le trajet du signal soit minimal et que le montage soit d'une stabilité absolue. A ce propos, vous ne manquerez pas de constater qu'aucune résistance n'est insérée en série avec la grille du Mos pour limiter les risques de mise en oscillation, contrairement à l'EL183... Ce procédé simple dont l'utilité n'est plus à démontrer se révèle dans notre cas dommageable aux performances de l'amplificateur, puisqu'il provoque un arrondissement asymétrique

des signaux carrés. Bien que passant souvent inaperçu dans beaucoup de montages, ce problème d'asymétrie dû à la capacité Cgs non linéaire des Mos en fonction de Vgs, est ici assez ennuyeux. Il faut se rendre compte que lors de la modulation, la tension Vgs varie et fait simultanément varier Cgs. Ce phénomène sera d'autant plus sensible que le courant de polarisation sera faible, pour les basses valeurs de cette tension (voir **figure 11**). Cette propriété des Mos a une conséquence fâcheuse : la bande passante sera différente selon que l'on se trouvera en régime petits ou grands signaux, et sera de toute façon dépendante de l'amplitude du signal présent sur la gate. Dans le cas d'un signal symétrique, on a alternativement une tension plus ou moins forte sur celle-ci, et donc une capacité Cgs plus ou moins forte elle aussi, cette capacité variant dans le même sens que la tension. De ce fait, si aucune précaution n'est prise, il faut s'attendre à obtenir un créneau plus déformé sur les alternances positives que sur les négatives ! Réfléchissons un peu... Sur notre amplificateur, le potentiel de «gate» sera toujours assez différent du potentiel de «source» : la tension Vgs qui est leur différence sera voisine de 3,5 V. Nous sommes en plein dans la zone de polarisation où la variation de Cgs sera la plus forte en fonction de Vgs. Nous voyons bien ainsi que le fait d'avoir une simple résistance en série avec la «gate» du Mos constituera avec Cgs un filtre passe bas de fréquence de coupure variable en fonction de la modulation ! Et cela nous contraint purement et simplement à nous passer de ses précieux services. Voilà pourquoi toutes les précautions doivent être prises au niveau du câblage du Mos et de sa «gate» en particulier. On pourra être étonné de la valeur assez élevée de la résistance de fuite ($4,7 M\Omega$). Celle-ci ne nuit en rien à la stabilité du montage et va surtout permettre d'utiliser un condensateur de liaison de capacité assez modeste en préservant une réponse dans le grave exceptionnelle. Non content de pouvoir se satis-

faire d'une faible valeur pour ce condensateur «critique» du point de vue musical, d'ailleurs seul condensateur de liaison de notre amplificateur, nous allons pouvoir choisir ce qu'il y a de mieux en la matière, c'est-à-dire un modèle polystyrène. Pour être parfaitement honnête, les meilleurs résultats sont obtenus avec un modèle au papier huilé de grande qualité... Comme la disponibilité de ce genre de composant est parfaitement aléatoire, je préfère vous conseiller le polystyrène qui donne un résultat très correct. La différence de potentiel entre la «grille» du Mos et l'anode du tube n'étant que de quelques volts, nous pourrions utiliser un modèle dont l'isolation n'excéderait pas 63 V, ce qui faciliterait l'approvisionnement. Outre ses qualités musicales reconnues, le polystyrène présente une résistance d'isolement remarquablement élevée (la meilleure derrière le Téflon) qui justifie son emploi ici, où toute fuite de courant au niveau de la «gate» serait désastreuse pour la stabilité du circuit (la résistance Rg a pour valeur, rappelons le, $4,7 M\Omega$...). Mais c'est surtout le très faible coefficient d'absorption diélectrique du polystyrène qui le rend pratiquement indispensable dans un montage de qualité. Nous aborderons très prochainement ce sujet sensible dans un article dédié... Comme nous parlons des condensateurs, il me faut expliquer le choix quelque peu onéreux des modèles au tantale pour le circuit de polarisation. Si leur emploi est à déconseiller absolument en tant qu'élément de liaison (il présente un léger effet semi-conducteur et une tolérance quasi-nulle en polarisation inverse), je les recommande spécialement ici et pour tout autre circuit destiné à l'audio à tube en raison de leur excellente fiabilité et de leur bonne tenue à la température. Il ne faut pas oublier que le circuit étant fixé sur le dissipateur thermique, ce critère est de première importance. Le type CTS13 au tantale solide est le garant d'un fonctionnement exempt de problèmes au fil des ans, les «tantale goutte» pouvant tout de même constituer une alternative intéressante. Les résistances

MU-FOLLOWER DE PUISSANCE

sont à choisir de type métallique du genre MRS 25, référence qui présente l'avantage de pouvoir dissiper 0,4 W pour un encombrement identique à celui des modèles courants 0,25 W. Comme mentionné plus haut, les résistances ajustables sont des modèles 25 tours (pattes en ligne), seuls à pouvoir garantir des réglages précis sous un volume minimum. Pour ce qui est de ceux-ci, la résistance RV1 devra être réglée de façon à obtenir environ 230 V à l'anode de l'EL183, ce qui correspondra selon les tubes à un courant de 30 à 32 mA : la tension entre l'anode et la «gate» du Mos sera alors de 3,6 à 3,9 V selon le transistor utilisé.

Un conseil : ne faites surtout pas la mesure de cette tension lorsque la haute tension sera appliquée, il vous en coûterait sûrement un Mos ! La résistance RV2 sera ajustée quant à elle de sorte à avoir 10,5 à 10,7 Ω pour l'ensemble R2-R3 et RV2, si l'on ne possède pas de distorsiomètre. Dans ce cas, il sera économique de remplacer RV2 par une résistance fixe calculée pour obtenir la même résistance équivalente. Pour les lecteurs chanceux ayant à disposition l'un de ces appareils de mesure, on pourra ajuster RV2 de façon à avoir le plus faible taux de distorsion possible. Ce réglage dépendra en fait de la transconductance du Mos, assez variable d'un composant à un autre, ainsi que de l'impédance primaire du transformateur de sortie. J'ai cependant vérifié expérimentalement que la valeur 10,5 Ω convenait toujours assez bien tant que l'on optait pour un Mos de type IRF740 ou 840 et un transformateur de sortie 230 V / 15 V. Notons au passage et avant de traiter plus en détails de ce transformateur que le circuit de polarisation gagnera à être nettoyé des flux de soudure, surtout au voisinage du Mos et dans le but de limiter les fuites de courant au niveau de la «gate». Afin de s'affranchir de toute velléité de mise en oscillation du circuit, une perle de ferrite sera enfilée sur cette connexion, au plus près du transistor : de cela dépend le bon fonctionnement du montage ! Remarquez à ce niveau l'ab-

sence de pastille sur le circuit imprimé destinée à la soudure du condensateur de liaison entre la résistance de fuite et la «gate». Ce n'est pas un oubli, il suffit d'effectuer la soudure directement sur la patte de la résistance. Cela présente le double avantage de pouvoir réduire au strict minimum la longueur de la sortie du condensateur connecté à cet endroit critique de l'amplificateur tout en permettant un montage/démontage aisé de l'ensemble du circuit fixé au dissipateur au reste câblé en l'air. Détail qui a son importance, soignez l'isolation du transistor, cela vous évitera des désagréments coûteux et même... fumants ! N'oubliez pas, ce serait dommage là aussi, d'isoler la surface du dissipateur en regard avec la plaquette à l'aide d'un carton ou d'une entretoise, dans le même but de ne pas avoir à changer le transistor à la première mise sous tension... Dernier travail à effectuer sur cette plaquette : connectez un condensateur de découplage polypropylène de 0,33 μF à 1 μF modèle axial entre la masse générale du montage et la broche d'alimentation correspondant au «drain» du Mos. Celui-ci, placé au plus près des circuits, se chargera de fournir au montage les crêtes de courant en cas d'appels violents lors des fortes modulations tout en assurant là encore une stabilité inconditionnelle.

• CHOIX DU MOS DE PUISSANCE

Nous l'avons vu un peu plus haut, le Mos sera choisi parmi les références IRF740 ou 840. Ce choix a été fait après de nombreux essais comprenant plusieurs types de transistors présentant soit une capacité Cgs plus faible, soit une transconductance plus élevée. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, il ne faut pas s'attendre à obtenir les meilleurs résultats en terme de bande passante avec les modèles possédant la plus faible Cgs, comme les IRF710 avec leurs 300 pF par exemple. En effet, ces Mos ont toujours en contrepartie une transconductance assez faible, ce qui a pour conséquence d'augmenter l'impédance de sortie et par là même de réduire la bande passante par

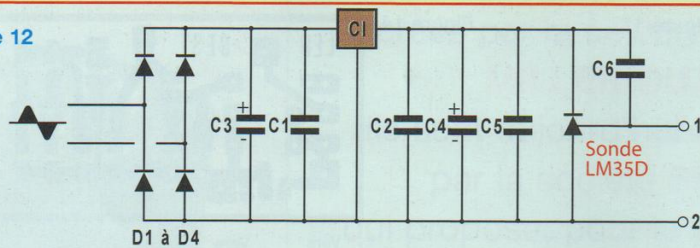
un amortissement trop important du transformateur de sortie. A l'inverse, des transistors à forte transconductance présenteront toujours une capacité Cgs trop forte qui sera pénalisante en régime dynamique. Ainsi, il nous faut comme à l'habitude trouver un compromis entre gm et Cgs afin d'obtenir la bande passante la plus élevée possible : les types IRF740 et 840 s'y prêtent à merveille. De plus, leur tenue importante en puissance permet de les faire fonctionner bien en deçà de leurs possibilités : ils ne dissipent qu'une douzaine de watt alors qu'ils pourraient en supporter 100... Ma préférence va au 740 qui assure d'obtenir les meilleures performances, bien que possédant un Vds max un peu limite pour notre utilisation (400 V contre 500 V pour le 840). Dans notre montage, celui-ci devra supporter 300 V en continu et près de 400 V en cas de modulation maximale, ce qui me pousse à vous conseiller l'IRF840. Sachez tout de même que, choisi chez les grands constructeurs (Motorola, SGS etc...), les IRF740 tiennent parfaitement, même en cas de coup dur, et je n'ai eu à déplorer à ce jour aucune panne due à ce composant. **Évitez comme la peste les Mos d'origine douteuse** dont la simple vue du dissipateur métallique vous en dira beaucoup sur leur fiabilité : donné pour 500 V max, un 840 peut très facilement partir en fumée dès 350 V, croyez en mon expérience !

Nous allons obtenir une fréquence de coupure basse de 0,3 Hz, ce qui permettra d'avoir d'excellents résultats pour les graves, même à pleine puissance. C'est sur le conseil d'un ami que j'ai décidé de cette configuration du condensateur à la masse, mes premiers essais bien moins concluants en régime musical ayant consistés à disposer les condensateurs entre source du Mos et primaire du transformateur, donc sur le trajet du signal.

• STABILITÉ THERMIQUE

Nous en avons traité plus haut, il est nécessaire de stabiliser le circuit en fonction de la température si l'on ne veut pas

Figure 12



essayer de cuisants échecs. Le procédé mis en œuvre ici consiste à utiliser, comme indique la **figure 12** un composant destiné à la mesure de température, le LM35D. Ce merveilleux petit élément en boîtier TO92 dont la version la moins précise est disponible à faible coût, délivre à sa sortie une tension égale à la température en degrés celsius avec un facteur d'échelle de 1/100 : on aura ainsi 200 mV pour 20°C. En utilisant judicieusement le LM35D ; il va être possible de faire décroître la tension conduite par le transistor, et par conséquent le point de fonctionnement de l'amplificateur.

Précisons que le LM35D ne doit pas être placé n'importe où... En effet, un trop bon couplage thermique avec le transistor rend le fonctionnement assez instable : le moindre échauffement du Mos provoque une forte diminution de sa tension «gate», faisant baisser le courant, entraînant par là même un refroidissement et une augmentation de Vgs etc... Quel que soit le type de dissipateur choisi avec une résistance thermique <math>< 1^\circ\text{C}/\text{W}</math> genre peigne (DXC622 ou autre), le meilleur emplacement possible pour la sonde sera juste au dessus de la languette métallique du transistor, placé contre le dissipateur avec un peu de compound. Vous choisirez le modèle d'entretoise convenant le mieux pour fixer le petit circuit imprimé sur le radiateur, de longueur légèrement inférieure à l'épaisseur du boîtier TO92 du LM35D afin d'assurer une pression suffisante à un bon contact thermique. Un écrou et 1 ou 2 rondelles pourront suffire à cet effet. Il faudra alors raccorder cette plaquette au circuit de polarisation à l'aide de 2 fils torsadés, en faisant attention aux connexions.

• TRANSFORMATEUR DE SORTIE

Comme vous l'avez remarqué et à votre grand étonnement, le transformateur de sortie est couplé au reste du circuit par un condensateur. Quelle horreur direz vous ! Il ne faut pas se laisser aller au scepticisme et réfléchir aux bénéfices qu'apporte ce type de couplage. En effet, l'utilisation d'un condensateur va permettre de s'affranchir du courant continu qui parcourt usuellement un transformateur de sortie, et cela n'a que des avantages. Il sera possible, grâce à ce procédé, de se passer d'un entrefer et obtenir ainsi au primaire du transformateur une inductance beaucoup plus élevée qu'à l'accoutumé pour un single-ended. Et quel transformateur usuel ne possède absolument aucun entrefer ? Le transformateur torique, bien sûr ! Ceux-ci ont aussi l'avantage de présenter un couplage primaire / secondaire bien meilleure que le type EI pour une capacité entre ses enroulements bien moindre. De plus, leurs qualités intrinsèques permettent de se passer du fractionnement des bobinages, l'inductance de fuite étant toujours très faible. L'idée d'utiliser ce type de transfo n'est pas nouvelle : une version du célèbre ampli Némésis populaire dans les années 80 avait recours à ces composants. Nous allons à notre tour faire usage de toriques, et cela va nous permettre, malgré la simplicité du montage, d'assurer une bande passante à pleine puissance avoisinant les 100 kHz ! Afin d'obtenir une fréquence de coupure basse la plus faible possible, il va falloir surdimensionner très généreusement le noyau du transformateur, et ce de façon à repousser au maximum la saturation susceptible d'intervenir aux très basses fréquences. Ainsi, il sera souhai-

table de choisir un modèle 400 ou 500 VA pour pouvoir passer des créneaux à 20 Hz sans déformations apparentes au voisinage de la puissance maximale qui sera ici d'environ 5 à 10 W. Les performances optimales du circuit sont obtenues pour une impédance primaire voisine de 1 800 Ω . Si l'impédance du haut parleur utilisé est de 8 Ω , il nous faut un rapport de transformation en tension d'environ 15, ce qui impose le choix d'un transformateur 230/15 V. Il est souvent possible de se procurer à bas prix d'excellents modèles correspondant à l'ancienne tension secteur de 220 V. Ceux-ci sont tout à fait recommandés, la très faible différence n'étant en rien préjudiciable à la qualité de la reproduction sonore de l'amplificateur. Vous constaterez par vous même que le fait d'utiliser un élément de 400 ou 500 VA permet d'avoir des bobinages de très forte section, et donc de très faibles résistances : cela est très avantageux du point de vue rendement et amortissement, ainsi que pour la bande passante. Libre à vous de choisir la solution plus usuelle du transformateur de sortie spécial audio. Il vous en coûtera sûrement plus cher pour un résultat probablement très proche. Il faudra alors choisir un modèle EI à tôles entrecroisées afin d'obtenir l'entrefer le plus faible possible et par conséquent la plus forte inductance. On trouve parfois des modèles 1 500 ou 2 000 Ω qui conviendront bien à notre application : il sera toujours possible de retoucher la valeur de RV2 afin de parfaire les résultats de distorsion, la valeur de cette résistance dépendant directement de l'impédance de sortie du montage étant environ de 200 Ω , il résulte un taux d'amortissement assez élevé pour un amplificateur sans contre-réaction, celui-ci étant de 5 environ. Afin de tirer pleinement partie de l'utilisation inhabituelle du transformateur de sortie, il va nous falloir soigner tout particulièrement le couplage capacitif. A cet effet, plusieurs condensateurs seront montés en parallèle pour assurer une parfaite mise à la masse d'une branche du

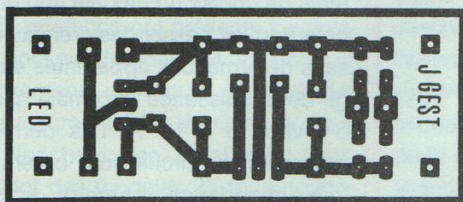


Figure 13

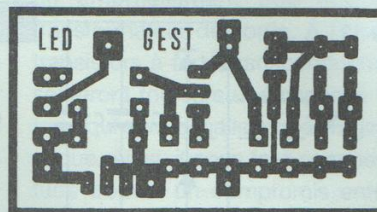
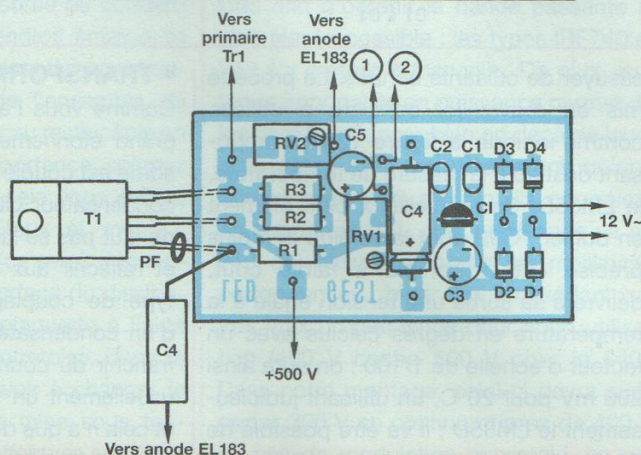
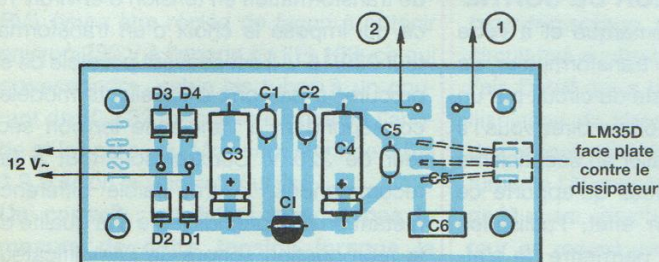


Figure 14



NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

CÂBLAGE EN L'AIR

• Résistances

R1 : 95,3 Ω / 1 % / 1/4 W si EL183
 R1 : 71,5 Ω / 1 % / 1/4 W si EL183E ou P
 R1 : 57,6 Ω / 1 % / 1/4 W si 6C45
 R2 : 100 k Ω / 1 % / 1/4 W
 R3 : 49,9 Ω / 1 % / 1/4 W

• Condensateurs

C1 : 10 000 μ F / 6,3V
 C2 : 4,7 ou 10 μ F / 100 V polycarbonate
 C3 : 330 nF à 1 μ F / 630 V polypropylène
 C4 : 82 ou 100 nF, voir texte

C5 : 330 μ F / 385 V ou 450 V
 C6 : 1 μ F / 630 V polyester
 C7 : 100 nF / 630 V polystyrène ou polypropylène

• Divers

V1 : EL183, EL183P ou EL183 E, 6C45pi ou pi E
 Tr1 : 220 ou 230 V / 15 V / 330 VA ou 400 VA
 PF : perle ferrite

POLARISATION MOS

• Résistances

R1 : 4,7 M Ω / 5 % / 1/4 W couche métallique

R2, R3 : 24,3 ou 27,4 Ω / 1 % / 1/4 W

RV1 : 50 k Ω / 25 tours (pattes en ligne type 67 W ou X)
 RV2 : 50 Ω / 25 tours (pattes en ligne type 67 W ou X)

• Condensateurs

C1, C2 : 100 nF / 50 V céramique multicouche Z5U
 C3 : 47 μ F à 100 μ F / 20 à 25 V tantale goutte
 C4 : 10 μ F ou 22 μ F / 16 V tantale goutte ou CTS13
 C5 : 10 μ F / 16 V tantale goutte ou CTS13

• Divers

D1 à D4 : 1N4148
 C1 : 78L12
 T1 : IRF740 ou 840
 PF : perle ferrite

STABILISATION EN TEMPERATURE

C1, C2, C5 : 100 nF / 50 V céramique multicouche Z5U
 C3, C4 : 10 à 22 μ F / 25 V tantale goutte ou CTS13
 C6 : 390 nF / 63V MILFEUIL
 D1 à D4 : 1N4148
 C11 : 78L08 ou 78L09
 C12 : LM35D

transformateur de sortie en régime dynamique, quelle que soit la fréquence. Pour parvenir à de bons résultats, un condensateur chimique de 330 μ F 105°C de haute qualité (Nippon Chemicon par exemple) se voit épaulé par un modèle polypropylène de 1 μ F et, si possible, par une capacité au polystyrène de 100 nF (ce dernier condensateur peut cependant poser des problèmes d'approvisionnement, la tension d'isolement devant être de 400 V minimum). Dernier détail qui a son importance. Vous pouvez, comme moi, décider de monter les transformateurs de sortie derrière les enceintes et

non sur le chassis de l'amplificateur, et ce pour éviter les couplages indésirables avec leurs homologues destinés à l'alimentation. Cette solution, quoique rarement adoptée, est radicale... Le rapport S/B s'en trouve fortement amélioré et l'esthétique de votre montage peut y gagner. Pour ma part, les transformateurs sont raccordés à la source des Mos et aux condensateurs de couplage par un fil torsadé isolé téflon de 2,5m environ. La faible impédance de sortie du circuit permet ce genre de manoeuvre sans qu'aucun problème ne soit à craindre au niveau de la stabilité. A vous de choisir...

UN PEU DE PRATIQUE

Pour en terminer avec cette première partie, nous vous proposons de câbler les deux premiers modules de cet amplificateur original fonctionnant en classe A «glissante».

Quelques composants sont directement soudés aux cosses du support Noval recevant le tube EL183.

A très bientôt pour la description détaillée du montage.

A suivre...
Jérôme Gest

TRANSFORMATEURS DE SORTIE MILLERIOUX



Les transformateurs audio présentés sur cette page ont été créés par la célèbre société

MILLERIOUX.

Ils sont aujourd'hui fabriqués par la société **SERDI** qui propose, pour le plus grand plaisir des audiophiles, les meilleures références **MILLERIOUX** dans différents montages basse fréquence.



MONTAGE PUSH-PULL PENTODES

Référence	Puissance W	Impédance Primaire	Prise écran	Tubes	Poids kg	Prix TTC
HH 14B	10/15	3400 Ω	43%	EL34 - 6L6	1.5	129 €
HH 18B	10/15	8000 Ω	43%	EL84 - 6V6	1.5	129 €
AH 26B	20/30	6600 Ω	43%	EL34 - 6L6	2	169 €
AH 29B	20/30	8000 Ω	43%	EL84 - 7189 - 6V6	2	169 €
XH 36B	30/50	6600 Ω	43%	EL34 - 6L6 - 6550	5.5	220 €
XH 53B	50/70	3400 Ω	43%	6550 - KT88 - KT90 - 807	5.5	220 €
XH 744B	70/100	4000 Ω	43 % séparées	6550 - KT88 - KT90 - 807	6.5	296 €

MONTAGE PUSH-PULL TRIODES

AH 215B	20/30	3000 Ω	sans	6080 - 6AS7 - 6336	2.5	169 €
---------	-------	--------	------	--------------------	-----	-------

MONTAGE DOUBLE PUSH-PULL PENTODES

RH 30B	140	2400 Ω	43%	6550 - KT88 - KT90 - 807	7	285 €
--------	-----	--------	-----	--------------------------	---	-------

MONTAGE SIMPLE ETAGE TRIODE ET PENTODE EN ULTRA LINEAIRE

AH 53B	50	2300/3500 Ω	45/38 %	300B - VT52 - 2A3 - 845 6550 - KT88 - KT90 - EL34	4	231 €
JH 54B	150	2500/5000 Ω	sans	211 - 845	7.5	258 €
JH 55B	100	392 Ω	sans	6C33 - 7242	7.5	258 €

Impédances secondaires : 4/8/16 Ω

Présentation : moulé en cuve métallique peinte en noir

Connexions par bornes à souder sur isolant téflon

Fabrication selon les dossiers d'origine de la société MILLERIOUX

Large gamme de transformateurs d'alimentation et de selfs de filtrage

Pour d'autres références de transformateurs de sortie ou d'autres montages nous consulter.

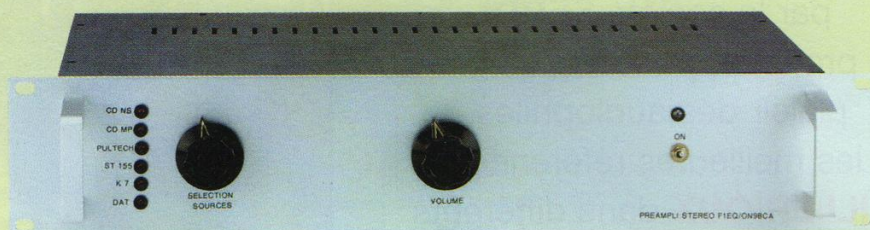
CONDITIONS de VENTE : Règlement par chèque joint à la commande - **PORT :** 11 € jusqu'à 5 kg, 16.30 € de 5 à 15 kg, 26.40 € au-delà

SERDI

26, rue de la Résistance - Z.I. de la Croix-Blanche Ouest - 91707 SAINTE-GENEVIEVE-DES-BOIS Cedex

Tél : 01 60 15 03 94 - Fax : 01 60 16 55 68 - www.serdi.fr - Email. serdi@serdi.fr

PREAMPLIFICATEUR AUDIOPHILE 6 ENTREES



Compte tenu des très nombreuses demandes concernant la description de la partie vinyle, j'ai décidé d'inverser l'ordre de parution initialement prévu.

Vous trouverez dès maintenant la description de la carte «PRE-PRE VINYLE», la version professionnelle définitive du préamplificateur sera décrite dans le numéro suivant cette parution.

Pour répondre dès à présent à certaines questions posées par des lecteurs, je précise que cette dernière modification porte sur des éléments mineurs, plus précisément sur les tubes 12AT7 qui seront remplacés par d'autres beaucoup plus performants. Cependant, ces 12AT7 seront réutilisées dans l'amplificateur de puissance qui suivra. Leur achat n'est donc pas « à fond perdu ».

AVERTISSEMENT SUR CETTE PARUTION

Les tubes utilisés dans le pré-pré et dans le préampli de la version finale sont tous chauffés en 6,3 V.

La première version du préampli est équipée de 12AT7 dont les filaments sont chauffés en 12,6 V. Ceci a nécessité l'usage de petits circuits doubleurs de tension LATOUR pour obtenir les 12,6 V nécessaires en partant d'un transformateur qui délivre du 6,3 V.

Il n'est donc pas possible de monter le pré-pré décrit ci-dessous avec la première version de ce préamplificateur,

ceci aurait pour conséquence de griller les filaments des 5725 qui seraient alimentés en 12,6 V au lieu de 6,3 V.

Dans la version définitive les modifications nécessaires seront décrites pour pouvoir alimenter l'ensemble pré-pré et préampli en 6,3 V pour les filaments. Les 12AT7 seront donc abandonnés pour des tubes beaucoup plus performants.

LE VINYLE ET LA CORRECTION RIAA

Pour la majorité des «sources» utilisées, que ce soit les lecteurs CD ou DVD, les Tuner FM, les magnétophones à bandes, K7 ou DAT, la tension de sortie est de l'ordre de 2 à 3 V. De plus, la bande passante est normalement linéaire sur tout le spectre audio. Autrement dit, la tension de sortie est la même quelle que soit la fréquence à l'intérieur de la bande passante qui va généralement de quelques dizaines de hertz, à 18 ou 20 kHz, voir plus. L'impédance de sortie de ces sources est toujours compatible avec l'impédance d'entrée des préamplifica-

teurs classiques, qu'ils soient à transistors ou à tubes.

Il en va tout autrement pour les platines vinyles.

Il existe beaucoup de types de cellules de lectures. Les piézo-électriques, bon marchés mais de résultats médiocres, les cellules à aimant mobile, et les cellules à bobines mobiles. C'est de ces dernières qui sont les plus répandues parmi les cellules de qualité que nous nous occuperons ici.

Il faut savoir que la tension délivrée par ces têtes de lectures va de moins de 0,1 mV à plusieurs dizaines de millivolts, et que l'impédance de sortie est comprise entre 20 Ω et 50 Ω pour les modèles normalisés. Les meilleures têtes de lectures sont aussi souvent celles qui délivrent les tensions de sorties les plus faibles sur les impédances les plus basses.

Vous trouverez dans le **tableau 1** les caractéristiques de quelques têtes de lectures parmi les plus connues.

La tension de sortie de plus n'est pas linéaire avec la fréquence

Ceci est dû à la technique de gravure des disques vinyles. Dans cette opération qui consiste à graver les deux cotés d'un sillon de façon mécanique, à l'aide d'un «burin», les contraintes mécaniques, liées au peu d'espace disponible dans le sillon, nécessitent d'atténuer de façon importante les sons graves et d'augmenter de la même façon les aigus ; un côté du sillon correspondant à la voie gauche, et l'autre côté à la voie droite.

Le niveau du signal sortant de la tête de lecture est donc plus élevé sur les aigus, et plus faible sur les graves. Pour compenser cette non-linéarité à l'enregistrement, il faut faire l'opération inverse à la lecture, c'est à dire augmenter les graves, et baisser les aigus de la même quantité qu'à l'enregistrement.

Au début de l'ère du disque, 78 tours puis microsillons 45 et 33 tours, **chaque fabricant de disques avait sa propre courbe d'enregistrement.**

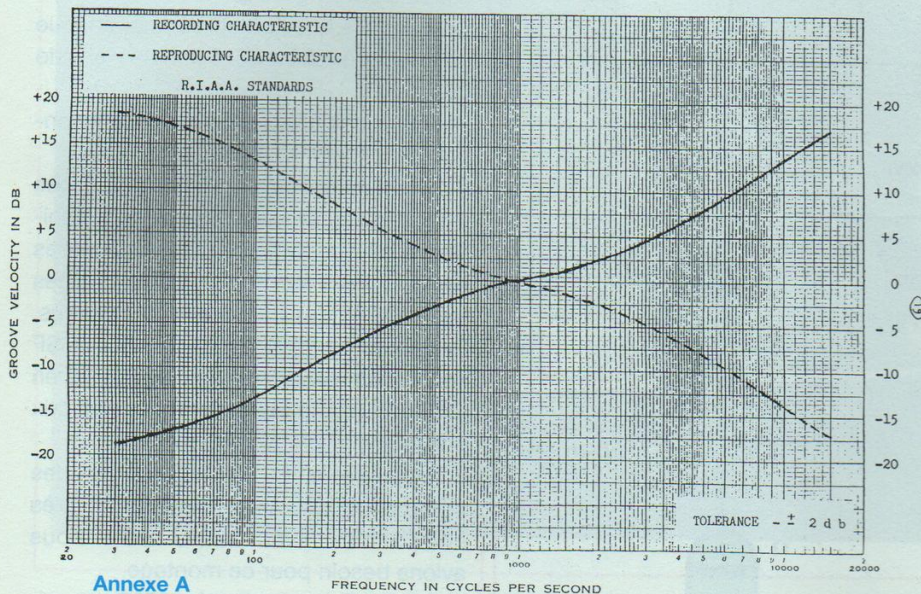
Les préamplificateurs de cette époque

LE PRÉ-PRÉ VINYLE

Tableau 1

TABEAU des CARACTERISTIQUES de quelques têtes de lecture

MARQUE	REFERENCE	TYPE	IMPEDANCE	TENSION
DENON	Bobine mobile	DL103-103R	30 à 40 Ohms selon type	0,3mv
DENON	Bobine mobile	DL305	40 Ohms	0,2 mv
EMT	Bobine mobile	TSD15	40 Ohms	0,21mv
GRADO				
Stanton				



Annexe A

Annexe B

FREQUENCY	RECORDING CHARACTERISTIC	REPRODUCING CHARACTERISTIC
15000	+17.17	-17.17
14000	+16.64	-16.64
13000	+15.95	-15.95
12000	+15.28	-15.28
11000	+14.55	-14.55
10000	+13.75	-13.75
9000	+12.88	-12.88
8000	+11.91	-11.91
7000	+10.85	-10.85
6000	+ 9.62	- 9.62
5000	+ 8.23	- 8.23
4000	+ 6.64	- 6.64
3000	+ 4.76	- 4.76
2000	+ 2.61	- 2.61
1000	0	0
700	- 1.23	+ 1.23
400	- 3.81	+ 3.81
300	- 5.53	+ 5.53
200	- 8.22	+ 8.22
100	-13.11	+13.11
70	-15.31	+15.31
50	-16.96	+16.96
30	-18.61	+18.61

étaient donc souvent pourvus de plusieurs systèmes de corrections qu'il fallait commuter, voire ajuster en fonction de la marque des disques que l'on voulait écouter. Ce n'était pas très simple. Les appareils les plus connus qui permettaient de corriger toutes les courbes des différents fabricants de disques, sont sans doute le «MARANTZ Audio Consolette» et le «MAC INTOSH C8». En mai 1954, les principaux fabricants de disques microsillons se sont enfin décidés à adopter une courbe unique pour les corrections pratiquées à l'enregistrement.

Cette courbe normalisée, est en fait très proche de celle qu'utilisait la firme R.C.A. Elle reçut le nom de **COURBE DE CORRECTION R.I.A.A.** comme «RECORD INDUSTRY ASSOCIATION of AMERICA». Cette courbe standardisée est toujours utilisée aujourd'hui.

Vous trouverez en **annexe A** :

- le graphique représentant la tension (échelle linéaire, exprimée en dB) en

fonction de la fréquence (sur échelle logarithmique) :

- en gras courbe à l'enregistrement,
- en pointillés, courbe à la lecture.

On remarque que cette courbe n'est pas droite, la partie centrale est plus plate que les extrémités.

- le tableau **annexe B** indique les niveaux relatifs à l'enregistrement et à la lecture en fonction de la fréquence.

De tout ce qui vient d'être dit, il ressort qu'il n'est pas possible d'attaquer l'entrée d'un préamplificateur directement.

Il faut interposer un «pré-pré amplificateur», dont le but est :

- d'adapter l'impédance entre la tête de lecture et l'étage d'entrée du préamplificateur,
- d'amplifier le signal à un niveau suffisant pour attaquer le préamplificateur,
- de respecter la courbe de correction RIAA de la reproduction.
- d'adapter l'impédance de sortie pour la

rendre compatible avec celle du préamplificateur.

Il existe bien des méthodes et des circuits pour arriver à obtenir tout cela. Notre but étant la réalisation d'un ensemble de très hautes performances, comparable aux meilleures réalisations du marché, tout en restant accessible à une réalisation facile, nous avons fait les choix suivant :

- adaptation d'impédance d'entrée par transformateur de haute qualité. C'est la pièce la plus onéreuse du montage.
- amplification à tubes avec usage du circuit «SRPP» avec régulateur de courant comme dans le circuit du préamplificateur, avec sortie à basse impédance.
- correction de la courbe RIAA par circuit R-L-C.

Ce dernier point nécessite quelques commentaires.

Il y a essentiellement deux groupes de méthodes pour corriger la courbe RIAA :

- la voie active, avec une contre réaction à taux variable avec la fréquence. C'est

PRÉAMPLIFICATEUR AUDIOPHILE

Figure 1

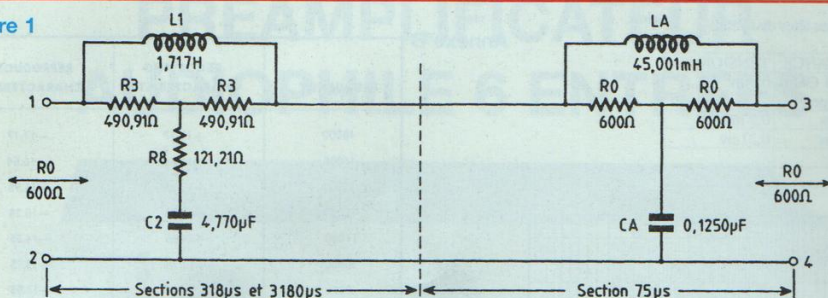
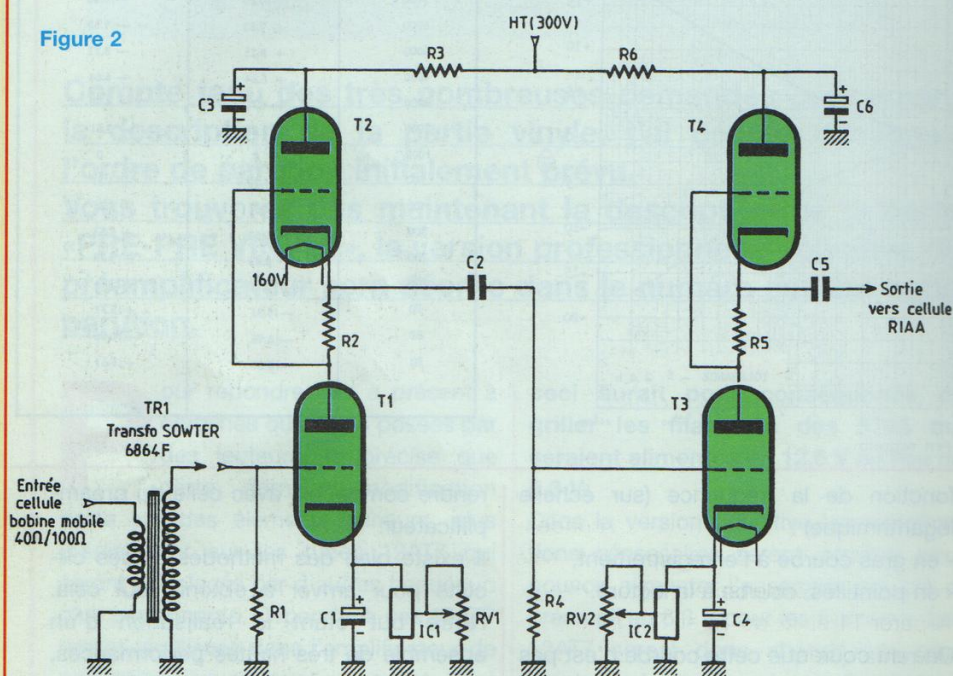


Figure 2



sans nul doute la méthode commerciale la plus utilisée.

- la voie passive, avec transfert du signal entre pré-pré et préamplificateur au travers d'un circuit à résistances et capacités, ou au travers d'un circuit à selfs, résistances et capacités.

C'est ce dernier circuit qui a été préconisé par le groupe RIAA selon le schéma de la **figure 1**.

Ce circuit est utilisé sur quelques réalisations professionnelles prestigieuses de haut niveau, comme le célèbre PULTECH de la WESTERN qui nous sert de référence, ou son dérivé japonais commercialisé par la Société japonaise TANGO sous la référence EQ 600. Cet appareil

qui n'est plus fabriqué à ce jour peut encore être trouvé dans les petites annonces, mais il faut casser la tirelire ! Photo Pultech et EQ600 (**photo A**) C'est ce circuit que nous utiliserons tel qu'il est décrit dans la note technique RIAA..

En réalité, il est composé de deux circuits en série, ceci afin de bien respecter la partie centrale de la courbe RIAA qui comporte un palier qu'il est très difficile de respecter correctement avec les autres méthodes.

Après ce préambule un peu long (que les lecteurs qui connaissent veulent bien m'excuser) venons en à la réalisation du pré-pré vinyles.

REALISATION PRATIQUE DU PRE-PRÉ VINYLE

• ANALYSE DU SCHEMA

Le schéma électrique complet du pré-pré se trouve **figure 2**.

On constate que l'on utilise pour chaque voie, quatre tubes 5725 montés en triode de.

Pourquoi ces tubes à la référence inconnue de la majorité d'entre vous ?

Simplement parce qu'il s'agit de tubes militaires dits de «sécurité» dont la fiabilité et les performances exceptionnelles sont assurées par un cahier des charges rigoureux et des tolérances très serrées. Ces tubes fabriqués par THOMSON CSF sont récemment devenus disponibles en FRANCE en grande quantité, et à un prix public inférieur à 8 € le tube.

Enfin, montés en triode, ils ont des caractéristiques très linéaires et très compatibles avec celles dont nous avons besoin pour ce montage.

La **photo B** montre le tube 5725.

• CARACTÉRISTIQUES DU TUBE 5725

- Chauffage filament : 6,3 V ±10 %/0,175 A
- Tension anodique : 200 V max
- Tension G1 : -2 V
- Courant anodique : 5,2mA (max 20 mA)
- Dissipation d'anode : 1,7 W (max 2,2 W)
- Capacité G1/anode : 0,01 pF
- Tension filament/cathode : 100 V
- Support miniature : 7 broches

Ce tube supporte les vibrations, les chocs, l'altitude etc...

Les 5725 sont alimentés en 6,3 V continu depuis le module préamplificateur.

Les filaments des tubes T2 et T4 sont donc portés à un potentiel égal à la moitié de la haute tension par rapport à la masse, ceci pour éviter les amorçages éventuels entre cathodes et filaments.

Le signal délivré par la cellule phono-lectrice entre directement sans passer par

LE PRÉ-PRÉ VINYLE

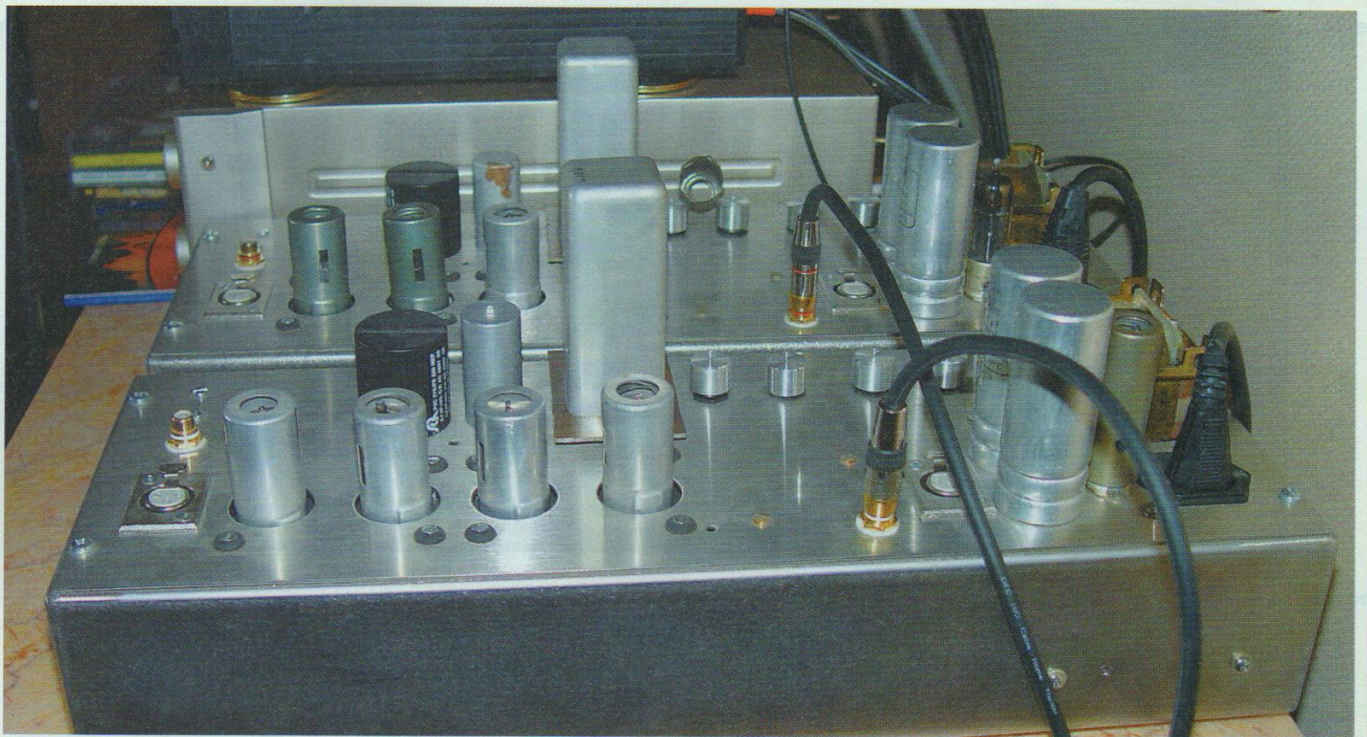


Photo A

les relais dans le primaire du transformateur TR1 (pour la voie gauche) et TR2 (pour la voie droite). Ces transformateurs étant élévateurs, ils amplifient le signal (et abaissent le courant) du rapport de transformation. Ici de 1 à 11,5.

Si la cellule délivre 1 mV, c'est 11,5 mV qui seront appliqués sur la grille de T1. Sur chaque canal, le signal sortant du secondaire du transformateur TR1 arrive sur la grille des tubes T1. Cette grille est reliée à la masse par le secondaire du transformateur, shunté par une résistance de 82 k Ω . J'insiste sur l'absolue nécessité de monter cette résistance, qui peut paraître superflue, mais qui permet de rendre le circuit d'entrée linéaire, en adaptant les impédances. Le tube T2 est polarisé par la résistance de 2 k Ω . L'anode est alimentée par la haute tension au travers d'une cellule de filtrage R3 de 10 k Ω et C3 de 10 μ F / 350 V, afin d'améliorer le rapport signal/bruit.

Les triodes T1 et T2 sont montées en configuration SRPP avec régulateur de courant à LM317T dans la cathode de

T1, shunté par un condensateur de 220 μ F. La sortie se fait sur la cathode de T2. Le signal est prélevé par un condensateur C2 de 0,33 μ F de type MKP isolé à 300 V. Ce condensateur a pour rôle de séparer T1 et T2 de T3 et T4 du point de vue du courant continu, en laissant passer le signal audio amplifié par T1 vers T3. Le couple T3 et T4 fonctionne également en configuration SRPP avec régulateur de courant LM317T dans la cathode de T3, shunté par un condensateur de 220 μ F. La grille du tube T3 sur laquelle arrive le signal est réunie à la masse par une résistance de 260 k Ω (dite de fuite de grille). Le tube T4 est polarisé par une résistance R5 de 820 Ω seulement. L'anode est réunie à la haute tension par une cellule R6/C6, résistance de 10 k Ω et condensateur de 10 μ F toujours pour soigner le rapport signal/bruit. La sortie se fait sur la cathode de T4 à travers un condensateur MKP, C5, de 3,3 μ F qui sert de liaison vers le filtre correcteur RIAA à R-L-C.

La haute tension générale est ramenée à

Photo B



300 V par réglage du potentiomètre sur la carte alimentation.

Il y a lieu de constater que les deux étages SRPP montés en série n'ont pas le même point de fonctionnement sur la droite de caractéristiques des tubes. Ceci est volontaire pour tenir compte du fait que le signal sur T1/T2 est de l'ordre

PRÉAMPLIFICATEUR AUDIOPHILE

Figure 3A

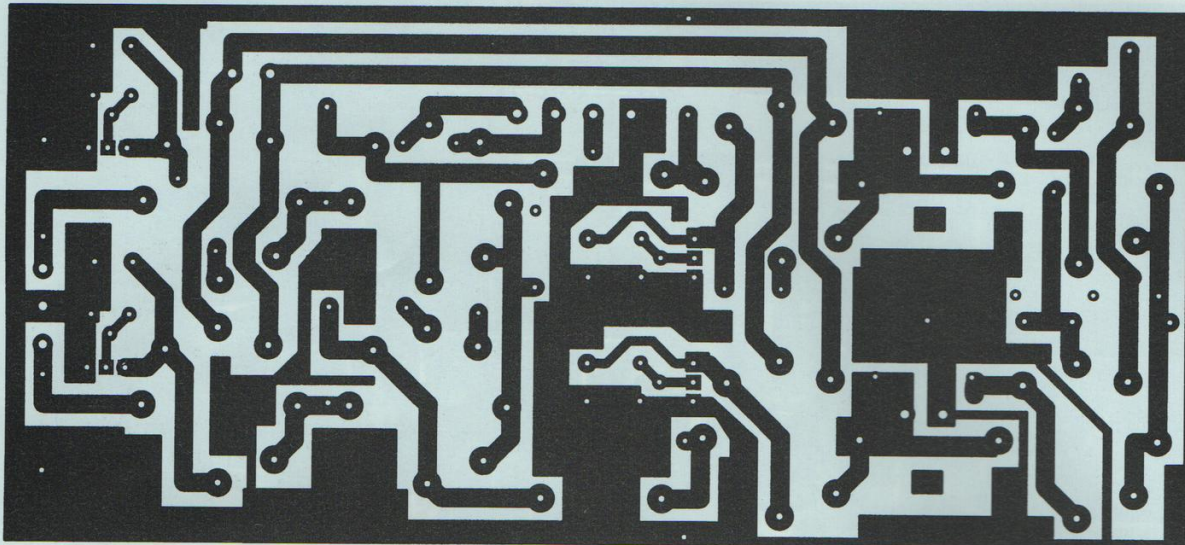


Figure 3B

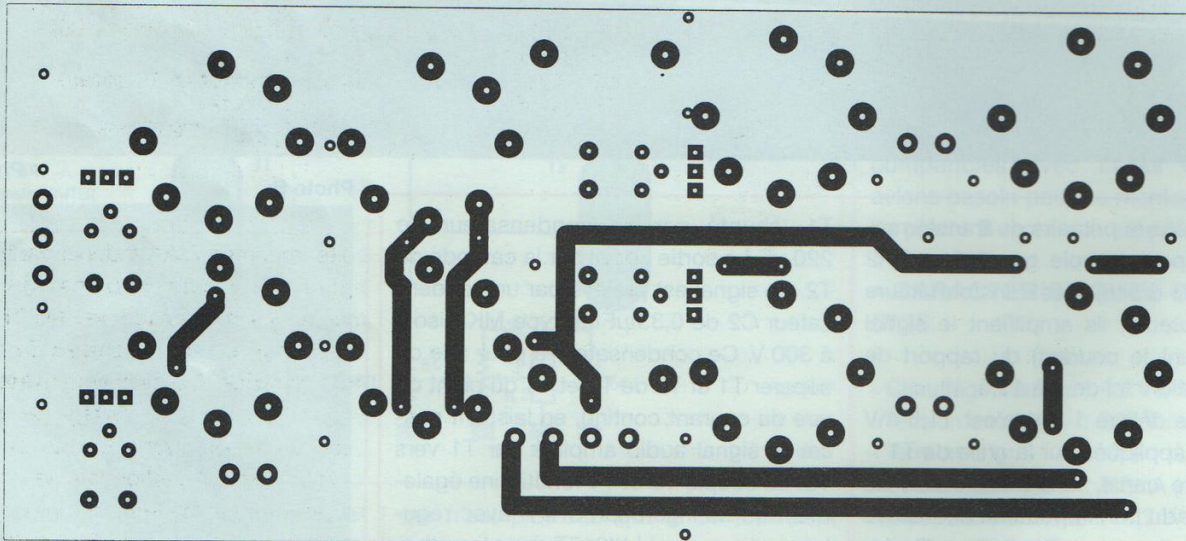
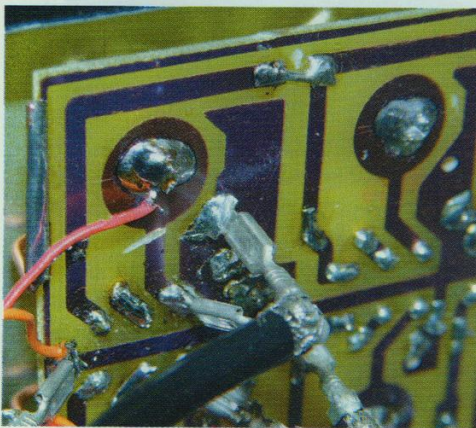


Photo C



de quelques millivolts, alors qu'il est de l'ordre de plusieurs centaines de millivolts sur T3/T4.

Les potentiomètres ajustables de cathodes seront pré-réglés de la façon suivante :

RV1 : ajuster à 700 Ω

RV2 : ajuster à 400 Ω

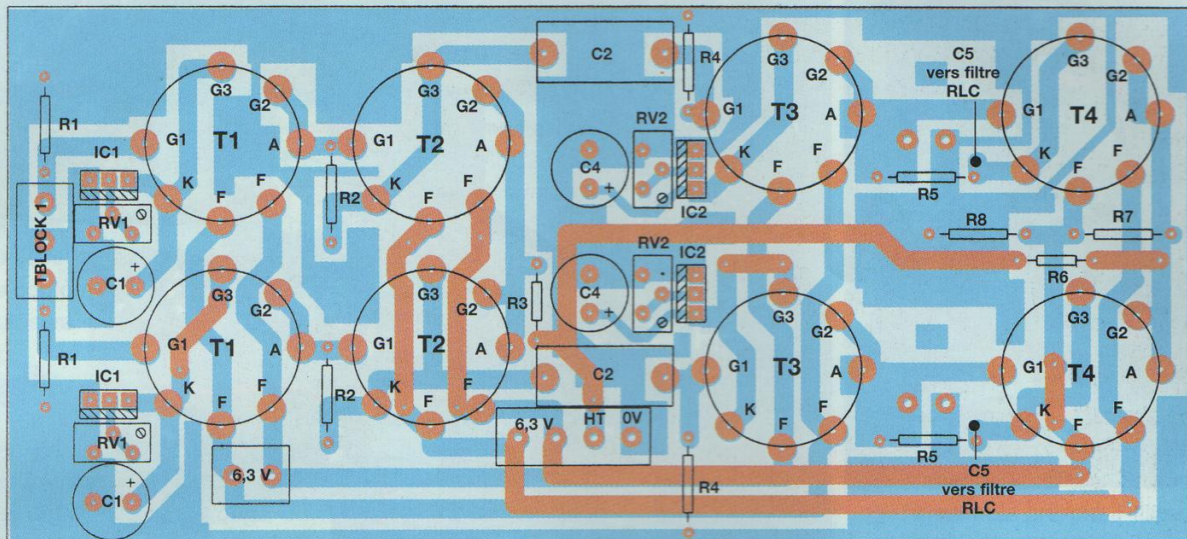
REALISATION PRATIQUE

La première opération consiste à couper sur la carte du module sélecteur à relais, la piste juste au niveau de la grosse pas-

tille sur laquelle est soudée la fiche RCA. Cette découpe concerne la voie gauche et la voie droite, mais uniquement pour l'entrée vinyle. Ceci peut être fait avec un petit disque rotatif monté sur une mini perceuse, ou même éventuellement avec un simple cutter. Voir **photo C**.

L'entrée de la modulation se fait sur un transformateur élévateur spécialement conçu pour bobines mobiles de cellules de lectures de vinyle par la Ste britannique SOWTER. Il porte la référence ST6864F. Il s'agit d'un transformateur mono, deux transfos sont donc nécessaires.

Figure 3C



NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

• Résistances

R1 : 82 k Ω
 R2 : 2 k Ω
 R3 : 10 k Ω
 R4 : 260 k Ω
 R5 : 820 Ω
 R6 : 10 k Ω

R7 : 220 k Ω
 R8 : 220 k Ω

• Condensateurs

C1 : 220 μ F
 C2 : 0,33 μ F / 300 V
 C3 : 10 μ F / 350 V

C4 : 220 μ F

C5 : 3,3 μ F / 300 V
 C6 : 10 μ F / 350 V

• Tubes

T1 à T4 : 5725

• Divers

8 supports NOVAL miniature 7 broches
 IC1, IC2 : 4 régulateurs LM317T
 RV1, RV2 : multitours
 1 k Ω

Les caractéristiques de ce modèle sont les suivantes :

- Impédance d'entrée 40 Ω (utilisable pour les cellules de 40 à 100 Ω)
- Bande passante de 10 Hz à 40 kHz à $\pm 0,5$ dB
- Rapport élévateur 1 à 12,5 (mesuré 1 à 11,5)

Pour les cellules d'impédance inférieure à 40 Ω , il faut utiliser le modèle ST6495 ou ST8055 (beaucoup plus onéreux).

Il est probablement possible d'utiliser d'autres transformateurs. Voir LUNDAHL DK ou JENSEN USA.

Les transformateurs sont fixés contre la tôle châssis de fond dans le coin arrière gauche. Les fils «orangé» et «rouge» sont torsadés ensemble, de même pour les fils «bleu», «vert» et «noir». Les entrées se font sur les prises RCA situées à gauche. L'écart entre ces prises et celles d'à côté est de 30 mm, pour 25 entre les autres. Le fil «rouge» du transfo est soudé directement sur la grosse pastille sur laquelle est soudée la prise RCA ; le

fil «orangé» étant soudé à la masse. Le fil «noir» du blindage mu-métal et le fil «vert» du secondaire sont fixés sur la prise masse du TBLOCK N° 1. Le fil «bleu» du transformateur de la voie gauche sera raccordé à l'entrée du pré-pré sur le même TBLOCK correspondant à la voie gauche. Même chose pour la voie droite.

Il nous faut maintenant câbler le circuit imprimé que vous avez reçu de la Revue LED. Il s'agit cette fois d'un circuit double faces comme l'indiquent les figures 3A et 3B. Comme d'habitude, vous commencerez par souder les plus petits composants, ici il n'y a pas de straps, donc les résistances, puis les supports de tubes, les condensateurs, les TBLOCK, et enfin les LM317T. Les deux condensateurs de 10 μ F / 350 V seront soudés sous le circuit, côté pistes inférieures. S'agissant d'un circuit double face les soudures seront à effectuer de chaque côté du circuit (figure 3C).

Il faut faire de même pour les deux cir-

cuits imprimés RIAA indépendants de la figure 4A. Commencer par les résistances, les condensateurs, les TBLOCK et finir par les selfs montées dans leurs pots en ferrite. Celles ci sont fixées sur le circuit imprimé par vissage et collage avec une colle cyanoacrylate du genre «super glue». Attention de ne pas trop serrer la vis car les ferrites sont fragiles et les pots peuvent casser (figure 4B).

Monter les circuits sur le châssis de fond, comme sur la photo D à l'aide des vis et entretoises fournies dans le kit (si vous avez acheté le kit). Raccorder le circuit pré-pré au circuit préamplificateur avec du fil «rouge» et «bleu» torsadés pour les deux alimentations filaments et haute tension. Bien respecter les fils (+) et (-).

Monter les condensateurs de liaisons entre les TBLOCKS du circuit pré-pré et les TBLOCKS d'entrées des circuits RIAA en respectant bien les sens de branchements, puis raccorder avec un morceau de coaxial ou de fil blindé la

PRÉAMPLIFICATEUR AUDIOPHILE

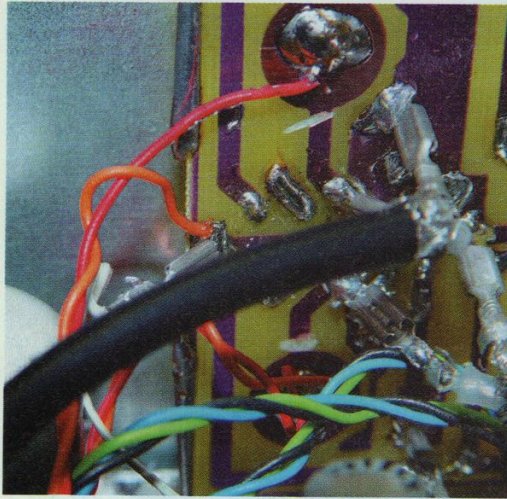


Photo E

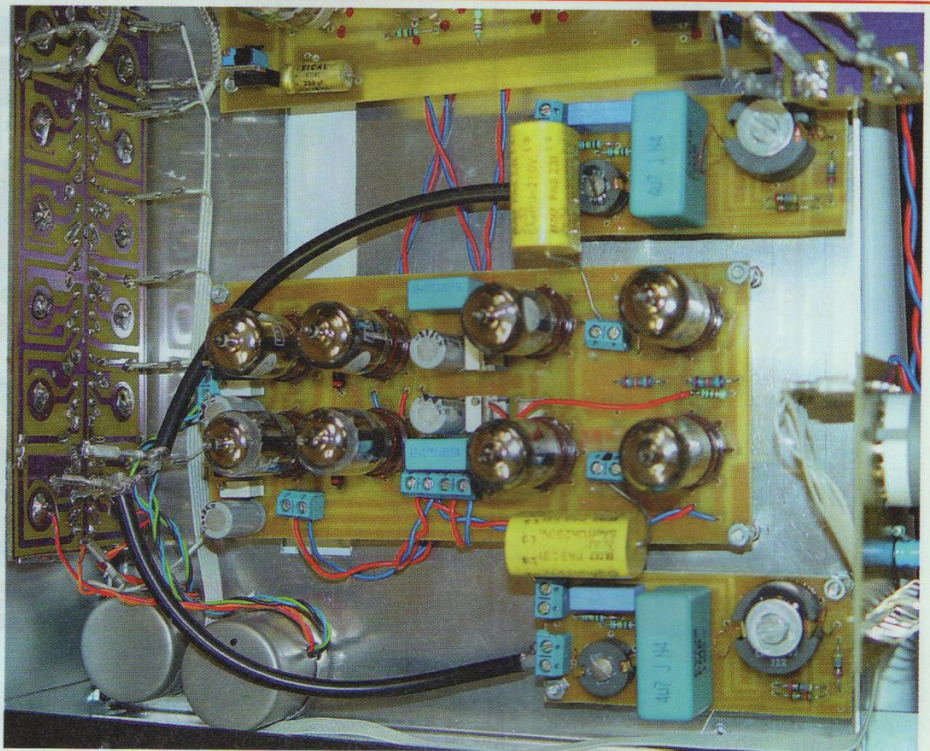


Photo D

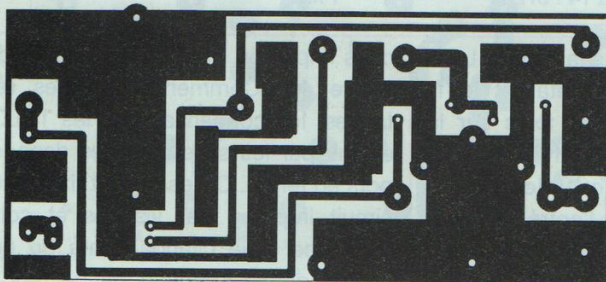


Figure 4A

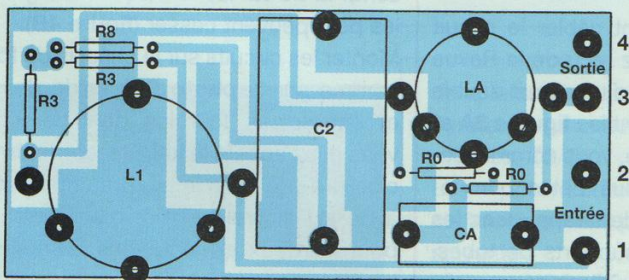


Figure 4B

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

VALEURS THÉORIQUES

R0 : 600 Ω	C2 : 4,770 μF	L1 : 1,717H
R3 : 490,9 1 Ω	CA : 0,125 μF	LA : 45,001 mH
R8 : 121,21 Ω		

Tableau 2

RELEVÉ DE FILTRE RIAA RLC				
FREQUENCE	Niveau Mesuré pour Ve=10mv en db	Niveau ramené à 0db à 1Kcs	Niveau Standard RIAA	Ecart avec le standard en db
20	4,67	21,8	19,3	-2,5
30	2,35	19,48	18,6	-0,88
40	0,64	17,77	17,8	0,03
50	-0,65	16,48	16,96	0,48
60	-1,69	15,44	16,1	0,66
70	-2,54	14,59	15,31	0,72
80	-3,34	13,79	14,5	0,71
90	-3,97	13,16		
100	-4,66	12,47	13,11	0,64
200	-9	8,13	8,22	0,09
300	-11,59	5,54	5,53	-0,01
400	-13,23	3,9	3,81	-0,09
500	-14,36	2,77	2,6	-0,17
600	-15,15	1,98	1,9	-0,08
700	-15,78	1,35	1,23	-0,12
800	-16,28	0,85	0,7	-0,15
900	-16,7	0,43		-0,43
1000	-17,13	0	0	0
2000	-19,91	-2,78	-2,61	0,17
3000	-22,19	-5,06	-4,76	0,3
4000	-24,11	-6,98	-6,64	0,34
5000	-25,75	-8,62	-8,23	0,39
6000	-27,11	-9,98	-9,62	0,36
7000	-28,31	-11,18	-10,85	0,33
8000	-29,37	-12,24	-11,91	0,33
9000	-30,34	-13,21	-12,88	0,33
10000	-31,16	-14,03	-13,75	0,28
11000	-31,92	-14,79	-14,55	0,24
12000	-32,63	-15,5	-15,28	0,22
13000	-33,27	-16,14	-15,95	0,19
14000	-33,83	-16,7	-16,64	0,06
15000	-34,39	-17,26	-17,17	0,09
16000	-34,9	-17,77	-17,7	0,07
17000	-35,34	-18,21		
18000	-35,76	-18,63	-18,7	-0,07
19000	-36,19	-19,06		
20000	-36,56	-19,43	-19,6	-0,17

LE PRÉ-PRÉ VINYLE

sortie du filtre RIAA à la piste du module sélecteur d'entrée à relais que l'on a coupé au début du montage voir **photo E**, ceci pour les voies gauche et droite.

REGLAGES ET MESURES

ATTENTION : je rappelle que ce qui suit n'est à faire qu'après avoir modifié les circuits conformément à la version définitive qui sera décrite dans le prochain numéro.

Mettre l'ensemble sous tension et laisser chauffer quelques minutes. Mettre le commutateur du sélecteur d'entrée sur la position VINYLE ; la led rouge du haut doit s'allumer. Mesurer avec le multimètre (fourni avec le kit) les tensions filaments et haute tension ont doit trouver les mesures suivantes :

- Filaments T1 et T3 : +6 V continu
- Filaments T2 et T4 : +6 V continu

- Entre masse et filaments T2 et T4 : + 160 V continu
- Entre masse et HT : 300 V précisément, sinon ajuster avec RV1 de la carte alimentation stabilisée.
- Entre R2/C2 et la masse : 160 V sinon ajuster avec RV1
- Entre R5/C5 et la masse : 160 V sinon ajuster avec RV2

Si vous disposez d'un générateur BF, d'un oscilloscope et d'un distorsiomètre, brancher les sondes de l'oscilloscope et du distorsiomètre à l'entrée de la carte filtre RIAA sur chaque voie, après le condensateur d'isolement de 3,3 µF. Brancher un générateur BF à l'entrée vinyle, régler celui-ci sur 1 000 Hz et régler le niveau à 10 mV. Fignoler les réglages des ajustables pour obtenir le taux minimum de distorsion. Augmenter le niveau d'entrée pour obtenir un début d'écrêtage. Le minimum de distorsion ne

correspond pas exactement à l'écrêtage symétrique. Compte tenu des faibles niveaux à l'entrée, ce facteur n'est pas important ; il est préférable de régler au minimum de distorsion.

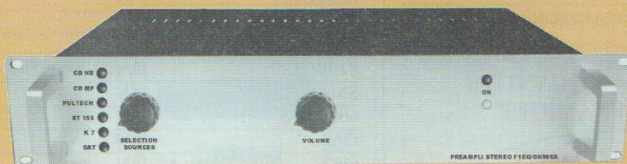
Si vous disposez en plus d'un voltmètre électronique ou d'un analyseur de spectre vous pouvez vérifier la courbe de correction des filtres RIAA. Pour cela il faut injecter le signal BF sur l'entrée vinyle et faire la mesure de tension en sortie du filtre RIAA.

Le **tableau 2** vous donne les résultats de nos mesures relevées sur analyseur programmable automatique HP 8903.

On constate que la courbe de réponse de l'ensemble pré-pré + filtre s'écarte de la courbe théorique aux maximums de +0,72 dB et -0,43 dB, alors que le standard RIAA nous autorise ± 2 dB !

André Cochetoux

KIT PRÉAMPLI HAUT DE GAMME DÉCRIT PAR A. COCHETOUX



Le kit comprenant l'ensemble des composants : transformateur et self ACEA, tubes Sylvania, Mullard, etc, potentiomètre ALPS, condensateurs MKP. (sans circuits imprimés ni coffret)

KIPREAMPC-1390€00

Le coffret rack ARABEL 2U profondeur 250 mm + 2 boutons : HAER4809-250-CO60€00

AGENCES ELECTRONIQUE DIFFUSION

SIÈGE SOCIAL

Avenue de la Victoire	59117 WERVICQ-SUD	Tél: 03.28.04.30.60	Fax: 03.28.04.30.61
43, rue Victor Hugo	92240 MALAKOFF	Tél: 01.46.57.68.33	Fax: 01.46.57.27.40
45, rue Maryse Bastié	69008 LYON	Tél: 04.78.76.90.91	Fax: 04.78.00.37.99
26, rue de la Cunette	59140 DUNKERQUE	Tél: 03.28.66.60.90	Fax: 03.28.66.60.91
234, rue des Postes	59000 LILLE	Tél: 03.20.30.97.96	Fax: 03.20.30.98.37
2, rue de Florence	59100 ROUBAIX	Tél: 03.20.28.44.77	Fax: 03.20.28.44.78
49, rue Guillaume Janvier	34000 MONTPELLIER	Tél: 04.67.27.18.73	Fax: 04.67.27.18.74
49, rue Saint Eloi	76000 ROUEN	Tél: 02.35.89.75.82	Fax: 02.35.15.48.81
50, av. Lobbedez	62000 ARRAS	Tél: 03.21.71.18.81	Fax: 03.21.71.45.08
16, rue de la Croix d'Or	59500 DOUAI	Tél: 03.27.87.70.71	Fax: 03.27.88.55.64
39, av. de St. Amand	59300 VALENCIENNES	Tél: 03.27.30.97.71	Fax: 03.27.30.97.90



NOUVEAU

Module pré-ampli Vinyl RLC : KIPREAMPC-VNL259€00

Module Filtre RLC : KIPREAMPC-RLC68€00

FREQUENCE TUBES

OUVERT LE LUNDI
DE 14 H À 19 H
ET DU
MARDI AU SAMEDI DE
10 H À 19 H

**METTEZ EN VALEUR
VOS ÉLECTRONIQUES :**
précision, assise
et transparence avec



CÂBLES MPC AUDIO
SECTEUR, MODULATION
ET NUMÉRIQUE
(PRÊT SOUS CAUTION)
FABRICATION FRANÇAISE

La passion des tubes

**PLUS DE 1200 REF.
DE TUBES EN STOCK.**

COMPOSANTS :

CONDENSATEURS,
RÉSISTANCES,
POTENTIOMÈTRES
TOUTES VALEURS,
PIÈCES DÉTACHÉES,
SUPPORT DE TUBES,
TRANSFORMATEURS,
CONNECTIQUES,

RÉPARATION ET RESTAURATION
DE TOUTES LES ÉLECTRONIQUES :

TUBES ET TRANSISTORS
TOUTES MARQUES

Promo Tubes

12AT7WA/ECC81 RTC
les 5 : 25,00 €
12AU7A/ECC82 RTC
les 5 : 25,00 €



ELECTRO-HARMONIX
GENERAL ELECTRIC
JJ / TESLA
MULLARD
RTC/PHILIPS/SOVTEK
SYLVANIA
SVETLANA
TELEFUNKEN

TRANSFORMATEURS

Tôles grains orientés M6X recuites
Cuivre OFC

Impregnation étuve pour les capots
Résine epoxy pour les cuves

Cuve peinture au four
Transfo moule résine

Capot nickelé poli



LED N°169	TRANSFO ALIM :	115,00 €
PUSH PULL 845	TRANSFO SORTIE :	86,00 €
SCHEMA R. CARIOU	INDUCTANCE :	52,00 €
	INTERETAGE :	65,00 €

Transformateurs audio

(Fabrication française : MAGNETIC SA)

TYPE	Z	CAPOT	CUVE
PUSH EL84	8000	38,00 €	53,00 €
PUSH EL34	3800	54,00 €	65,00 €
300B	3000	68,00 €	86,00 €
300B	3000	PRESTIGE	183,00 €
PUSH 6C33	3000	TORIQUE	50,00 €
845SE	9000		125,00 €
PUSH 6550	3800	68,00 €	86,00 €
QUATUOR 6V6	8000	38,00 €	53,00 €
SELF	5HY03A	25,00 €	38,00 €
SELF	10HY03A	29,00 €	42,00 €
ALIM	150VA	43,00 €	54,00 €
ALIM	250VA	53,00 €	68,00 €
ALIM	350VA	65,00 €	82,00 €
ALIM	500VA	83,00 €	110,00 €

Sortie

N° LED	CAPOT	CUVE
143-145	68,00 € T4	86,00 € C4
151	38,00 € T2	53,00 € C2
157	68,00 € T4	86,00 € C4
159	54,00 € T3	65,00 € C3
161-162		125,00 € C4
165	68,00 € T4	86,00 € C4
166	54,00 € T3	65,00 € C3
169	68,00 € T4	86,00 € C4
170	54,00 € T3	65,00 € C3
171	54,00 € T3	65,00 € C3
172-173		86,00 € C4
175		
175	54,00 €	69,00 €

Alim

CAPOT	CUVE
53,00 € T4	68,00 € C4
53,00 € T2	68,00 € C4
65,00 € T5	82,00 € C5
53,00 € T4	68,00 € C4
	110,00 € C6
65,00 € T5	82,00 € C5
53,00 € T4	68,00 € C4
65,00 € T5	82,00 € C5
53,00 € T4	68,00 € C4
53,00 € T4	68,00 € C4
	115,00 € C6
36,00 €	48,00 €
68,00 €	82,00 €

Tubes ELECTRO HARMONIX

Assortiment complet des références de tubes audio
munies de leur suffixe E.H., symbole de haute fiabilité
et de tenue des spécifications

300 B	E.H.	210,00 €
300 B Gold	E.H.	255,00 €
6550	E.H.	49,00 €
EL 34	E.H.	24,00 €
6CA7	E.H.	38,00 €
6L6GC	E.H.	29,00 €
6V6GT	E.H.	18,00 €
12AX7	E.H.	20,00 €
7591	E.H.	35,00 €
6CG7	E.H.	30,00 €
6SN7	E.H.	30,00 €
12AY7	E.H.	16,00 €
12BH7	E.H.	22,00 €
12AU7	E.H.	21,00 €
12AT7	E.H.	20,00 €
KT88	E.H.	66,00 €
5U4GB	E.H.	22,00 €
EL84	E.H.	18,00 €
6922	E.H.	26,00 €

DISPONIBILITÉ D'UN VASTE ASSORTIMENT DE TUBES AMÉRICAINS

**TOUS NOS TUBES SONT TRIÉS
ET APPARIÉS PAR QUANTITÉ
SUR BANC DYNAMIQUE**

**CONSULTEZ-NOUS
POUR TOUTES VOS
DEMANDES SPÉCIALES
NOUS FABRIQUONS SELON
VOS SPÉCIFICATIONS**

site : magnetic.com.free.fr

TUBES ÉLECTRONIQUES



SOVTEK

2A3	SOVTEK	68,00 €
5881	SOVTEK	28,00 €
6922	SOVTEK	20,00 €
6C45PI	SOVTEK	22,18 €
6EU7	SOVTEK	19,00 €
6H30PI	SOVTEK	23,41 €
6SL7	SOVTEK	12,00 €
6SN7	SOVTEK	13,00 €
7591XYZ	SOVTEK	29,00 €
12AX7LPS	SOVTEK	20,00 €
EL84M	SOVTEK	27,00 €
5U4G	SOVTEK	16,00 €
6C19PI	SOVTEK	17,65 €
6PI45C	SOVTEK	30,00 €
EM80	SOVTEK	18,00 €
5AR4/GZ34	SOVTEK	23,00 €

DIVERS

6N1P	SVETLANA	18,00 €
6J5	EUROPE	13,00 €
EC86	EUROPE	8,00 €
EZ80	EUROPE	13,00 €
5998	USA	50,00 €
845	CHINO	75,00 €
807	EUROPE	25,00 €
EF86	EUROPE	13,00 €
ECL82	EUROPE	12,00 €
ECL86	EUROPE	13,00 €
EL509	EUROPE	30,60 €
EL183	EUROPE	9,00 €
EL34	JJ/TESLA	22,00 €

USA - Military JAN tubes

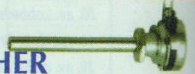
6AS7G	JAN	18,00 €
6AV6	JAN	11,00 €
6C4WA	JAN	17,94 €
6U8A/ECF82	JAN	13,00 €
6X4 WA	JAN	10,00 €
829B/3E29	JAN	64,00 €
5814 A/12AU7	JAN	15,00 €
6080 WC	JAN	22,00 €
OA2	JAN	8,00 €
OB2	JAN	8,00 €
6AN8	JAN	17,94 €
5842/417A	JAN	17,00 €
6AQ8/ECC85	JAN	24,00 €
6B4C	JAN	68,30 €
12AZ7	JAN	20,00 €
567OW	JAN	15,55 €
7199	JAN	51,00 €

Supports tubes



NOVAL CI	2,90 €
NOVAL CHASSIS OR	6,10 €
NOVAL CHASSIS BLINDÉ	4,00 €
OCTAL CI	2,90 €
OCTAL CHASSIS USA	4,60 €
MAGNOVAL	4,50 €
JUMBO (845) OR	19,00 €

Potentiomètre PIHER



axe métal, de 100 Ω à 10 MΩ - mono/stéréo - lin/log
simple 9,15 €
double 13,72 €

CONDENSATEURS



Condensateurs LCR

(Made in England)

16 + 16 µF	/ 450 v	24,00 €
32 + 32 µF	/ 500 v	26,00 €
50 + 50 µF	/ 500 v	27,00 €
100 + 100 µF	/ 500 v	28,00 €
200 + 200 µF	/ 500 v	45,00 €
200	/ 500 v	30,00 €
500 µF	/ 500 v	43,00 €



Condensateurs F&T

(Made in Germany)

32 + 32 µF	/ 500 v	18,00 €
50 + 50 µF	/ 500 v	20,00 €
100 + 100 µF	/ 500 v	33,00 €



Condensateurs AERO-M

(Made for Mallory-USA)

20 + 20 + 20 + 20	/ 475 v	44,00 €
30 + 30 + 30 + 10	/ 475 v	68,00 €

Condensateurs mica-argenté

10 pF	/ 500 v	0,92 €
22 pF	/ 500 v	0,92 €
33 pF	/ 500 v	0,92 €
47 pF	/ 500 v	0,92 €
100 pF	/ 500 v	0,92 €
120 pF	/ 500 v	0,95 €
250 pF	/ 500 v	1,10 €
390 pF	/ 500 v	1,23 €
500 pF	/ 500 v	1,33 €
1 nF	/ 500 v	1,33 €

Sprague "ATOM" standard

(USA)

8 µF	/ 450 v	5,70 €
10 µF	/ 500 v	8,00 €
16 µF	/ 475 v	9,00 €
20 µF	/ 500 v	8,50 €
20 µF	/ 600 v	17,00 €
40 µF	/ 500 v	12,50 €
80 µF	/ 450 v	12,00 €
100 µF	/ 450 v	16,50 €

Condensateurs

(Made in Japan) "Illinois"

22 µF	/ 500 v	6,00 €
47 µF	/ 500 v	12,00 €
80 µF	/ 450 v	9,00 €
100 µF	/ 450 v	10,00 €
220 µF	/ 300 v	8,50 €



Condensateurs "XICON"

(Made in Japan) - polypropylène

1 nF	/ 630 v	0,77 €
2,2 nF	/ 630 v	0,77 €
4,7 nF	/ 630 v	0,77 €
10 nF	/ 630 v	0,77 €
22 nF	/ 630 v	0,90 €
47 nF	/ 630 v	1,07 €
100 nF	/ 630 v	1,17 €
220 nF	/ 630 v	1,61 €
470 nF	/ 630 v	3,10 €

Condensateurs Sprague "orange Drops"

715 polypropylène

1 nF	/ 600 v	1,15 €
1,5 nF	/ 600 v	1,17 €
2,2 nF	/ 600 v	1,20 €
3,3 nF	/ 600 v	1,23 €
4,7 nF	/ 600 v	1,25 €
10 nF	/ 600 v	1,28 €
15 nF	/ 600 v	1,66 €
22 nF	/ 600 v	1,74 €
47 nF	/ 600 v	2,04 €
68 nF	/ 600 v	2,43 €
100 nF	/ 600 v	2,68 €
150 nF	/ 600 v	3,57 €
220 nF	/ 600 v	4,85 €
470 nF	/ 400 v	4,72 €

Condensateurs Sprague "orange Drops"

série 716 très haute performance

1 nF	/ 600 v	1,71 €
2,2 nF	/ 600 v	1,79 €
4,7 nF	/ 600 v	1,86 €
10 nF	/ 600 v	1,91 €
22 nF	/ 600 v	2,60 €
47 nF	/ 600 v	3,01 €
100 nF	/ 600 v	3,83 €
220 nF	/ 600 v	5,36 €
470 nF	/ 400 v	5,54 €

Condensateurs F&T

(Made in Germany)

22 µF	/ 500 v	6,76 €
47 µF	/ 500 v	10,85 €
80 µF	/ 450 v	12,51 €
100 µF	/ 450 v	15,06 €
220 µF	/ 450 v	20,05 €

TOUS LES PRODUITS PRÉSENTÉS PERMETTENT LA RÉNOVATION DE MATÉRIELS ANCIENS AVEC DES COMPOSANTS D'ORIGINE.



LED N°176

PUSH PULL 6AS7G
SCHEMA R. CARIOU

KIT TRANSFOS : 250,00 €
KIT COMPLET : 650,00 €

Condensateurs "Audience Auricaps"

polypropylène - très haute performance

100 nF	/ 450 v	14,81 €
220 nF	/ 450 v	17,61 €
330 nF	/ 450 v	18,38 €
470 nF	/ 450 v	20,68 €
680 nF	/ 450 v	22,21 €
1 µF	/ 450 v	23,48 €
2,2 µF	/ 450 v	26,80 €
10 nF	/ 600 v	13,91 €
22 nF	/ 600 v	14,93 €
47 nF	/ 600 v	16,21 €
100 nF	/ 600 v	19,14 €
220 nF	/ 600 v	20,17 €
470 nF	/ 600 v	24,25 €
1 µF	/ 600 v	49,78 €

Condensateurs "JJ"

32 + 32 µF	/ 500 v	14,04 €
50 + 50 µF	/ 500 v	15,06 €
100 + 100 µF	/ 500 v	22,72 €
47 µF	/ 385 v	9,95 €
100 µF	/ 385 v	10,72 €
220 µF	/ 385 v	13,53 €
350 µF	/ 385 v	17,10 €
550 µF	/ 385 v	19,14 €
800 µF	/ 385 v	22,72 €
40 + 20 + 20 + 20	/ 500 v	38,03 €

Condensateurs "ERO" MKT

10 nF	/ 630 v	2,27 €
22 nF	/ 630 v	2,39 €
47 nF	/ 630 v	2,56 €
68 nF	/ 630 v	3,01 €
100 nF	/ 630 v	4,60 €
220 nF	/ 1000 v	5,61 €
470 nF	/ 630 v	6,80 €

CONDITIONS DE VENTE

RÈGLEMENT PAR CHÈQUE JOINT À LA COMMANDE
PORT TUBE : 1 À 4 : 6,10 € AU-DELA 9,15 €
PORT TRANSFOS : COLISSIMO RECOMMANDÉ (NOUS JOINDRE)
PORT COMPOSANTS : FORFAIT 6,10 €
PAS DE MINIMUM DE FACTURATION

K2, UNE CAMÉRA CCD DESTINÉE À L'ASTRONOMIE : LA TÊTE OPTIQUE



Notre objectif est de vous proposer la réalisation complète et détaillée d'une caméra CCD d'instrumentation, principalement dédiée à l'astronomie. Bien qu'il s'agisse d'un dispositif majoritairement électronique, il vous permettra d'aborder des notions de mécanique, d'optique, de thermodynamique et d'informatique : tout un programme !

Pour ceux qui auraient suivi la description de la caméra Kitty à partir du numéro 150 de LED (parue en novembre 1998), il s'agit d'une évolution arrivée à maturité de la «Kitty 237». Le capteur est un **TC237** de Texas Instruments (650x490 pixels). **En fait, cette caméra s'apparente plus à un appareil photo numérique piloté par ordinateur.**

PRÉSENTATION DE LA CAMÉRA CCD

Comme l'indique l'illustration de la **figure 1a**, la caméra est composée de deux élé-

ments distincts : une tête optique et un coffret principal. Ce dernier contient lui-même deux cartes : une alimentation et une interface. Dotée d'un microcontrôleur rapide, cette interface assure de façon totalement autonome le pilotage du capteur CCD, la numérisation et la mémorisation d'une image vidéo complète. Notons la présence indispensable d'un PC, à partir duquel on pourra paramétrer les options d'acquisition des images, et qui en assurera le stockage. Toutefois, la cadence des images est limitée par les possibilités du port imprimante du PC, utilisé en mode **bidirectionnel**. Le logiciel «**Kool**» associé à la caméra propose les

formats de sauvegarde **BMP** et **FITS** qui sont compatibles avec la majorité des logiciels de traitements d'images. Il ne fonctionne qu'à partir de Windows95 (**figure 1b**) sur un processeur de la génération du Pentium (et supérieur). Précisons encore que **le compagnon idéal d'une K2 est un ordinateur portable**, plus facilement transportable à l'extérieur qu'un ordinateur de bureau.

L'évolution du logiciel «Kool» associé à la caméra sera assuré par l'intermédiaire du site Web de l'auteur, tandis qu'une liste de discussions permet de mettre en contact l'ensemble des utilisateurs de la caméra. Opérationnelle depuis quelques années déjà, cette liste a favorisé de nombreux échanges d'idées et les abonnés y assurent un support technique efficace. Je remercie au passage tous les acteurs de cette liste qui ont contribué à optimiser la caméra Kitty, et ont permis bien souvent de résoudre divers problèmes relatifs à l'approvisionnement des composants. Il faut bien admettre que certains composants importés des Etats-Unis mettent parfois du temps avant de nous arriver en France. Alors n'hésitez pas à vous y inscrire, c'est gratuit ! En ce qui concerne le boîtier de la tête CCD, il est disponible en kit complet auprès de notre partenaire Danny Loudèche dont les coordonnées sont indiquées dans la nomenclature des composants. Concepteur d'accessoires pour l'astronomie, il est bien connu des utilisateurs de Webcams.

LA K2 FACE À LA CONCURRENCE...

Situons rapidement la K2 par rapport à d'autres produits similaires. Nous restons ici dans le cadre d'une comparaison qualitative que nous espérons objective.

- Appareils photo numériques

Les appareils photo numériques permettent actuellement d'accéder à des résolutions élevées pour des prix compétitifs (autour de 300 € pour 2 millions de pixels) mais sont peu adaptés à l'astro-

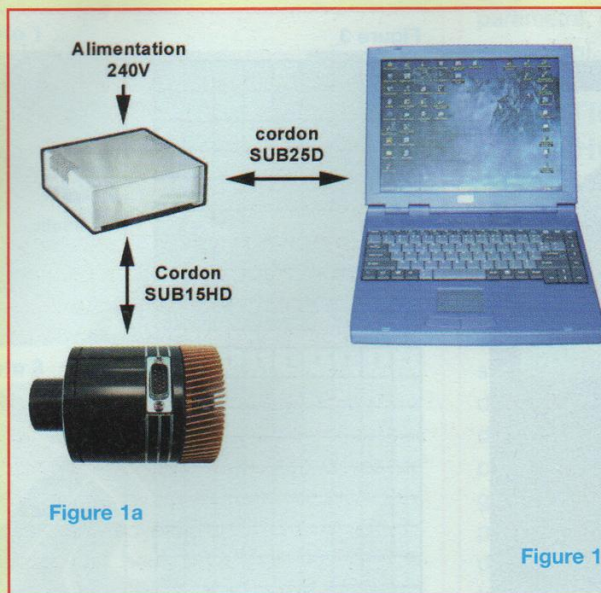


Figure 1a

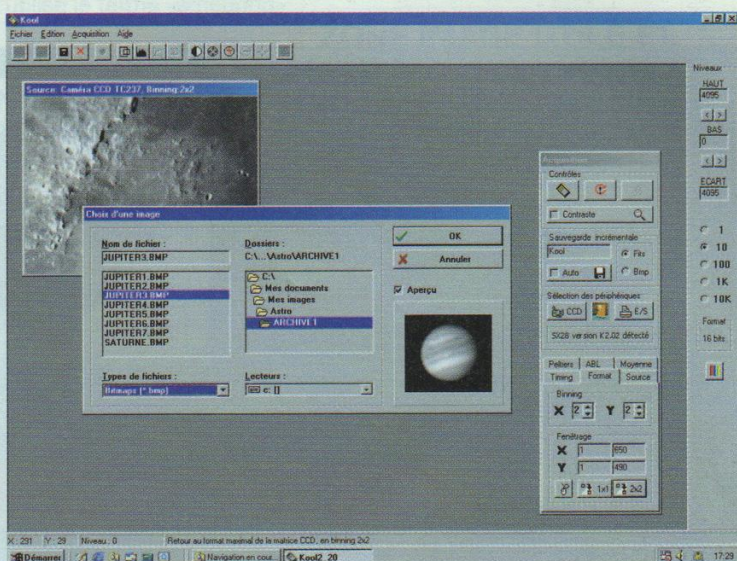


Figure 1b

nomie. Le transfert vers le PC n'est pas direct et les temps de poses sont limités autour de la seconde. D'autre part, dans des gammes de prix raisonnables, les images sont compressées afin de limiter l'encombrement en mémoire, et l'algorithme de compression utilisé est (presque) toujours destructif. La dynamique de numérisation de 256 niveaux dans chaque couleur limite les possibilités de traitements ultérieurs. La sensibilité est limitée par les filtres colorés qui tapissent la surface. Toutefois, l'évolution de ces matériels est fulgurante...

- Webcams

Les «Webcams» sont prévues pour être directement connectées au PC (port imprimante ou USB), mais le temps de pose maximal reste encore limité et la dynamique de numérisation est aussi de 256 niveaux dans chaque couleur. Le rendement des capteurs CMOS utilisés dans ce type de caméras est particulièrement faible et la présence de filtres de couleur n'arrange rien. Néanmoins, les Webcams permettent d'accéder à l'astronomie planétaire à moindre frais...

- Caméras CCD dédiées à l'astronomie

Le principal défaut, c'est le coût : 1500 à

3000 €, voire même plus !. Bien sûr, il s'agit là d'un matériel dont le capteur CCD est refroidi afin de limiter l'influence des charges thermiques. Cette précaution permet d'accéder à des temps de poses supérieurs à 10 mn, ce qui rend ces caméras particulièrement adaptées à l'observation de sources lumineuses extrêmement faibles (nébuleuses, galaxies,...). La numérisation des images, généralement effectuée à une résolution de 12 à 16 bits, permet de bénéficier de l'excellente dynamique du capteur CCD et d'obtenir des images riches en détails à partir d'un traitement numérique adéquat. Les capteurs sont monochromes dans la majorité des cas, afin de gagner en résolution et en sensibilité. L'imagerie en couleur est toutefois accessible à partir d'un jeu de filtres RVB adaptables sur la caméra.

- Caméra K2

La caméra que nous vous proposons de réaliser se situe plutôt dans la dernière catégorie. Dotée d'un TC237 et d'un convertisseur 12 bits, elle est refroidie par un double étage Peltier (on peut considérer que les «modules à effet Peltier» sont des pompes à chaleur électroniques). Son prix de revient global se situe autour de 700 €, selon vos facilités

d'approvisionnements. Il faudra évidemment compter sur quelques bonnes heures de travail pour obtenir une caméra en ordre de marche... mais probablement avec le plaisir de la réaliser vous même ! Avant de poursuivre la description de cette caméra, nous allons vous présenter le capteur CCD qui est au cœur du dispositif.

TECHNOLOGIE DU CAPTEUR TC237

Texas a produit un capteur CCD original par sa technologie à phases virtuelles, qui permet de réduire le nombre de broches de contrôle. Le TC237 se contente donc d'un boîtier DIL à 12 broches. Comme on peut le constater sur la **figure 2**, la réponse spectrale d'un capteur CCD est bien plus large que celle de l'œil humain, et s'étend même jusqu'au domaine de l'infrarouge. Par rapport à ses concurrents, le TC237 est imbattable sur deux points: le prix de vente et la simplicité du pilotage. Les pixels du capteur étant carrés, l'image est affichée sur un moniteur VGA sans déformations géométriques. Enfin, c'est un capteur à transfert de trame, c'est à dire doté d'un obturateur électronique sur la puce.

UNE CAMÉRA CCD D'INSTRUMENTATION

Figure 2

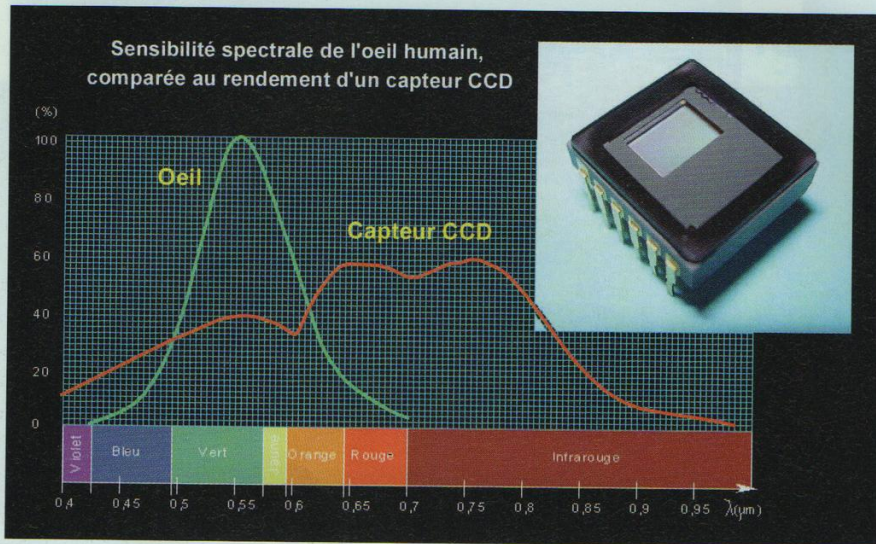


Figure 3

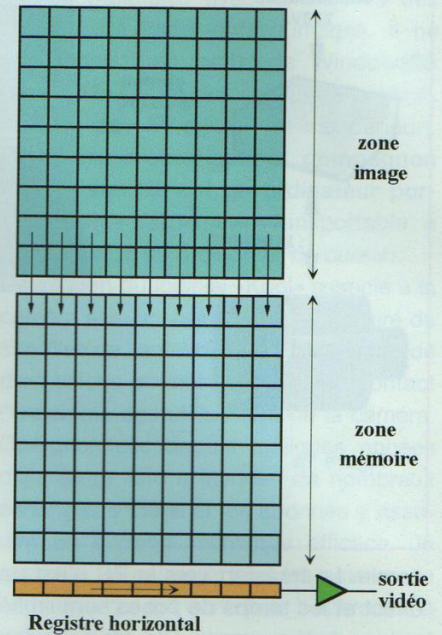
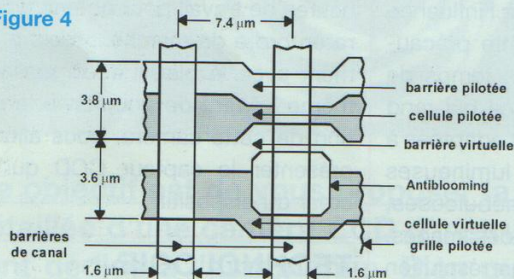
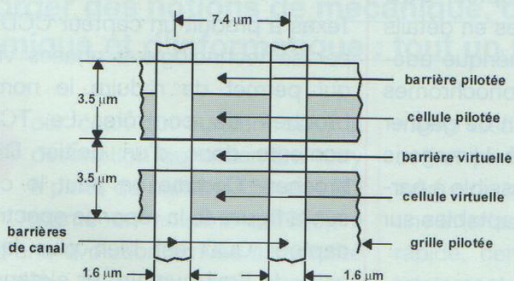


Figure 4



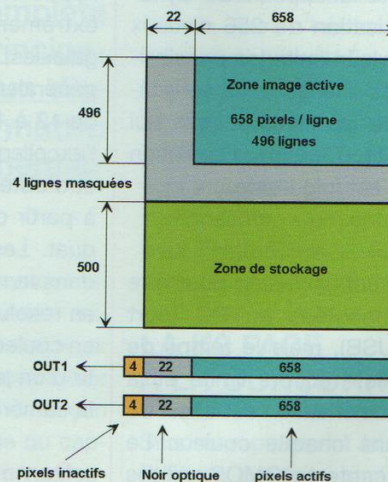
Structure d'un pixel de la zone image



Structure d'un pixel de la zone de stockage

Figure 5

répartition et affectation des cellules dans la puce



OBTURATION ÉLECTRONIQUE SUR UN CCD

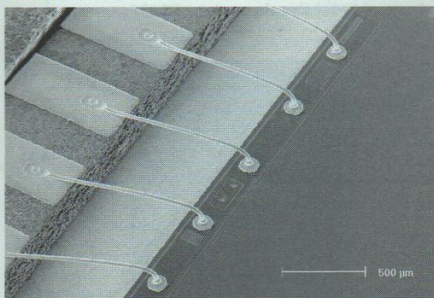
Dans une matrice CCD, les pixels sont organisés en lignes et colonnes de plusieurs milliers d'éléments. Sur un capteur à transfert de trame, la zone image bénéficie

d'une surface photosensible à 100 %. Une zone protégée de capacité identique, nommée zone mémoire, lui est juxtaposée (figure 3).

Pour assurer le transfert entre les deux zones, les photosites sont organisés en registres verticaux. Le transfert est obtenu après l'application sur les deux zones

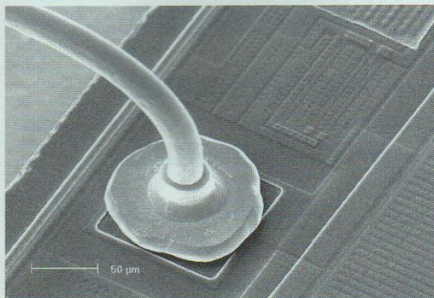
d'une série d'impulsions d'horloge (autant que de lignes à transférer). C'est ce qu'on appelle l'obturation électronique, qui évite d'avoir recours à un obturateur électromécanique. Ensuite, les transferts de la zone mémoire vers le registre horizontal et du registre vers la sortie s'effectuent comme précédem-

Photo 1



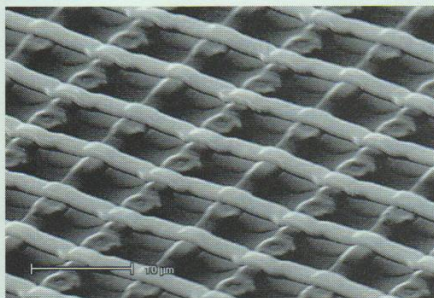
Crédit photo: Y. Houbion & M. Mathot, FUNDP Namur Belgique

Photo 2



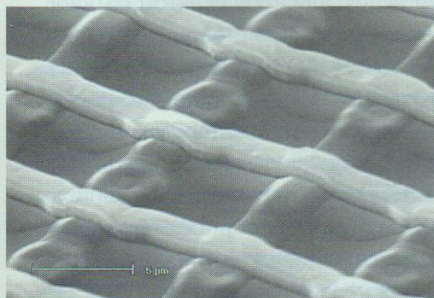
Crédit photo: Y. Houbion & M. Mathot, FUNDP Namur Belgique

Photo 3



Crédit photo: Y. Houbion & M. Mathot, FUNDP Namur Belgique

Photo 4



Crédit photo: Y. Houbion & M. Mathot, FUNDP Namur Belgique

ment. Cependant, pour éviter un effet de traînée dans le sens vertical, le temps de pose doit être très supérieur au temps de transfert dans la zone mémoire.

Ce phénomène est perceptible lors de la présence de sources lumineuses puissantes qui peuvent imprimer la surface sensible pendant le transfert (pour ce

paramètre, on utilise le terme «smearing» en anglais).

FONCTIONNEMENT DES PHOTOSITES

Précisons qu'un photosite est une capacité MOS sensible à la lumière, constituée par un substrat semi-conducteur dopé P, associé à une couche d'oxyde de silicium (SiO₂) sur laquelle est déposée une électrode métallique. L'énergie d'un groupe de photons qui pénètrent dans le silicium libère une quantité proportionnelle d'électrons, qui restent piégés au voisinage de l'électrode la plus proche. Lorsque la phase d'intégration de la lumière est terminée, on procède au transfert des paquets de charges vers la sortie.

L'illustration de la **figure 4** présente les deux types de cellules utilisées sur les capteurs CCD de Texas-Instruments. La technologie dite «à phases virtuelles» consiste à intercaler, entre les électrodes actives, des électrodes non pilotées maintenues à un potentiel intermédiaire. Ces dernières délimitent ainsi une cellule dite «virtuelle». Il suffit alors aux électrodes actives d'évoluer de part et d'autre du potentiel de ce photosite virtuel, pour permettre aux charges photoniques de se déplacer d'une cellule à l'autre vers la sortie.

L'électrode d'antiblooming permet, si elle est utilisée, d'éliminer les charges excédentaires produites lors d'un fort éclairage ou d'un temps de pose trop long. En l'absence de cette fonction, la saturation d'un photosite entraîne rapidement son débordement vers les photosites adjacents (blooming = éblouissement). Les clichés photographiques réalisés à partir d'un microscope électronique (**photos 1 à 4**) permettent de se faire une idée de la morphologie du TC237. L'échelle est indiquée sur chaque document. Sur la photo n°3, les photosites sont déjà bien différenciés alors que les électrodes d'antiblooming sont parfaitement visibles sur les photos n°3 et n°4.

ZONE IMAGE UTILE ET PIXELS DE RÉFÉRENCE

En vidéo classique, le repérage du niveau du noir optique est indispensable pour recaler le signal vidéo sur le niveau de noir électrique, avant de l'envoyer sur le tube cathodique. Cette opération est toujours effectuée au début de chaque ligne, d'après le niveau moyen des pixels situés après l'impulsion de synchronisation ligne. Ceci explique la présence, sur le TC237, de 22 pixels masqués au début de chaque ligne, comme on peut le constater sur la **figure 5**. Il reste donc 658 pixels photosensibles sur chaque ligne de la zone image. La dernière ligne active de la matrice est suivie de quatre lignes masquées, prévues essentiellement pour tenir compte de la tolérance de placement du masque d'occultation sur la zone mémoire (on assure à la zone mémoire une protection efficace vis à vis de la source lumineuse). En fin de compte, la zone photosensible est limitée à 658 x 496 pixels sur le capteur CCD.

On remarquera au niveau du registre horizontal la présence de quatre cellules supplémentaires, inactives, qui ont un rôle d'isolation entre la zone de stockage et l'amplificateur de sortie. Par ce moyen, le constructeur a limité le risque de rayonnement infrarouge vers les cellules les plus proches de la matrice. La capacité totale du registre horizontal passe alors à 684 pixels. En raison du principe de fonctionnement des capteurs CCD (stockage d'électrons sur la matrice), le signal obtenu en sortie du capteur est en vidéo inverse et doté d'une composante continue non négligeable.

L'ÉTAGE DE SORTIE DU TC237

L'étage de sortie, dont le schéma est indiqué en **figure 6a**, assure la conversion des charges en signal vidéo. Avant chaque transfert de charges, l'entrée en conduction du transistor de Reset **QR**

UNE CAMÉRA CCD D'INSTRUMENTATION

Figure 6a

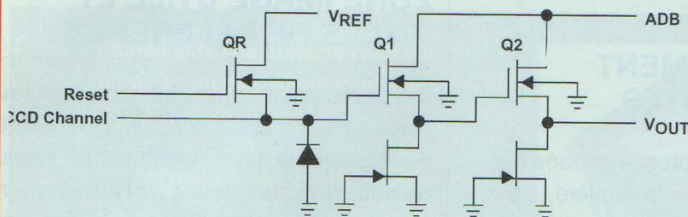
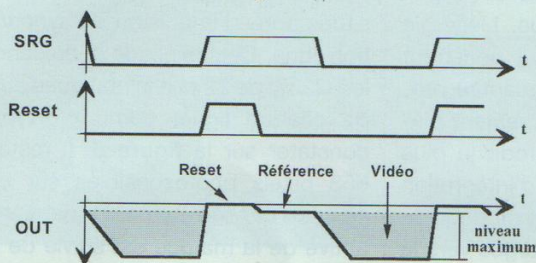


Figure 6b



assure la précharge de la diode de sortie à partir d'une tension de référence V_{ref} . Cette phase donne naissance à un potentiel positif légèrement inférieur à la tension **ADB** sur la grille de **Q1**. Lorsqu'une charge issue d'un photosite est transférée dans la diode, le potentiel à ses bornes va diminuer proportionnellement à la quantité de charges transférées (rappelons que les électrons sont des charges négatives). Le transfert des charges vers l'étage de sortie est assuré par l'horloge **SRG** non représentée, qui doit être synchronisé avec le signal **Reset** conformément aux chronogrammes indiqués en **figure 6b**. La commutation du transistor de reset génère un apport de charges aléatoires au niveau de la diode de détection. Ce «bruit de reset» explique le palier de tension qui existe entre le niveau de reset et celui de référence. Lors de la lecture du capteur CCD, c'est ce niveau intermédiaire qui doit être utilisé comme référence précise du noir optique. Le facteur de conversion de l'amplificateur de sortie réalisé autour de **Q1** et **Q2** est de $20 \mu V / \text{électron}$ environ. La capacité des photosites étant en moyenne de **30 000 électrons**, l'amplitude crête à crête du signal vidéo utile sera limitée autour de **600 mV**. Malheureusement pour nous, le bruit

généralisé par cet amplificateur rudimentaire est loin d'être négligeable, et c'est d'ailleurs l'une des limitations majeures de ce capteur.

PROBLÈMES LIÉS À L'AGITATION THERMIQUE DANS LE SILICIUM

Le deuxième principal défaut de ce capteur CCD est lié à la température: l'apparition de courants dus à l'agitation thermique dans le silicium impose une limitation de la durée des temps de pose. En effet, ces électrons mobiles vont être rapidement piégés par les photosites et les rendre inutilisables (à température ambiante, soit $25^\circ C$ environ, un capteur standard est saturé en moins de 10 secondes dans l'obscurité!). On parle également de «courant d'obscurité» pour qualifier ce phénomène. Ainsi, si on s'intéresse à l'acquisition d'objets de faible luminosité (comme le ciel profond en imagerie astronomique), il faudra envisager de refroidir le capteur CCD pour bénéficier de longues périodes d'expositions. Globalement, la contribution des charges thermiques est divisée par deux à chaque baisse de température de $6^\circ C$ (ou encore par 2,5 fois tous les $10^\circ C$).

organisation interne et brochage du capteur TC237

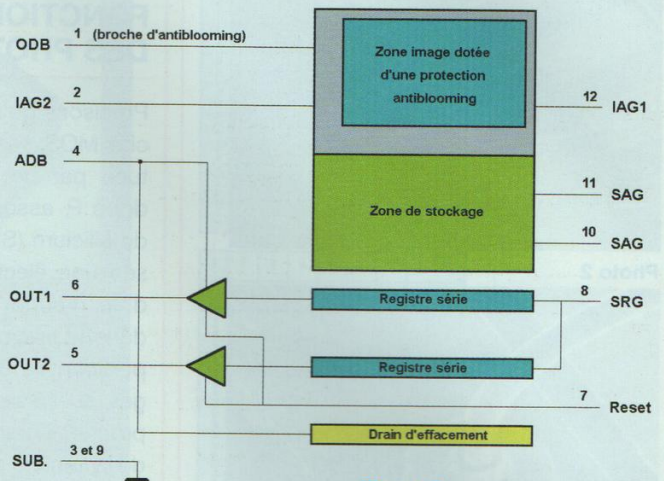


Figure 7

Différentes techniques sont couramment utilisées pour refroidir une caméra, de la circulation d'azote liquide aux modules à effets Peltier. Nous utiliserons pour notre caméra la deuxième solution, car c'est la plus simple à mettre en œuvre au niveau amateur.

PILOTAGE DU CAPTEUR CCD

L'illustration de la **figure 7** indique le brochage et les fonctionnalités du capteur. La zone image est pilotée par deux horloges **IAG1** et **IAG2** («Image Area Gate»). **IAG1** assure la commande des lignes impaires de cette zone, tandis que **IAG2** est affectée aux lignes paires. Cette particularité permet de réaliser un binning vertical, c'est à dire additionner deux lignes adjacentes avant leur transfert vers la sortie. Ainsi, en jouant sur les signaux de commande de la zone image, il est alors possible de créer un signal vidéo à trames entrelacées, destiné à l'affichage des images sur un moniteur au standard TV (PAL, Sécam ou NTSC). Dans notre cas, pour simplifier l'électronique de commande de la caméra, le binning sera réalisé au niveau du transfert dans le registre horizontal.

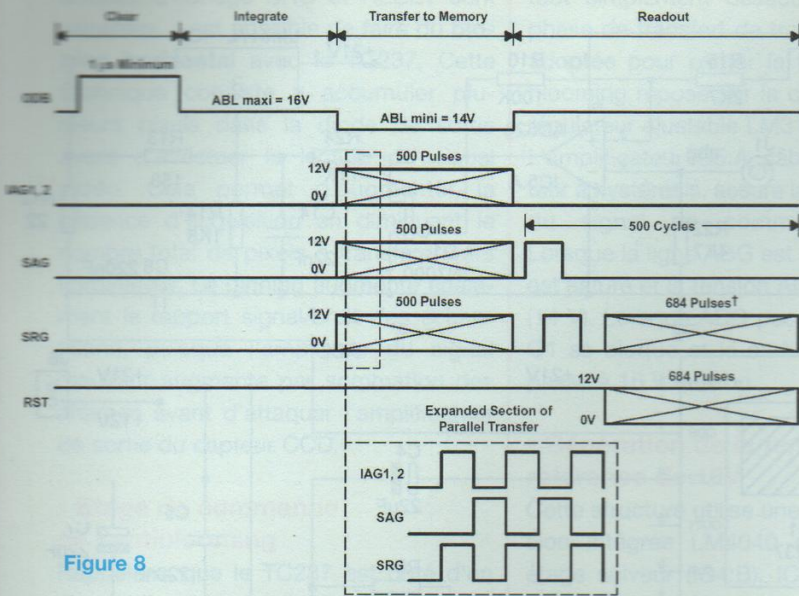


Figure 8

La zone mémoire du CCD est pilotée par les broches de contrôle SAG («Storage Area Gate») qui fonctionnent comme les lignes IAG1 et IAG2. Cette zone est dépourvue de la commande d'antiblooming, puisque protégée de la lumière par un masque. Enfin, deux registres horizontaux de sortie (ou registres série) sont pilotés par SRG («Serial Register Gate»). La présence de 2 registres horizontaux permet de réaliser directement sur la puce une fonction de compensation du smearing, dans le cas d'un fonctionnement de la puce en mode entrelacé. La polarisation de l'amplificateur de sortie est assurée par les broches d'alimentation ADB et SUB. Les chronogrammes de pilotage du capteur proposés par le constructeur sont indiqués en **figure 8**. Les tensions indiquées sur les chronogrammes impliquent que le substrat du capteur est polarisé à 10 V. S'il est utilisé, l'antiblooming (ODB) doit être désactivé pendant la phase de transfert verticale. Cette phase utilise exactement 500 périodes d'horloges. Le détail de cette phase de transfert nous indique que les horloges IAG et SAG doivent être en opposition de phase. En ce qui concerne le transfert d'une ligne vers le registre horizontal, un détail des chronogrammes nous indique qu'il suffit sim-

plement de fournir une période de SAG en quadrature avec SRG. Le vidage complet de la zone de stockage sera obtenu après 500 procédures identiques. Chacun de ces transferts doit être suivi de 684 cycles de SRG et Reset pour évacuer une ligne complète du registre horizontal.

PRÉSENTATION FONCTIONNELLE DE LA TÊTE CCD

Le schéma synoptique de la **figure 9** présente les fonctions installées dans la tête CCD : la commande d'antiblooming, les drivers d'horloge, une tension de référence de 10 V et un étage d'amplification du signal vidéo. Un capteur de température à également été prévu sur le module, ne serait-ce que pour vérifier l'efficacité du dispositif de refroidissement. Le décalage de niveau permet de ramener le palier de reset du capteur (qui frôle les 20 V !) à une valeur plus raisonnable pour l'amplificateur de sortie.

SCHÉMA STRUCTUREL DE LA TÊTE CCD

Le schéma complet est visible en **figure 10**. La partie supérieure du schéma

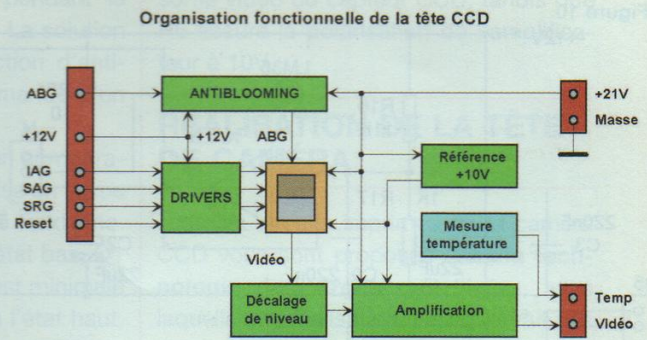


Figure 9

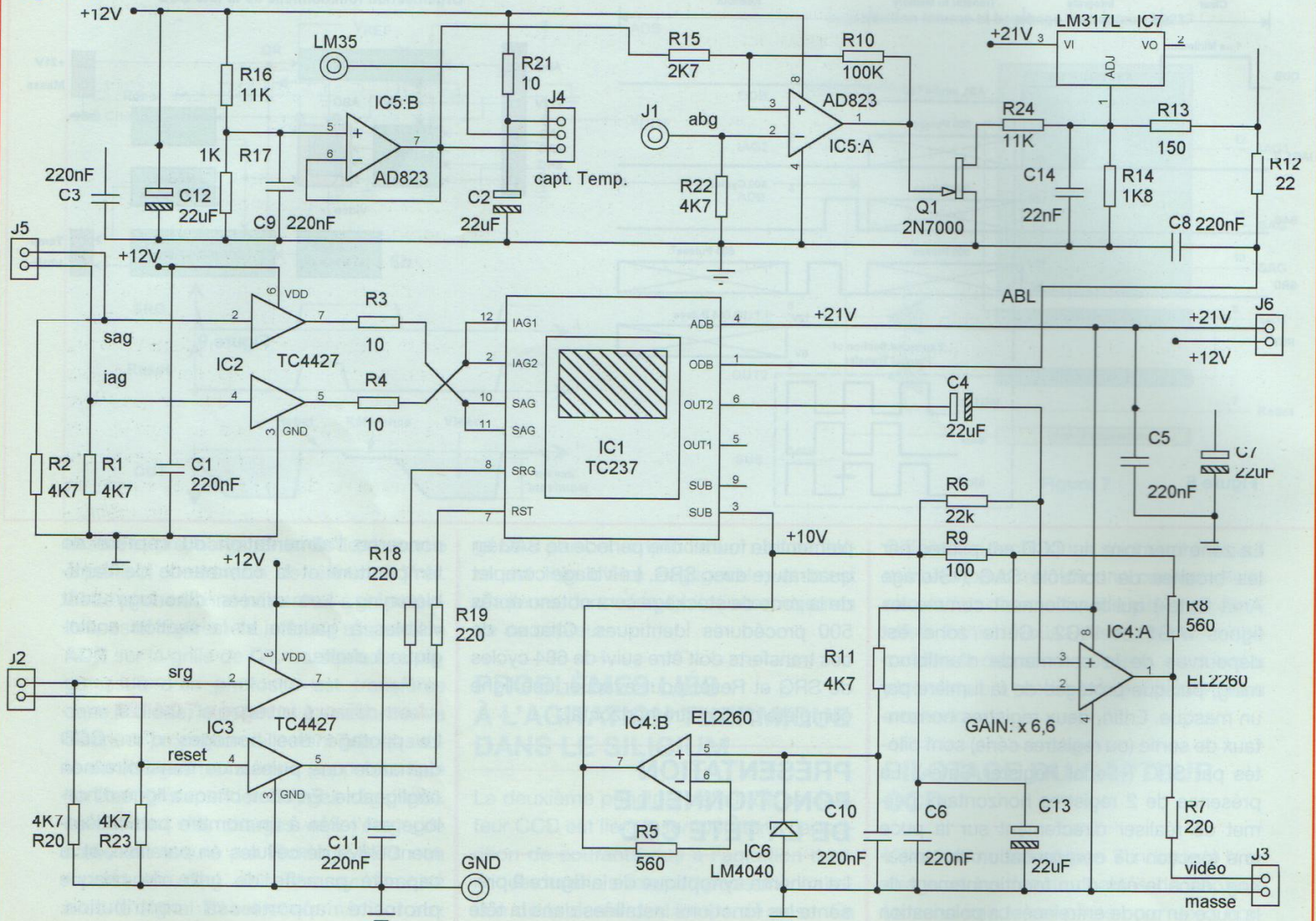
concerne l'alimentation du capteur de température et la commande de l'antiblooming. Les drivers d'horloge sont visibles à gauche et la section analogique à droite.

- Les drivers intégrés TC4427

Le pilotage des horloges d'un CCD demande une puissance transitoire non négligeable. En effet, chaque ligne d'horloge est reliée à un nombre particulièrement élevé de cellules en parallèle, et la capacité parasite de grille de chaque photosite apporte sa contribution. Evidemment, la capacité équivalente vue de la broche de commande externe est d'autant plus grande que le nombre des cellules est élevé ! En d'autres termes, il faut compter sur la présence d'un condensateur parasite dont la valeur peut atteindre plusieurs nanofarads. En ce qui concerne le TC237, chacune des broches IAG présente une capacité d'entrée de 2 nF, contre 4 nF pour SAG. SRG, qui contrôle 684 pixels, n'est chargée que par une capacité d'entrée de 70 pF. Bien que l'impédance d'entrée d'un capteur CCD soit pratiquement infinie, la vitesse de commutation est déterminée par la constante de temps de charge de cette capacité parasite. L'impédance de la

UNE CAMÉRA CCD D'INSTRUMENTATION

Figure 10



ligne et la résistance interne des dispositifs de commande jouent un rôle important sur la qualité du signal que reçoit le composant. Les spécialistes de ce domaine ont alors mis au point des drivers spécialisés qui permettent d'optimiser ce signal. Le driver TC4427 de TELMIC est un produit qui convient parfaitement à notre application pour plusieurs raisons :

- * il comporte 2 drivers dans un seul boîtier compact (DIL8),
- * il est couramment distribué à un prix raisonnable (moins de 3 euros TTC),
- * ses caractéristiques sont adaptées aux capteurs CCD,

* il possède des entrées du type «trigger de Schmitt».

Cette dernière caractéristique, gage d'une excellente immunité aux parasites, nous permettra d'utiliser une liaison câblée assez longue pour véhiculer les signaux d'horloge du capteur CCD. A ce jour, nous avons eu l'occasion de tester une liaison de 4 m avec succès à partir d'un cordon VGA standard. Des longueurs plus longues sont à tester expérimentalement, la distance maximale dépendant considérablement du type de câble utilisé. Concrètement, au delà de 4 m, c'est la qualité du transfert de trame

qui risque de se dégrader, ce qui se traduit par l'obtention d'une image plus ou moins «floue». En effet, la longueur et la qualité du câble modifient les niveaux de croisement de SAG et IAG, bien que le TC237 tolère des erreurs de phase de presque 30 % sur ces signaux.

- Etage de commande des horloges

La résistance placée en série sur les lignes d'horloge permet de limiter les appels de courant lors des commutations. Cette précaution contribue donc à limiter la pollution des photosites par des bruits de commutation. Puisque les

entrées d'horloge SRG et RESET sont séparées, il est possible de faire du **binning horizontal** avec le TC237. Cette technique consiste à accumuler plusieurs pixels dans la diode de sortie avant d'effectuer la lecture du signal vidéo. Cela permet d'augmenter la cadence d'acquisition en diminuant le nombre total de pixels à transférer vers l'ordinateur. Le binning augmente également le rapport signal/bruit des échantillons, puisque l'amplitude du signal résultant augmente par sommation des charges avant d'attaquer l'amplificateur de sortie du capteur CCD.

- Etage de commande de l'antiblooming

Rappelons que le TC237 est doté d'un dispositif qui limite le débordement des pixels les uns sur les autres lors d'une surexposition excessive du capteur. Le pilotage de l'antiblooming doit se faire en respectant les conditions suivantes :

* lorsque la broche ABG est maintenue autour de 14 V, l'antiblooming est inactif et la dynamique des photosites est maximale.

* Lorsque la broche ABG est maintenue autour de 16 V, la fonction d'antiblooming est maximale.

* Il est impératif de ne pas appliquer sur la broche ABG un potentiel inférieur à 13 V, ce qui entraînerait des injections de charges dans les photosites.

Texas-Instruments préconise de réduire le potentiel ABG d'au moins 1 V lors du transfert des charges, afin d'augmenter sensiblement la capacité des photosites pendant cette phase. Cette précaution évite un débordement des photosites saturés vers les photosites voisins. Le risque invoqué provient du fait que les cellules du capteur CCD présentent une capacité de stockage des charges qui est différente d'un pixel à l'autre. En ce qui concerne la K2, l'antiblooming est

tout simplement désactivé pendant la phase de transfert de trame. La solution adoptée pour piloter la fonction d'antiblooming repose sur la commande d'un régulateur ajustable LM317.

L'amplificateur IC5:A, câblé en comparateur à hystérésis, assure la mise en forme du signal de commande externe. Lorsque la ligne ABG est à l'état bas, Q1 est saturé et la tension ABL est minimale (14 V). Lorsque ABG passe à l'état haut, Q1 se bloque et la sortie du régulateur passe à 16 V environ.

- Génération de la tension de référence de 10V

Cette structure utilise une source de tension intégrée LM4040 associée à un étage suiveur (IC4:B). IC6, polarisé par une résistance de 4,7 k Ω , assure la production d'une tension stable et précise de 10 V tandis que l'amplificateur se charge de fournir le courant nécessaire à la tête de caméra. Les condensateurs réservoirs C6 et C13 renforcent la stabilité de l'ensemble en assurant le relais de l'amplificateur en cas d'appels de courants transitoires.

- L'amplificateur de sortie

L'étage final est chargé de transmettre le signal vidéo vers la carte d'interface en conservant au maximum la dynamique d'origine du signal. En d'autres termes, le but est d'obtenir une transmission à faible bruit dotée d'une bonne immunité aux parasites électromagnétiques externes. Pour y parvenir, nous avons augmenté le niveau du signal vidéo puis utilisé une liaison à faible impédance. C'est la raison de la présence d'un EL2260 dont le produit gain/bande est de 130 MHz, et qui permet de fournir un courant de sortie appréciable. Une vraie bête de course ! L'amplification exacte est définie par la relation suivante :

$$A_v = 1 + (R_8/R_9) = 1 + 5,6 = 6,6$$

Le niveau maximal du signal vidéo passe alors de 600 mV à 4 V. Le rôle de C4 est de bloquer le potentiel très positif de la

sortie vidéo du capteur CCD, tandis que R6 assure la polarisation de l'amplificateur à 10V.

RÉALISATION DE LA TÊTE DE CAMÉRA

Tous les circuits imprimés de la caméra CCD vous sont proposés dans la **technologie des «trous métallisés»**, sans laquelle une réalisation fiable n'aurait pas été possible. Ils sont disponibles par l'intermédiaire du «service circuits imprimés» proposé par la rédaction. En effet, les principales difficultés rencontrées par les lecteurs avec la Kitty de première génération venaient de la qualité des soudures réalisées sur la face supérieure (voire même de l'oubli pur et simple de quelques soudures !). Pour les irréductibles, les tracés des pistes du module sont indiqués sur les **figures 11 et 12**. Toutefois, dans le cas d'une réalisation artisanale des circuits, n'espérez aucun recours de la part de l'auteur pour résoudre vos problèmes. La forme particulière du circuit imprimé est imposée par les dimensions du boîtier de la tête CCD, qui a été spécialement étudié pour cette application. Le dégagement situé en périphérie est destiné au passage des câbles, tandis que l'ouverture rectangulaire centrale permettra de refroidir le capteur CCD. Enfin, deux perçages de 3 mm sont prévus pour la fixation du circuit dans le boîtier. Le plan d'implantation des composants est indiqué en **figure 13**. Il est impératif d'utiliser un support «Shrink» pour le capteur CCD, car il n'est pas question de le souder sur le circuit imprimé !. Ce type de support tulipe au pas de **1,778 mm** est disponible auprès de certains distributeurs par correspondance sous la forme d'un support DIL à 64 contacts. Pour les autres circuits intégrés, utilisez également des supports du type tulipe qui sont de meilleure qualité. Au moment du soudage, utilisez exclusivement un fer à souder de faible puissance et doté d'une panne fine (du genre **JBC 11W** ou **AMPEX 18W**).

UNE CAMÉRA CCD D'INSTRUMENTATION

Figure 11

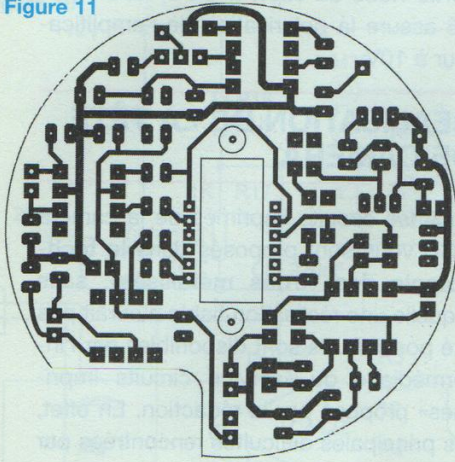


Figure 12

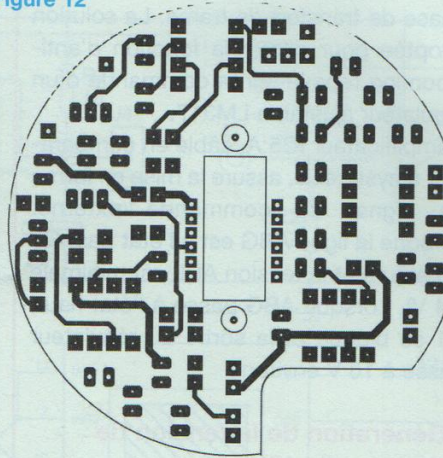
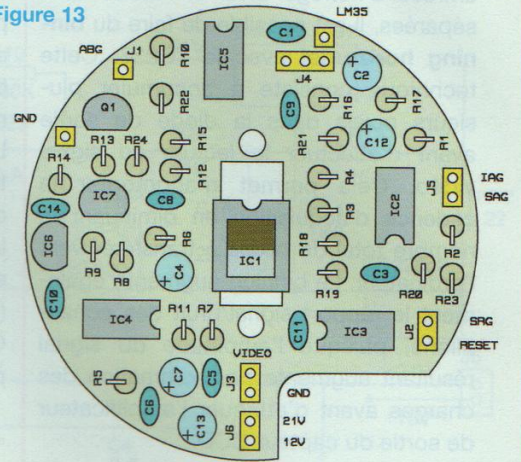


Figure 13



NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

• Résistances

R1, R2, R11, R20, R22, R23 : 4k7
 R3, R4, R21 : 10 Ω
 R5, R8 : 560 Ω
 R9 : 100 Ω
 R10 : 100 kΩ
 R12 : 22 Ω
 R13 : 150 Ω / 1 %
 R14 : 1k8 / 1 %
 R15 : 2k7
 R16, R24 : 11 kΩ / 1 %
 R17 : 1 kΩ / 1 %
 R7, R18, R19 : 220 Ω

• Condensateurs

C1, C3, C5, C6, C8, C9, C10, C11 : 220 nF
 C2, C4, C12, C13 : 22 μF / 16 V (tantale)
 C7 : 22 μF / 25 V (tantale)
 Découplage du ventilateur : 22 μF / 25 V (tantale)

• Transistors

Q1 : 2N7000

• Circuits intégrés

IC1 : TC237 / TC237B / TC237H
 IC2, IC3 : TC4427

IC4 : EL2260

IC5 : AD823 (ou AD822 ou ampli «rail to rail» équivalent)

IC6 : LM4040-10 V

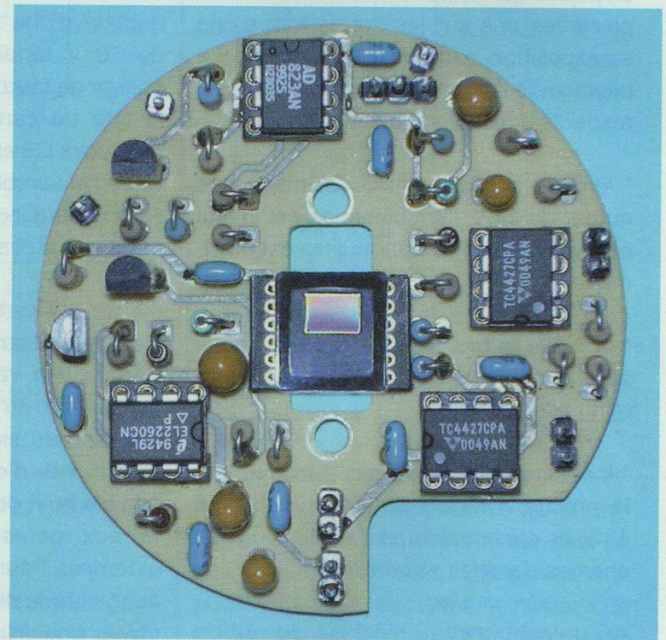
IC7 : LM317L

COMPOSANTS DIVERS

1 embase SUB15HD mâle
 1 module Peltier MELCOR CP1.0-71-05L (18 W, 23x23 mm)
 1 module Peltier MELCOR CP0.8-17-06L (2,4 W, 9x9 mm)
 1 capteur de température LM35 (ou LM35C ou LM35A)
 8 vis nylon de 3x25 mm (ou plus)
 2 entretoises hexagonales métalliques filetées 3x15 mm
 diverses rondelles ou entretoises nylon percées à 3 mm
 1 tube de graisse silicone
 1 kit boîtier pour tête K2

Pour joindre le fabricant du boîtier : webcamadaptor@hotmail.com

Pour joindre l'auteur : bernard.dalstein@wanadoo.fr



TESTS DE FONCTIONNEMENT DE LA TÊTE CCD

Pour réaliser ces tests préliminaires, il faut attendre la description du module d'alimentation qui paraîtra lors de notre prochain numéro. A moins de disposer d'une alimentation stabilisée pouvant

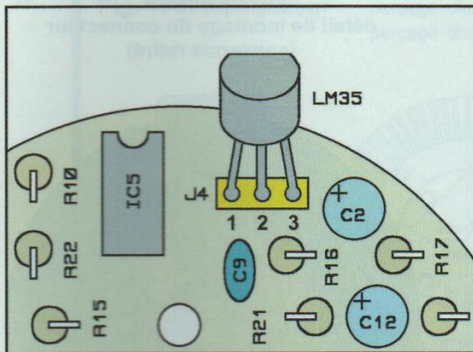
délivrer simultanément les tensions 12 V et 21 V. Il est alors possible de tester la plupart des fonctions de la tête CCD à partir d'un multimètre. Sauf indications contraires, **les tests décrits ci-dessous sont à effectuer lorsque tous les supports sont vides, et surtout en l'absence du capteur CCD.**

Les tensions indiquées sont toujours référencées par rapport à la masse

(borne GND sur le connecteur J3). Avant de commencer les mesures, relier sur le circuit imprimé les tensions d'alimentation de 21 V, 12 V et la masse (GND ou GNDA).

1. La carte étant sous tension, vérifier la présence de la tension de 21 V sur la broche (4) du capteur CCD, sur les broches (8) de IC4 et (3) de IC7.
2. Vérifier la présence de la tension de

Figure 14



12 V sur la broche (8) de IC5, les broches (6) de IC2 et IC3, et la broche (3) de J4 (son brochage est indiqué en **figure 14**).
3. Vérifier la présence de la tension de 10 V sur la broche (5) de IC4. Puis la présence d'une tension de 1 V sur la broche (5) de IC5.

4. Couper l'alimentation et implanter IC4 sur son support, remettre sous tension puis vérifier la présence de la tension de 10 V sur les broches (1), (3) et (7) de IC4, et la broche (3) du capteur CCD.

5. Couper l'alimentation et implanter IC5 sur son support, remettre sous tension puis vérifier la présence d'une tension de 14 V (13,5 V au minimum !) sur la broche (1) du capteur CCD (niveau obtenu lorsque l'entrée ABG externe sur J1 est au niveau bas). La sortie (1) de IC5 doit être à 12 V, et la sortie (7) à 1 V. Le connecteur J4 doit alors être alimenté à ses extrémités par les tensions de 1 V (broche 1) et 12 V (broche 3).

6. Réaliser une liaison par fil entre la source de 12 V et l'entrée ABG externe (J1). La sortie (1) de IC5 doit passer à 0 V environ, et on doit trouver une tension comprise entre 15,5 V et 16,5 V en sortie de IC7 (broche 1 du capteur CCD).

7. Couper l'alimentation puis implanter IC2 et IC3 sur leurs supports, remettre sous tension et mesurer les niveaux de sortie des drivers TC4427: toutes les sorties, broches (5) et (7) doivent être à 0 V.

8. Réaliser une liaison avec une résistance de 10 kΩ entre la source de 12 V et chacune des entrées d'horloge (à suivre

sur le schéma structurel). Les sorties des drivers (broches 5 et 7) doivent passer à 12 V. Vérifier également la présence de la tension de 12 V sur les broches 2, 7, 8, 10, 11 et 12 du capteur CCD en fonction des entrées alimentées.

En cas de problème, il ne vous reste plus qu'à suivre les pistes de la source de tension jusqu'au défaut constaté, afin de repérer l'origine du problème (mauvaise soudure, court-circuit, etc.).

MONTAGE ET TEST DU CAPTEUR DE TEMPÉRATURE

Soudez un **LM35** comme indiqué sur la **figure 14** et munissez vous d'un voltmètre. Lorsque le module est alimenté, le LM35 doit délivrer entre les bornes (1) et (2) de **J4** une tension proportionnelle à la température ambiante (10mV / °C). Par exemple, pour **25°C**, le voltmètre doit afficher **250 mV**.

L'illustration de la **figure 19** indique l'emplacement définitif du LM35 dans la tête optique. Il doit être collé à l'araldite contre le capteur CCD du côté de la zone image. La difficulté consiste à le coller sans gêner le hublot et sans bavures de colle sur la vitre du CCD. C'est donc une opération délicate qui doit être menée le plus tard possible. Cependant, des essais provisoires de mesure de température pourront être réalisés en calant le LM35 avec de la mousse. La liaison au

Figure 15

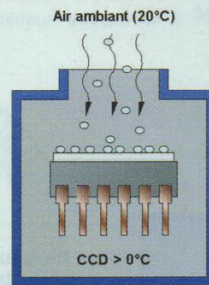


Figure 15a

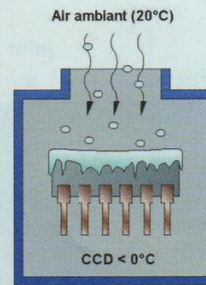


Figure 15b

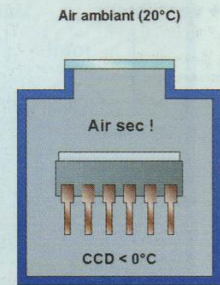


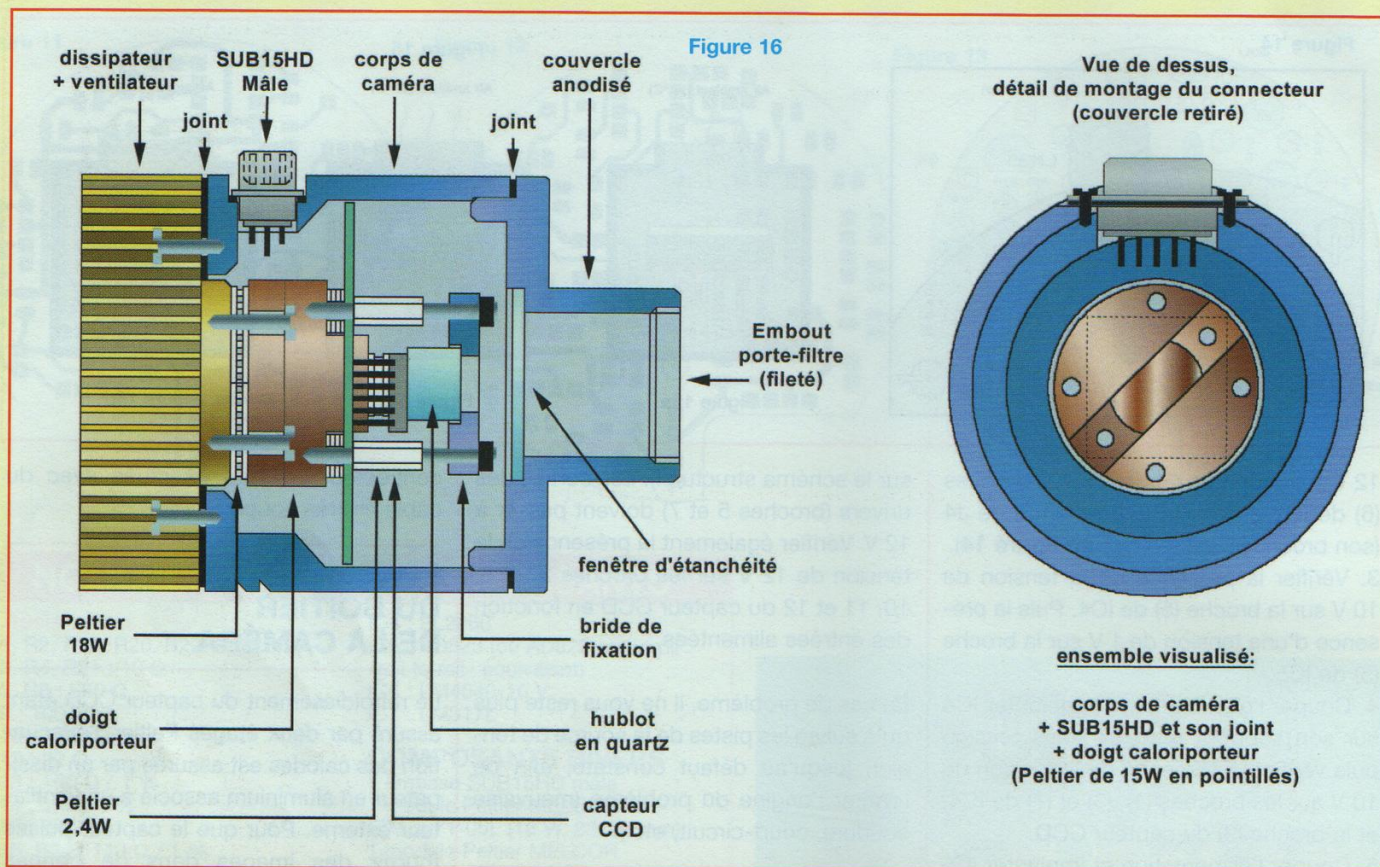
Figure 15c

connecteur J4 sera effectuée avec du câble fin très souple.

PRÉSENTATION DU BOÎTIER DE LA CAMÉRA

Le refroidissement du capteur CCD étant assuré par deux étages Peltier, l'évacuation des calories est assurée par un dissipateur en aluminium associé à un ventilateur externe. Pour que le capteur puisse fournir des images dans de bonnes conditions, il faut également qu'il soit placé dans un boîtier étanche à l'humidité. En effet, lorsqu'on refroidit un capteur CCD, son principal ennemi est le givre. Mais d'où provient cette humidité ? La différence de température entre le CCD et le milieu ambiant provoque un effet de condensation sur la vitre du CCD, qui se couvrira inévitablement de buée si l'air ambiant n'est pas sec (**figure 15a**). Les conséquences de ce phénomène tout à fait naturel sont désastreuses pour la qualité des images, d'autant plus que notre capteur CCD pourra être refroidi en dessous de 0°C ! (**figure 15b**). La solution adoptée pour combattre ce fléau est indiquée en **figure 15c**. Il s'agit d'isoler le capteur CCD de l'environnement extérieur en plaçant une fenêtre sur l'axe optique. Pour que ce procédé soit efficace, il faut également veiller à maintenir un air suffisamment sec à l'intérieur de l'enceinte. La mise en pratique de ce principe n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît,

UNE CAMÉRA CCD D'INSTRUMENTATION



comme le démontre l'illustration de la **figure 16**. Les dimensions de l'ensemble ont été calculées au plus juste, afin de limiter l'encombrement et le poids de la tête optique (70 mm de diamètre et moins de 400 g). Le boîtier est principalement composé de 3 éléments : un dissipateur thermique, un corps et un couvercle.

- Le dissipateur thermique (figure 17a)

Fixé à l'arrière de la caméra à l'aide de 4 vis métalliques de 3 mm, c'est un dissipateur ventilé référencé **M6AB** et proposé par **ThermalTake**. Il est destiné à l'origine au refroidissement des processeurs graphiques. Pour des raisons esthétiques, les autres éléments ont été dimensionnés par rapport à ce dissipateur. Remarquez sur la **figure 16** que l'ensemble de l'électronique est solidaire du dissipateur afin de limiter les ponts thermiques. La figure 17a indique l'orientation du module Peltier de 18 W qui sera

monté entre le dissipateur et le doigt caloripporteur.

- Le corps du boîtier (figure 17b)

Le corps, qui reçoit un connecteur SUB15HD mâle, n'est en contact direct avec aucun composant électronique. L'étanchéité des parties démontables du boîtier, qui sont au contact de l'environnement extérieur, est assurée par la présence de **3 joints souples**. La partie arrière reçoit un trou de perçage chanfreiné destiné au passage des câbles du ventilateur. Lors de l'assemblage, le dissipateur ThermalTake devra donc être orienté de façon à faire coïncider ce trou avec la sortie des câbles. La **photo 5** montre en détails le passage des câbles du ventilateur entre les ailettes du dissipateur. Le fil bleu, non utilisé, est à couper au plus près du rotor.

- Le couvercle (figure 17c)

Il est doté d'un logement interne destiné

à recevoir une fenêtre d'étanchéité au niveau de l'axe optique. Nous conseillons d'utiliser du BK7, qui est un verre minéral de qualité optique, ou encore du quartz qui est transparent aux ultraviolets. La partie externe du couvercle, usinée au diamètre de 31,75 mm, permet de monter directement la caméra dans le porte-oculaire d'un télescope. La présence d'un filetage destiné au montage d'un filtre externe permet d'augmenter les possibilités de prises de vues (imagerie couleur, blocage des infrarouges, etc...). Un filtre vert au standard 31,75 mm a été mis en place pour la photographie.

PRÉSENTATION DE LA COLONNE DE REFROIDISSEMENT INTERNE

Cette structure, qui est présentée de profil sur l'illustration de la **figure 16**,

Figure 17

Fig. 17a: dissipateur

perçage diamètre extérieur: entraxe de 45mm
perçage diamètre intérieur: entraxe de 27mm

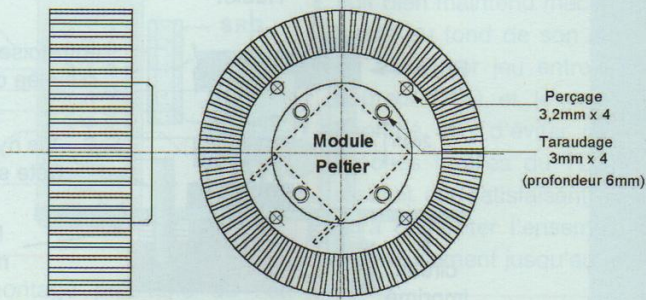


Fig. 17b: corps

Perçage 3mm avec chanfrein
profondeur 10mm
centre placé à
9mm du bord
extérieure

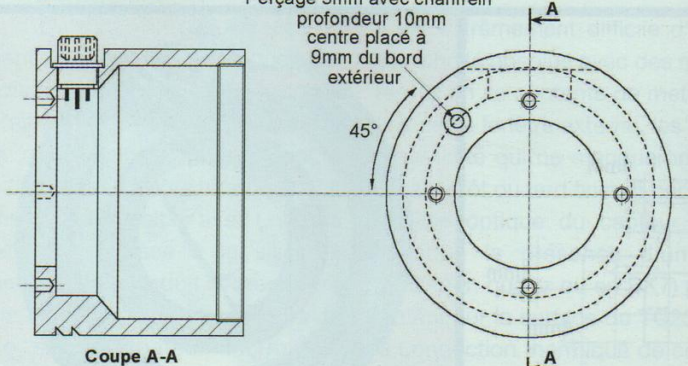
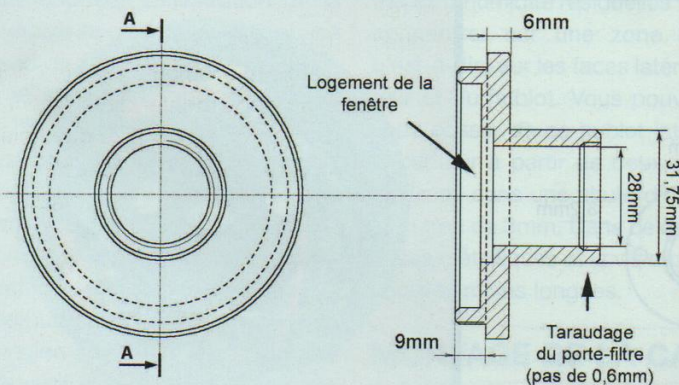


Fig. 17c: couvercle

Coupe A-A



assure plusieurs fonctions importantes :

- * L'évacuation des calories du capteur CCD vers le dissipateur,
- * Le centrage optique du capteur CCD,
- * La fixation du circuit imprimé et du capteur CCD,

* Le positionnement correct du capteur sur le plan focal de la caméra.

En ce qui concerne ce dernier point, il est essentiel que la totalité de la surface sensible du capteur CCD soit orientée per-

pendiculairement à l'axe optique. Sinon, la focalisation serait impossible.

- Le doigt caloripporteur (figure 18a)
Fixé sur le dissipateur à l'aide de 4 vis en nylon de 3 mm, il assure le maintien du

UNE CAMÉRA CCD D'INSTRUMENTATION



Figure 18

Photo 5

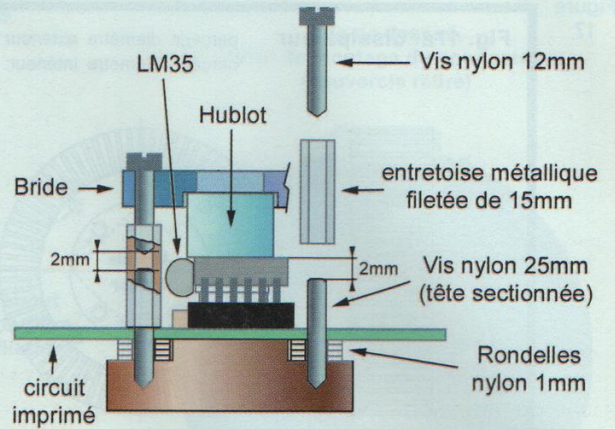


Figure 19

Figure 18a : doigt caloripporteur

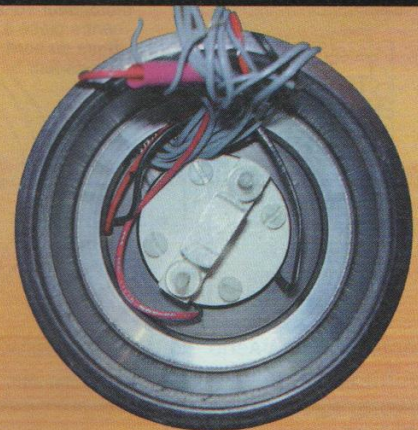
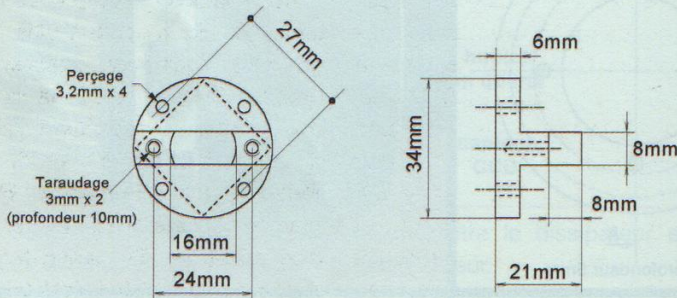
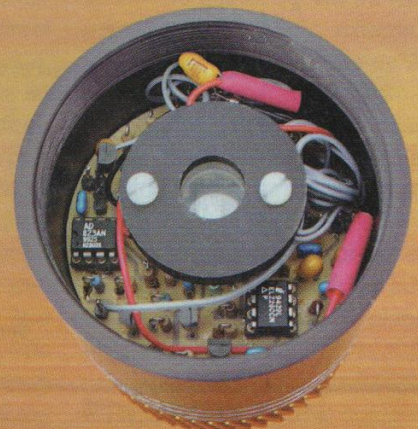
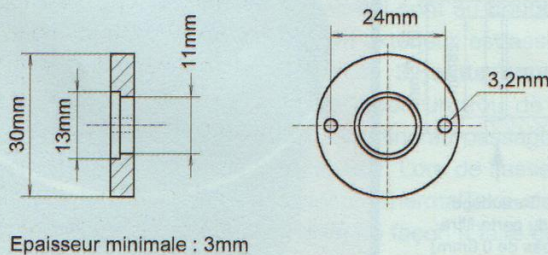


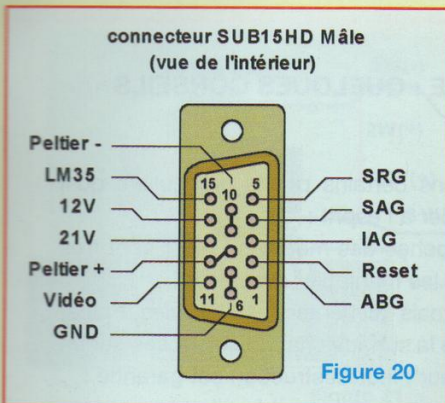
Figure 18b : bride de fixation



module Peltier de 18 W. Les câbles du module Peltier seront de préférence dirigés à l'opposé du connecteur SUB15HD comme indiqué sur la photographie. Les

deux taraudages espacés de 24 mm permettront le centrage et la fixation du circuit imprimé. Des rondelles fines en nylon seront empilées afin d'ajuster la

hauteur du circuit imprimé en fonction de la position des broches du capteur CCD. La hauteur totale de ces entretoises sera déterminée expérimentalement, lors d'un



essai de montage préalable de l'ensemble [doigt - circuit imprimé - Peltier de 2 W - capteur CCD].

- La bride de fixation (figure 18b)

Cet élément va permettre de plaquer, par l'intermédiaire d'un hublot transparent, le module Peltier de 2 W et le capteur CCD contre le doigt caloripporteur. Il faudra favoriser la conduction thermique au niveau des modules Peltier avec une très fine couche de graisse à la silicone. Cette graisse est un produit couramment utilisé pour le montage des transistors de puissance sur dissipateur thermique. Lors du montage de la bride, il faut utiliser de la visserie en nylon associée à deux entretoises hexagonales filetées de 15 mm de longueur. L'illustration de la figure 19 présente en détails cette phase de la réalisation :

1. Visser et bloquer à fond une vis en nylon de 25 mm de longueur dans les deux trous filetés du doigt caloripporteur.
2. Poser provisoirement le module Peltier de 2 W et le capteur CCD sur le doigt, puis couper la tête de vis à 2mm environ sous la surface du CCD.
3. Poser le hublot, la bride de fixation et les vis en nylon de 12 mm sur le capteur CCD, puis vérifier qu'il reste un espace de sécurité d'environ 2 mm entre les vis. Ajuster leur longueur si nécessaire.
4. Mettre en place le capteur CCD sur son support, puis empiler des rondelles sous le circuit imprimé jusqu'à ce qu'il soit posé sur les rondelles lorsque le capteur est en contact avec le module Peltier.

5. Fixer le circuit imprimé avec les entretoises métalliques hexagonales.

A ce stade, vérifier que le capteur CCD soit bien maintenu mécaniquement sans forcer au fond de son support : prévoir un très léger jeu entre les broches du capteur CCD et le support du circuit imprimé afin d'éviter de détériorer les broches fragiles du TC237. Lorsque le résultat est satisfaisant, il ne reste plus qu'à démonter l'ensemble et le ranger soigneusement jusqu'au montage final.

A PROPOS DES HUBLOTS TRANSPARENTS

Il est extrêmement difficile d'obtenir une étanchéité absolue avec des moyens limités. Si on se contente de mettre en place une seule fenêtre externe, les rares traces d'humidité qui ne manqueront pas d'apparaître tôt ou tard finiront par givrer sur la surface optique du capteur CCD. Ceci explique la présence d'un deuxième hublot (en quartz ou en BK7) placé directement sur la surface du TC237. En effet, la conduction thermique de ce hublot est suffisamment faible pour éviter tout risque de givrage de sa surface extérieure, malgré son épaisseur limitée à 9,5 mm. Les traces d'humidité résiduelles vont alors se concentrer sur une zone plus froide, c'est-à-dire sur les faces latérales du capteur et du hublot. Vous pouvez toutefois vous passer de ce hublot interne et fixer le capteur à partir de deux petites cales réalisées dans une chute d'époxy percée d'un trou de 3mm. Dans ce cas, les entretoises métalliques et la vis en nylon seront choisies moins longues.

MONTAGE DE LA CAMÉRA

La mise en boîtier est une opération délicate et exige un peu de soin. Réservez-vous une bonne demi-journée dans un lieu calme et isolé. N'hésitez pas à consulter les nombreux clichés photographiques qui illustrent cet article afin d'écartier tout risque d'erreur de montage.

- Informations générales sur le câblage

Précisons préalablement que les premiers essais d'acquisitions d'images devraient être effectués hors boîtier, avec un câblage volant entre le circuit imprimé de la tête CCD et son connecteur SUB15HD Mâle dont le brochage est indiqué en figure 20. Ainsi, en cas de problème, le dépannage du circuit serait plus facile. Nous y reviendrons d'ailleurs plus tard. Notez que certaines broches sont reliées ensemble sur le connecteur. Autre détail important : utilisez impérativement un câble fin et très souple, comme par exemple du câble en nappe de type informatique dont les brins sont accolés au pas de 1,27 mm. En effet, la totalité des câbles doit pouvoir passer par le dégagement prévu sur le circuit imprimé, y compris ceux du ventilateur et du module Peltier de 18 W (photo 6). Vous avez certainement remarqué sur le connecteur la présence de deux broches destinées à l'alimentation du ventilateur et des modules à effet Peltier (broches Peltier+ et Peltier-). Le plan de câblage de ces éléments est précisé en figure 21. Les modules Peltier sont à placer en série alors que le ventilateur est câblé en parallèle sur les broches du connecteur. Faites bien attention au montage des modules à effet Peltier : les faces en céramique qui reçoivent les fils d'alimentation doivent être placées contre le doigt caloripporteur. Ensuite, les deux fils rouges sont impérativement à relier ensemble, et il faut relier les fils noirs des modules comme indiqué sur l'illustration. Pour finir, un condensateur au tantale de 22 µF / 25 V est à souder en parallèle avec les broches Peltier+ et Peltier-. Ce condensateur, d'une efficacité redoutable, élimine les parasites générés par la rotation du ventilateur.

- Chronologie de montage

Malgré le soin que nous avons apporté à la conception de la tête optique, le montage de l'ensemble peut devenir un véritable cauchemar si vous ne respectez

UNE CAMÉRA CCD D'INSTRUMENTATION

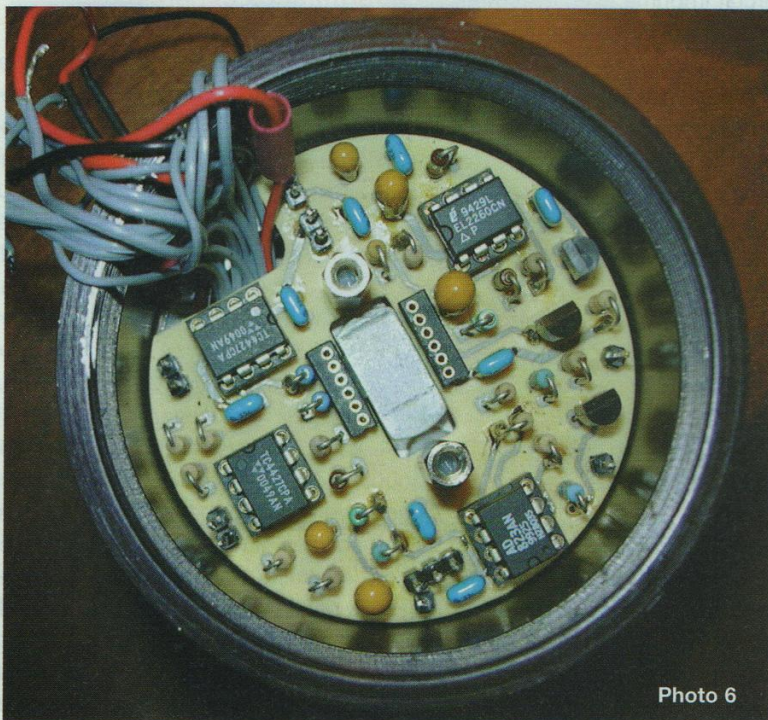


Photo 6

ANNEXE : QUELQUES CONSEILS UTILES

Soulignons certains points particuliers qu'il faut garder à l'esprit :

- Les broches des modules Peltier sont très fragiles : les manipuler avec soin !
- Ne jamais alimenter les modules Peltier sans que la surface chaude soit posée sur un dissipateur : leur destruction est garantie !
- La visserie en nylon est fragile : ne pas trop la serrer !
- Les broches du connecteur SUB15HD sont assez serrées : attention aux court-circuits !
- Eviter graisse, colle et rayures sur la vitre du CCD !
- Ne jamais effectuer une soudure sur le circuit imprimé en présence du capteur CCD : les décharges électrostatiques lui seraient fatales !

pas l'ordre de montage ci-dessous. Nous vous engageons à respecter les précautions indiquées en **annexe**.

1. couper les broches centrales (6 à 10) du connecteur SUB15HD qui sont trop longues et risquent de toucher le doigt caloripporteur. Placer les 3 straps sur le connecteur et lui souder des câbles de 10 cm de longueur. Vérifier qu'il n'y a pas de court-circuit entre les broches et dénuder à l'avance l'extrémité des fils.

2. Monter le dissipateur avec son joint sur le corps de la caméra avec 4 vis en métal, en faisant passer les câbles du ventilateur dans l'orifice qui leur a été prévu. Obturer de l'intérieur cet orifice avec une pâte à joint d'étanchéité (joint silicone par exemple).

3. Mettre en place le module Peltier de 18 W avec de la graisse silicone en couche très fine sur les deux faces (essuyer si nécessaire). Orienter ses fils d'alimentation à l'opposé du connecteur SUB15HD. Vous remarquerez qu'il est nécessaire de plier les fils à 90° vers le haut pour qu'ils ne butent pas contre le corps de la caméra : cette opération est

à faire avant de le monter dans le boîtier, en maintenant la partie soudée sur la céramique avec une pince, car les connexions du module Peltier sont très fragiles !

4. Positionner le doigt en aluminium et le fixer avec 4 vis en nylon de diamètre 3 mm, coupées sous la tête à 14 mm.

5. Mettre en place le connecteur avec son joint, et les rondelles en nylon (**figure 19**). Orienter (délicatement !) les câbles du ventilateur et du module Peltier vers le connecteur.

6. Mettre en place le circuit imprimé **sans le capteur CCD**, puis le fixer avec les entretoises.

7. Il est temps de câbler toutes les liaisons qui vont sur le circuit imprimé. Il suffit de repérer chaque liaison avec un ohmmètre depuis l'extérieur du boîtier avant de la souder. A ce stade, la plupart des liaisons peuvent être recoupées afin d'éviter des boucles encombrantes. Précisons aussi que la borne GND qui est placée près de la borne ABG n'est pas à câbler, c'est juste une prise de masse utilisable pour des tests.

8. Mettre en place le module Peltier de 2 W avec de la graisse silicone en orientant ses fils d'alimentation vers **IC5**. Procéder ensuite au câblage des modules Peltier et du ventilateur conformément à la **figure 21**. Les zones non isolées devraient être protégées par de la gaine thermorétractable.

9. Implanter le capteur CCD sur son support et fixer l'ensemble [hublot + bride] avec les deux vis en nylon de 12 mm. Dans ces conditions, la tête CCD est prête à fournir ses premières images.

Mettre en place provisoirement le LM35 non câblé pour repérer sa position définitive.

10. Nous voici arrivés à l'ultime phase du montage, qu'il faut réaliser juste avant la fermeture définitive du boîtier. Sortir le capteur CCD du boîtier. Couper au plus court les broches du LM35 et y souder 3 fils de 4 cm dénudés aux extrémités. Coller à l'araldite le LM35 sur le CCD puis replacer les derniers éléments dans le boîtier. Souder les 3 fils du LM35 conformément à l'illustration de la **figure 14**.

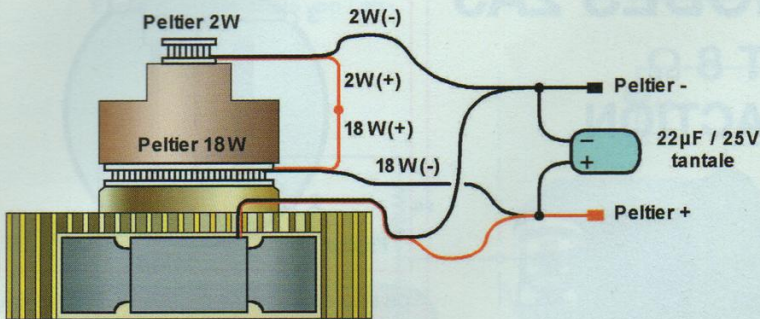
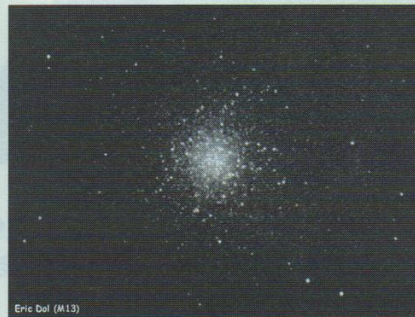


Figure 21

Observations planétaires



M42



M13



M57

QUELQUES RÉSULTATS SUR LE CIEL

Les utilisateurs de la Kitty 237 nous ont sympathiquement transmis quelques unes de leurs productions. Les performances obtenues avec une K2 étant similaires (avec toutefois beaucoup d'améliorations), ces images vous donnerons un aperçu des possibilités de cette caméra.

- Observations planétaires...

La lune est une cible privilégiée pour débuter en astrophotographie. Ce cliché des Appenins a été obtenu par Jean-Yves Zoks au foyer d'un télescope de 200 mm. L'image de Saturne est le résultat d'un compositage de 19 images saisies en 700 ms de pose derrière une lentille de Barlow (la focale résultante est de 4 m). Le couple d'images de Jupiter présente l'éclipse de Io par Europe qui a eu lieu le 10 janvier 2003. L'intervalle entre les deux clichés est de 6 mn. Pour la dernière

image de Jupiter, Jean-Yves Zoks a utilisé son système de projection par oculaire associé à un filtre bleu. Le temps de pose était de 400 ms. Il s'agit d'un compositage de 15 images suivi par un traitement logiciel qui a fait ressortir les détails.

- Observation du ciel profond...

Précisons qu'en astronomie, le terme «ciel profond» désigne tous les objets lointains, donc faiblement lumineux, comme les nébuleuses, les galaxies ou certains amas d'étoiles. **M42** résulte du compositage de deux clichés. La zone étendue de **M42** est issue d'une image obtenue par Georges Chaudron (2 mn de pose, binning 2x2) avec un LX50 de 254 mm doté d'un réducteur 3,3. La partie centrale provient d'une image réalisée par Michel Mathot (1 pose de 30 s, binning 1x1) avec un télescope artisanal de 210 mm. Pour saisir **M13**, Eric DOL a utilisé un télescope de 130/720 mm de fabrication personnelle. Cette image résulte du compositage de 4 images

posées chacune 30 secondes en binning 1x1. Enfin, Jean-Yves Zoks a obtenu le cliché de **M57** après compositage de 5 poses de 1mn 30 en binning 1x1, sélectionnées sur 30 images.

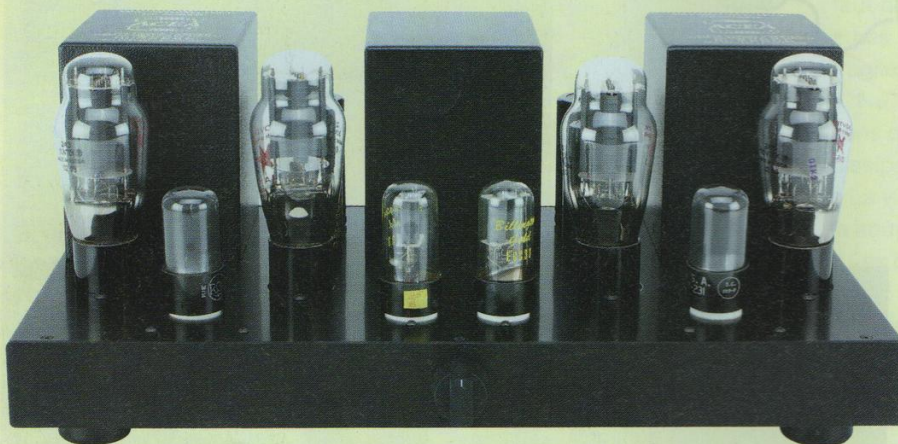
C'EST TOUT POUR AUJOURD'HUI !

Notre prochain rendez-vous sera consacré à la description de l'alimentation et à son montage dans un coffret adéquat. Nous poursuivrons ensuite avec la réalisation de la carte d'interface, pour finir avec la présentation détaillée du logiciel «Kool». Les lecteurs intéressés par cette réalisation peuvent contacter l'auteur ou le fabricant du boîtier par E-Mail pour obtenir de plus amples informations. Je tiens à remercier particulièrement tous les amateurs abonnés à la liste «Kitty» qui ont contribué par leurs suggestions ou expérimentations à la naissance de cette nouvelle caméra.

Bernard Dalstein

PUSH-PULL DE TRIODES 2A3

2 x 12 Weff / 4 ET 8 Ω
SANS CONTRE-RÉACTION



La 2A3 est une triode à chauffage direct qui ressemble beaucoup à la 300B avec son enveloppe volumineuse et enflée, son embase à 4 broches.

Ne pouvant fournir qu'une puissance de 3,5 Weff avec 5 % de distorsion en simple étage, nous avons décidé de passer immédiatement au fonctionnement en push-pull pour bénéficier d'une puissance plus conséquente et ainsi pouvoir «driver» une paire d'enceintes au rendement moyen de 92 dB / 1 W / 1 m dans de bonnes conditions.

Mis à part quelques rares lecteurs qui nous en avaient dit du «bien» lors d'échanges téléphoniques pour en écouter régulièrement chez eux en simple étage, il y a peu de temps encore nous ne connaissions pas du tout ce tube.

Depuis que le prototype a «bousculé» nos enceintes Lyrr, à chaque écoute et cela dès la toute première, nous sommes en «arrêt» devant nos «caisses».

Un amplificateur qui décortique la modulation avec autant de précision, de nervosité et de profondeur, nous n'avions pas connu cela avant le push-pull de 845 !

La 2A3 montée en push-pull fait «exploser» les enceintes sur tout le spectre audio tant elle déborde de vitalité. Comment un amplificateur d'aussi faible

puissance peut-il fournir autant d'énergie ! Après tous ces éloges que nous ne faisons d'ordinaire qu'en fin d'article, intéressons-nous à l'étude et à la réalisation de cet appareil basé sur les triodes 2A3 et 6SN7.

LE TUBE

Son brochage est représenté en **figure 1**. Avec un culot 4 plots, celui-ci laisse tout juste la possibilité d'accéder aux électrodes.

Les gros plots sont reliés à la cathode, donc au chauffage, la 2A3 étant à chauffage direct.

L'anode est connectée au plot 2 et la grille de commande est accessible au plot 3.

L'embase est en bakélite avec l'envelop-

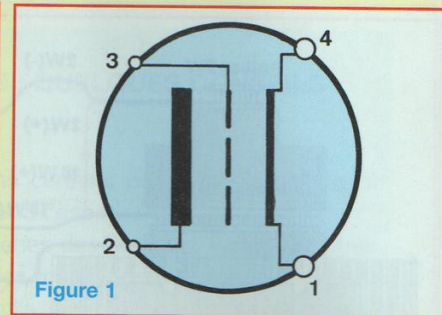


Figure 1

pe en verre scellée à celle-ci. Pour enlever une 2A3 de son support, ne jamais soulever celle-ci en la prenant par son enveloppe, mais uniquement par l'embase.

Des forces de «traction» répétées peuvent desceller le verre, d'où infiltration d'air et mort instantanée de la 2A3.

• CARACTÉRISTIQUES

- Chauffage filament : 2,5 V
 - Consommation filament : 2,5 A
 - Capacité grille / anode : 16,5 pF
 - Capacité grille / filament : 7,5 pF
 - Capacité anode / filament : 5,5 pF
 - Tension anodique (push-pull) : 300 V
 - Tension anodique (single) : 250 V
 - Résistance interne : 800 Ω
 - Courant anodique (single) : 60 mA
 - Courant anodique (push-pull) : 40 mA
- par tube
- Dissipation plaque max : 15 W
 - Impédance de charge (single) : 2 500 Ω
 - Impédance de charge (push) : 5 000 Ω (avec résistance de cathode de 780 Ω)
 - Impédance de charge (push) : 3 000 Ω (polarisation fixe)

PUSH-PULL DE 2A3

Le schéma de notre étude vous est proposé en **figure 2**. Mis à part les triodes 2A3, nous remarquons également l'usage de triodes 6SN7 en préamplification et en déphasage.

• LA PRÉAMPLIFICATION

La première demi-triode en entrée est montée en adaptateur d'impédance, la grille étant chargée par le potentiomètre de volume P1. De ce fait, l'anode est directement reliée à la haute tension et la

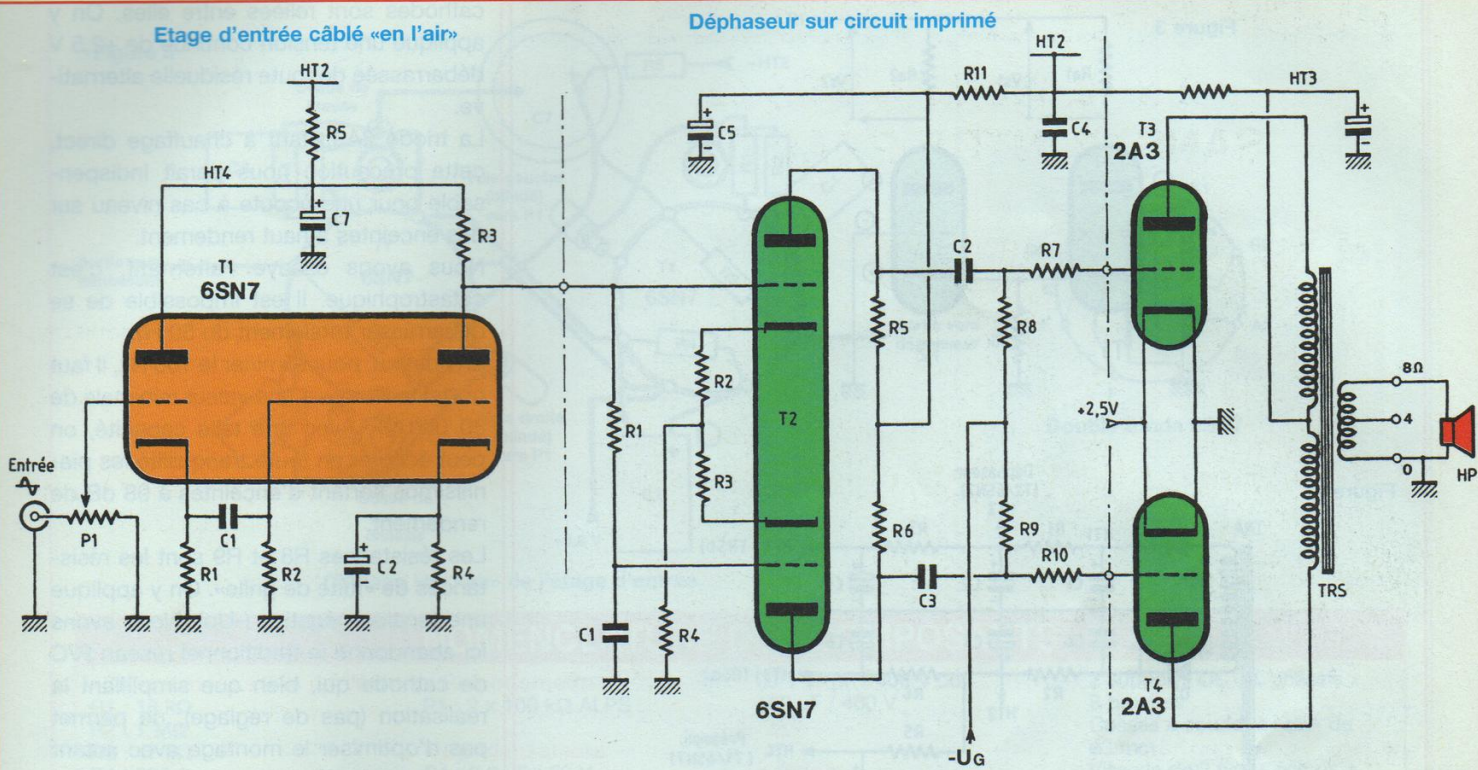


Figure 2

cathode chargée par une résistance R1 de forte valeur, ici une résistance de 18 kΩ.

La modulation est prélevée à basse impédance par le condensateur de liaison C1, de forte valeur (2,2 μF), afin de ne pas altérer la reproduction des basses fréquences.

Cette modulation est appliquée à la grille de la deuxième triode du tube T1, laquelle présente une résistance de fuite R2 de 1 MΩ.

La constante de temps C1/R2 permet de transmettre des signaux vers le bas du spectre jusqu'à 0,07 Hz !

La résistance de charge d'anode R3 est portée à une valeur de 47 kΩ pour une résistance de cathode R4 de 680 Ω.

Cette résistance est découplée par un condensateur de bonne valeur C2/470 μF toujours dans le but de ne pas altérer le bas du spectre. Le réseau R/C permet de s'effacer jusqu'à 0,4 Hz.

Le gain de cet étage préamplificateur / adaptateur est de 15,7.

• LE DÉPHASAGE

Il est confié au tube T2. Ce déphasage de type «Schmitt» présente l'avantage d'avoir des impédances de sorties sensiblement égales.

C'est un déphaseur intéressant car les tensions de sorties se trouvent sur deux électrodes au même potentiel continu.

La première demi-triode du tube T2 est attaquée par le signal amplifié par le tube T1, sur sa grille et ce en liaison directe. Sa charge est répartie entre anode et cathode.

Le signal de sortie apparaissant sur l'anode constitue une des tensions de sortie du déphaseur. L'autre partie apparaissant sur la cathode sert à attaquer, par la cathode, la seconde demi-triode fonctionnant avec sa grille à la masse.

Le signal apparaissant sur l'anode est donc la deuxième tension de sortie du déphaseur. Elle est en opposition de phase par rapport à la première mais de même amplitude (rôle des résistances de charges R5 et R6 de même valeur).

La figure 3 précise le fonctionnement du déphaseur par couplage des cathodes. Sur notre étage, nous remarquons 2 résistances complémentaires R2 et R3 dans les cathodes du tube T2. Ces résistances de faible valeur (220 Ω) servent à équilibrer le fonctionnement des deux triodes en compensant les disparités qu'il peut y avoir d'un élément à l'autre.

La résistance commune de cathode R4 a une valeur élevée de façon à ce que le recul de grille soit compatible avec la tension d'anode du tube préamplificateur T1. Elle est portée à 78 kΩ.

Les deux signaux déphasés de 180° sont prélevés sur les anodes de T2 par les condensateurs de liaisons C2 et C3. Ils servent de «tampon» entre le déphaseur et le push-pull de sortie avec un double rôle :

- transmettre la modulation (signaux alternatifs)
- bloquer les potentiels continus présents sur les anodes des triodes.

PUSH-PULL DE TRIODES 2A3

Figure 3

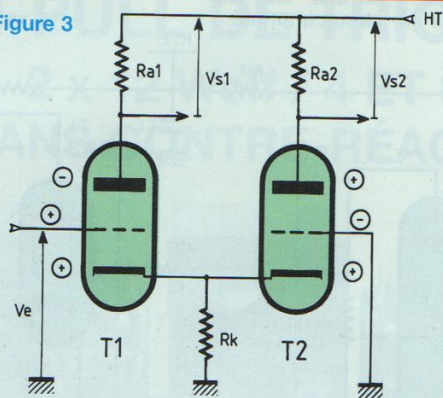
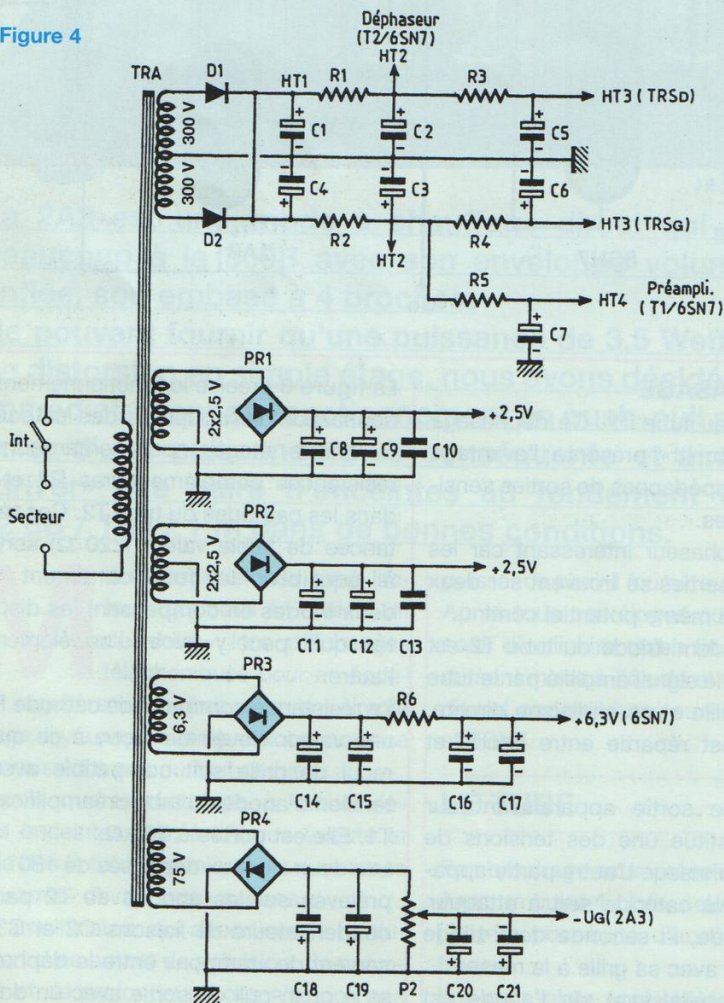


Figure 4



• LE PUSH-PULL

Les anodes des triodes 2A3 sont chargées par le primaire d'un transformateur d'impédance 3 k Ω (plaque à plaque).

Dans les grilles sont insérées des résistances de stabilisation R7 et R10 de 1 k Ω au travers desquelles est véhiculée la modulation en opposition de phase. Les

cathodes sont reliées entre elles. On y applique une tension continue de +2,5 V débarrassée de toute résiduelle alternative.

La triode 2A3 étant à chauffage direct, cette précaution nous paraît indispensable pour une écoute à bas niveau sur des enceintes à haut rendement.

Nous avons essayé l'alternatif, c'est catastrophique. Il est impossible de se débarrasser totalement du 50 Hz.

En continu, pour éliminer le 100 Hz, il faut porter le filtrage à une valeur minimale de 30 000 μ F. Avec une telle capacité, on peut écouter en toute tranquillité les pianissimos sortant d'enceintes à 98 dB de rendement.

Les résistances R8 et R9 sont les résistances de «fuite de grille». On y applique une tension négative (-Ug). Nous avons ici abandonné le traditionnel réseau R/C de cathode qui, bien que simplifiant la réalisation (pas de réglage), ne permet pas d'optimiser le montage avec autant de précision. Cette tension négative est portée à un potentiel de -62 V par rapport à la masse.

Le point milieu du primaire de TRS est porté à la haute tension HT3, celle-ci étant obtenue à travers la cellule de filtrage R/C qui isole l'étage de sortie de celui du déphasage.

Nous remarquons que la HT2 est commune à tous les étages, mais que chacun d'eux possède sa propre cellule de filtrage.

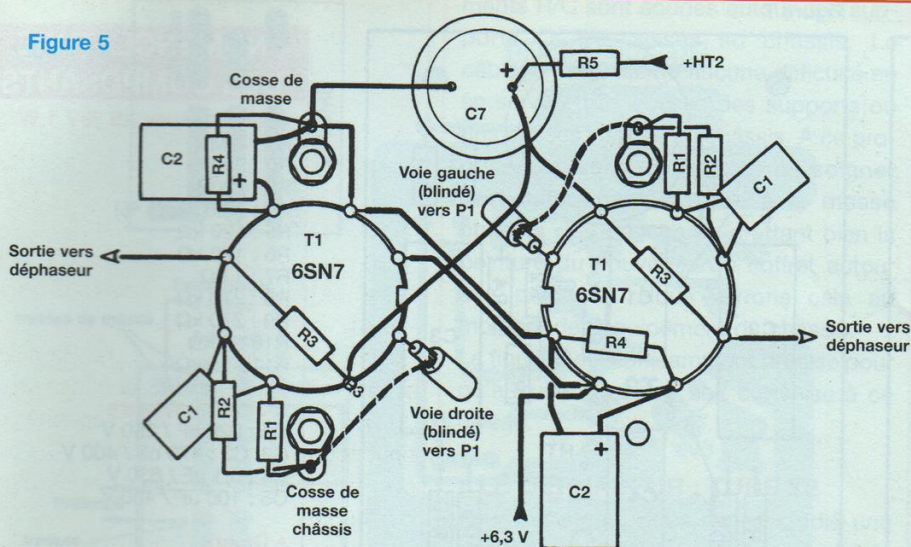
Le secondaire du transformateur TRS dispose de 2 sorties, ce qui permet de raccorder l'amplificateur à des enceintes de 4 ou 8 Ω .

Il n'y a pas de contre-réaction, malgré cela, grâce à l'électronique et à l'excellent transformateur de sortie, le signal carré à 10 kHz est superbe, sans aucune suroscillation.

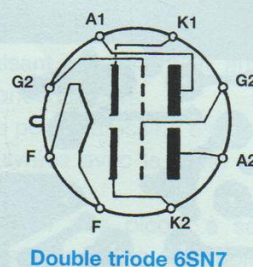
LES ALIMENTATIONS

Elles sont nombreuses comme l'indique la figure 4 entre hautes et basses tensions.

Figure 5



Câblage «en l'air» de l'étage d'entrée



Double triode 6SN7

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

• Résistances $\pm 5\%$ / 1 W

R1 : 18 k Ω
R2 : 1 M Ω
R3 : 47 k Ω
R4 : 680 Ω
R5 : 820 Ω

• Potentiomètre

P1 : 2 x 100 k Ω ALPS

• Condensateurs

C1 : 2,2 μ F / 63 V
C2 : 470 μ F / 35 V

C7 : 47 μ F / 400 V ou
100 μ F / 400 V

• Divers

T1 : triode 6SN7 ou ECC33

2 supports OCTAL châssis
8 broches
Cosses à souder à «œil» de
 $\varnothing 3$ mm
Visserie de 3 (vis + écrous +
rondelles «éventail»)

• LES HAUTES TENSIONS

Un enroulement de 2x300 V est redressé par 2 diodes à commutation rapide D1 et D2.

Des cathodes de ces diodes est effectué un double filtrage par les condensateurs C1 et C4.

Nous allons ainsi alimenter séparément chaque canal de l'amplificateur à partir de la haute tension HT1. Les cellules en π C1/R1/C2 et C4/R2/C3 permettent d'obtenir les potentiels HT2. Cette tension va alimenter les modules déphaseurs et les étages d'entrées «préamplificateur/adaptateur». Le tube d'entrée T1 est isolé de la HT2 par une cellule de filtrage complémentaire R5/C7. Cette cellule est commune aux deux tubes (canaux droit + gauche) et permet d'obtenir la haute tension HT4.

L'étage de sortie est alimenté par la haute tension HT3 obtenue à partir des cellules de filtrage R3/C5 ou R4/C6. Le point milieu du transformateur de sortie est

donc isolé de la HT2 et les résistances R3 ou R4 chutent le potentiel HT2 à une valeur raisonnable pour ne pas endommager les «plaques» des triodes 2A3.

• LES BASSES TENSIONS

La triode 2A3 demande une tension de chauffage de 2,5 V. Cette tension relativement basse est fournie par le transformateur sous la forme de 2 enroulements de 2 x 2,5 V chacun, soit un enroulement par canal de l'amplificateur.

Les points milieux de ces enroulements sont mis à la masse, tandis que les extrémités sont reliées à un pont ! Bizarre pensez-vous, pourquoi un pont et non deux diodes comme pour la haute tension ! La réponse est d'ordre pratique, il est beaucoup plus facile de refroidir un pont par sa fixation au châssis de l'appareil que deux diodes séparées comme D1 et D2. Les consommations ne sont pas les mêmes, il ne faut pas perdre de vue que chaque 2A3 consomme 2,5 A.

Nous utilisons donc une moitié de pont (2 diodes sur 4) par enroulement du transformateur. Les tensions continues ainsi obtenues sont ensuite très énergiquement filtrées par les condensateurs C8/C9 ou C11/C12. Prévoir au minimum 30 000 μ F.

Passons maintenant au chauffage des filaments des 6SN7 en 6,3 V.

Un classique à partir d'un enroulement de 6,3 V, l'utilisation d'un pont «en pont» et une cellule de filtrage très énergique. Le rôle de R6 est de ramener la tension de chauffage aux environs de +6,3 V en charge (et non à vide !).

Un dernier enroulement, cette fois-ci de 75 V ~. Nous avons besoin d'une tension négative -UG pour polariser les grilles des triodes 2A3. Cette tension est disponible après redressement de l'enroulement de 75 V par un pont monté à l'envers (cathodes à la masse) et un excellent filtrage. Le potentiomètre P2 permet d'ajuster le potentiel négatif dans de très

PUSH-PULL DE TRIODES 2A3

Figure 6

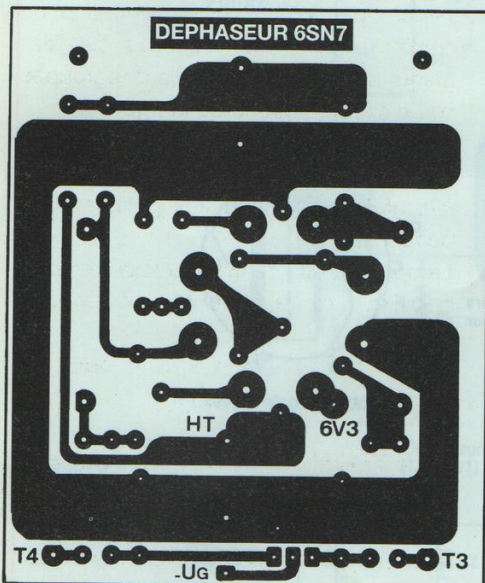
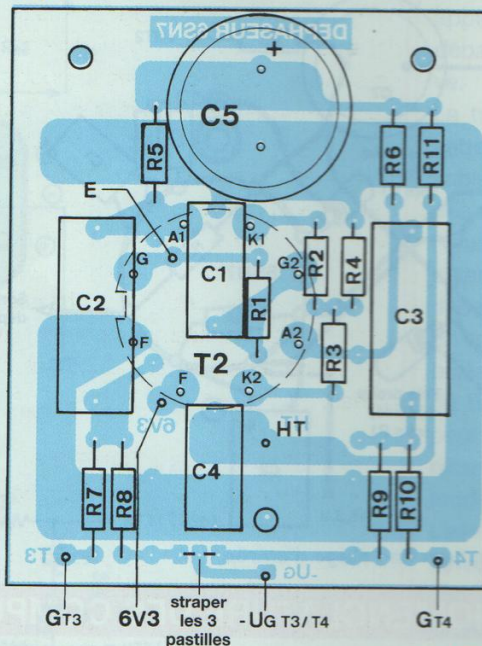


Figure 7



NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

• Résistances $\pm 5\%$ / 1 W

- R1 : 1 M Ω
- R2 : 220 Ω
- R3 : 220 Ω
- R4 : 78,6 k Ω (1 %)
- R5 : 120 k Ω
- R6 : 120 k Ω
- R7 : 1 k Ω
- R8 : 270 k Ω
- R9 : 270 k Ω
- R10 : 1 k Ω
- R11 : 15 k Ω

• Condensateurs

- C1 : 220 nF / 250 V
- C2, C3 : 470 nF / 400 V
- C4 : 0,1 μ F / 630 V
- C5 : 100 μ F / 400 V

• Divers

- T2 : 6SN7
- Support OCTAL pour C1
- 6 picots à souder

Figure 8

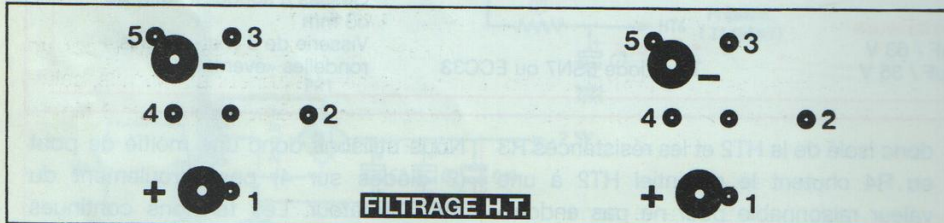


Figure 9

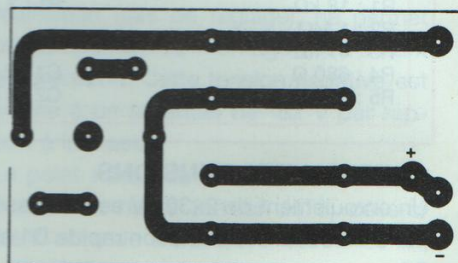


Figure 11

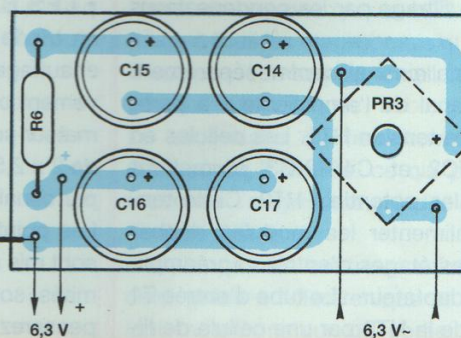
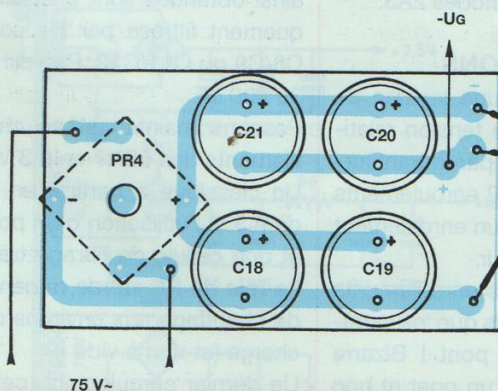


Figure 10

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

ALIMENTATION 6,3 V

- PR3 : pont 8 A / 600 V (KBPC806)
- C14, C15, C16, C17 : 4 700 μ F / 16 V
- R6 : 0,47 Ω / 7 W

ALIMENTATION -Ug

- PR4 : pont 8 A / 600 V (KBPC806)
- C18, C19, C20, C21 : 220 μ F / 100 V
- P2 : pot lin 100 k Ω

ALIMENTATION HT2

- D1, D2 : diodes BYW96E
- C1, C2, C3, C4 : 470 μ F / 400 V
- R1, R2 : 220 Ω / 11 W

Figure 12

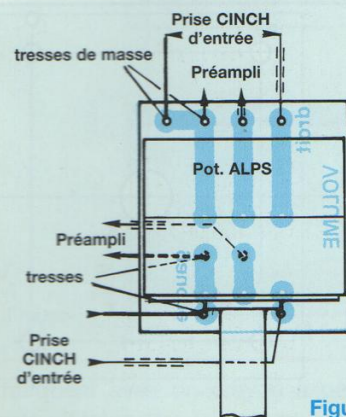
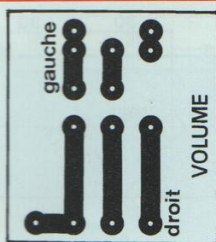


Figure 13

larges proportions. Nous verrons que le fonctionnement de notre amplificateur est optimisé avec une tension de grille de -62 V.

ET MAINTENANT

Après avoir dévoilé l'électronique de ce push-pull de 2A3 que nous avons voulu d'un fonctionnement irréprochable, nous allons entreprendre sa réalisation afin qu'il vous procure, comme cela a été pour nous, des sensations auditives inhabituelles.

Comme le mentionne la figure 2, cet amplificateur est en partie câblé à l'ancienne, c'est-à-dire sans circuit imprimé.

DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

• L'ÉTAGE D'ENTRÉE : TUBE T1

Ce premier étage T1 utilise une double 6SN7 par canal. Il est câblé «en l'air», c'est-à-dire que les composants sont reliés entre eux sans faire appel à un circuit imprimé.

Comme l'indique la figure 5, les élé-

ments R/C sont soudés autour des supports OCTAL vissés au châssis. Le câblage ne présente aucune difficulté en se servant des cosses des supports ou des cosses vissées au châssis. A ce propos, nous vous demandons de **soigner particulièrement la mise à la masse châssis des cosses** en grattant bien la peinture du couvercle du coffret autour des perçages. Nous verrons cela au moment de l'équipement du châssis.

La figure 5 est suffisamment précise pour qu'aucune erreur ne soit commise à ce niveau.

• LE DÉPHASEUR : TUBE T2

Pour cet étage, nous avons étudié une implantation de circuit imprimé, le nombre des composants à interconnecter étant plus important.

L'étude des liaisons cuivrées vous est proposée à l'échelle 1 en figure 6. Ce circuit devant servir à d'autres futurs projets, quelques pastilles sont ici inutilisées.

Le plan de câblage de la figure 7, associé à la nomenclature, doit vous guider à l'insertion des composants aux bons emplacements sur le CI.

Le support OCTAL sera le dernier élément à souder côté pistes cuivrées. Attention à l'orientation de son détrompeur qui doit être dirigé vers le condensateur C2.

Pour les interconnexions, prévoir des picots à souder qui facilitent le raccordement des câbles.

• L'ALIMENTATION HT

Le circuit imprimé de la figure 8 permet d'y souder les condensateurs de filtrage de «tête» de 470 μ F / 400 V, soit : C1/C2 ou C3/C4, ainsi que les résistances de puissance R1 ou R2, formant de ce fait deux filtrages en π efficaces pour les deux canaux de l'amplificateur.

Ce procédé permet de prendre le châssis en sandwich et de plaquer fermement les condensateurs contre celui-ci, leur maintien étant obtenu par le soudage des 5 picots au circuit imprimé.

• LE CHAUFFAGE 6,3 V =

Les composants de cette alimentation en continu destinée au chauffage des filaments des triodes 6SN7 sont regroupés sur le circuit imprimé de la figure 9.

Sur l'autre face, les composants sont à insérer conformément à la figure 10 en faisant très attention aux polarités des condensateurs.

Le pont redresseur est soudé côté pistes cuivrées avec la patte (+) orientée vers l'extérieur.

Prévoir des picots à souder pour les interconnexions des câbles.

• LA TENSION NÉGATIVE -U_G

Nous reprenons le circuit imprimé de la figure 9 pour y souder les composants destinés à l'obtention de la tension négative de grille des triodes 2A3.

Ici c'est le (-) du pont qui est orienté vers l'extérieur, celui-ci étant également soudé côté pistes cuivrées, ce qu'indique la figure 11.

La résistance fixe est remplacée par un potentiomètre extérieur au module, celui-ci étant raccordé au circuit par 3 fils de faible section.

• LE VOLUME

Nous utilisons un potentiomètre ALPS double de 2x100 k Ω . La fragilité des pattes de ce composant nous incite à le souder à un petit circuit imprimé sur lequel seront effectuées les interconnexions.

La figure 12 présente le côté cuivre et la figure 13 le raccordement des câbles blindés.

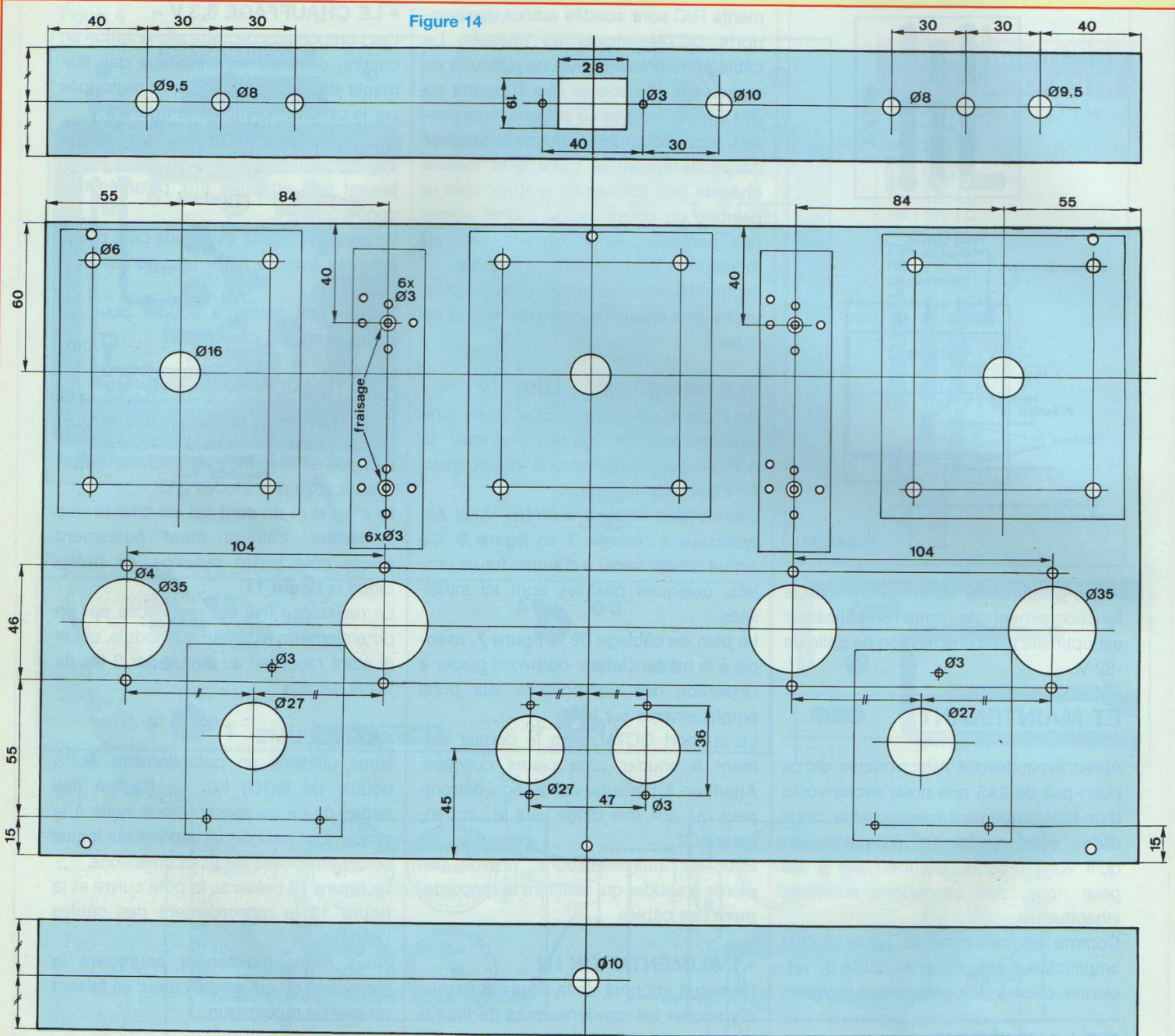
Nous allons maintenant poursuivre la réalisation de cet amplificateur en faisant un peu de mécanique.

LE COFFRET

Comme pour nos deux dernières études, nous utilisons un coffret de Radiospares de référence 226-117 (code R.S), coffret «tout aluminium». Nous sommes très satisfaits de ce boîtier qui est parfaitement adapté pour servir de châssis à un amplificateur à tubes.

PUSH-PULL DE TRIODES 2A3

Figure 14



La **figure 14** indique le travail à effectuer sur 3 faces, le capot inférieur non représenté étant uniquement perforé aux 4 extrémités pour y fixer des pieds en caoutchouc.

Il n'y a que des trous à forer si, comme nous, vous optez pour des transformateurs en «cuve».

Le plus délicat reste le positionnement des modules déphaseurs entre les supports des triodes 2A3. A ce niveau nous ne donnons pas de cotations précises, pensant qu'il est préférable d'utiliser une photocopie du circuit imprimé pour bénéficier d'une bonne précision.

Le circuit imprimé est positionné par rap-

port à ses trous de fixation inférieurs à 15 mm du bord du châssis et au centre du forage à $\varnothing 27$ mm.

Le repérage des 12 trous à $\varnothing 3$ mm (ou $\varnothing 5$ mm) entre les transformateurs se fait directement avec le circuit imprimé, la précision étant obtenue en vissant le CI au châssis (les 2 forages fraisés) puis en

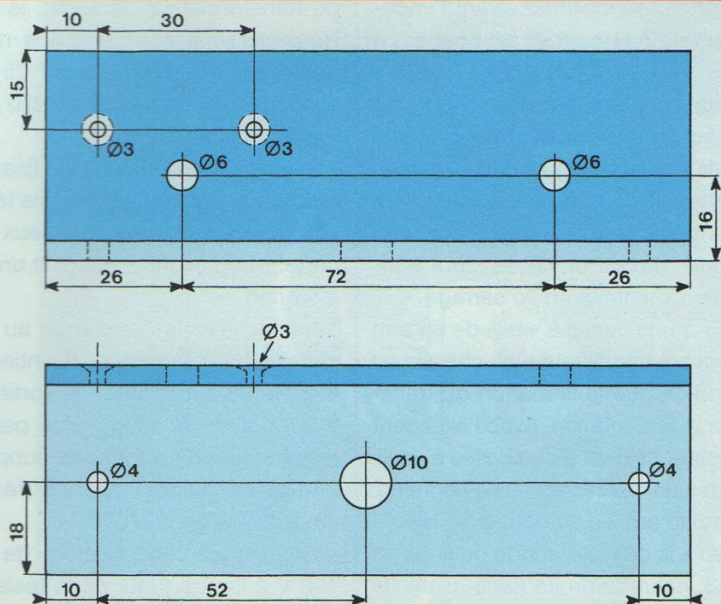


Figure 15

marquant avec un crayon à papier les autres forages à venir. Attention, les pastilles cuivrées doivent être plaquées contre le châssis.

Les différentes découpes seront facilitées si, comme nous, vous utilisez des emporte-pièces.

La préparation du châssis est toujours la partie la plus délicate à entreprendre pour la réalisation de nos amplificateurs.

L'ÉQUERRE DE DISSIPATION

Elle va servir de dissipateur aux 4 ponts «basse tension» ainsi qu'au maintien du potentiomètre de réglage de la tension négative -U_G.

La figure 15 donne les indications nécessaires pour les différents perçages de cette équerre en aluminium de 40 x 40 x 125 mm (provenance Selectronic).

Ne pas oublier de fraiser les 2 trous de Ø3 mm et de respecter la cote de 72 mm pour les forages à Ø6 mm. Cet entre-axes va permettre de plaquer l'équerre au fond du châssis en se servant des vis de maintien du transformateur d'alimentation.

Le perçage à Ø10 mm va permettre d'y introduire le canon du potentiomètre P2.

EQUIPEMENT DU CHÂSSIS

Le coffret percé suivant les indications données en figure 14 ou avec une petite variante si vous utilisez des transformateurs classiques en EI en lieu et place des nôtres, il est temps d'en entreprendre l'équipement en commençant par les borniers à l'arrière de l'appareil. Bien isoler les prises CINCH et les borniers HP (vérifier à l'ohmmètre).

Fixer ensuite les circuits imprimés de l'alimentation HT en utilisant de la visserie de 3 avec vis à tête fraisée. Intercaler entre époxy et écrou avec cosse à «œil» de Ø3 mm et une rondelle «éventail». La cosse doit être soudée à la grosse pastille (-5) du circuit imprimé. Cette opération est à répéter 4 fois. Vérifier ensuite à l'ohmmètre que ces pastilles sont bien en contact avec le châssis (court circuit 0 Ω). Mettre en place les 4 supports 4 plots des 2A3 en utilisant de la visserie de 4. Faire de même avec les 2 supports OCTAL châssis de l'étage d'entrée de la façon suivante :

- Gratter la peinture autour des forages à Ø3 mm.
- Intercaler entre le châssis et la bride de fixation du support une rondelle «éven-

tail» en respectant l'ordre : vis, rondelle «éventail», bride, cosse à «œil» de Ø3 mm, rondelle «éventail», écrou de 3. Bien serrer l'ensemble et vérifier à l'ohmmètre que les cosses à «œil» sont en contact avec le châssis et la pastille (-5) des circuits imprimés. **Cette mise à la masse est très importante.**

Passons ensuite aux pattes de fixation des modules déphaseurs. Une patte est importante, celle située entre les supports des 2A3. Gratter la peinture autour du forage de Ø3 mm.

On utilise pour ces pattes des entretoises métalliques filetées femelle / femelle M3 de 15 mm de hauteur. Lors de leurs fixations, prévoir entre le châssis et l'entretoise une rondelle «éventail».

Mettre en place les transformateurs, celui d'alimentation étant situé entre ceux de sortie.

• EQUIPEMENT DU DISSIPATEUR

Un regard sur les interconnexions de l'appareil vous renseigne tout de suite. L'équerre est située au centre de l'amplificateur, nous y remarquons :

- 2 ponts vissés au fond du châssis. Il faut utiliser des vis de 3 à tête fraisée, les têtes sont noyées dans l'épaisseur de l'aluminium.

- Le potentiomètre P2 vissé à la paroi verticale.

- Les modules de redressement / filtrage pour le chauffage en 6,3 V des triodes 6SN7 ainsi que l'obtention de la tension négative de grille -U_G. Les ponts sont plaqués contre le dissipateur par de la visserie de 4. Sur le prototype, nous avons inséré entre le CI et le pont une entretoise M4 femelle / femelle de 8 mm pour consolider l'ensemble.

Nous vous conseillons de câbler tout de suite le potentiomètre P2 aux picots du module comme indiqué en figure 11.

Pour en terminer, **relier la cosse de masse du potentiomètre à l'autre module**, piste 0 V évidemment.

On peut alors fixer l'équerre au fond du châssis en utilisant 2 des vis réservées au transformateur d'alimentation.

LES INTERCONNEXIONS

• LE TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION

Si comme nous vous avez choisi le transformateur en cuve, il y a une multitude de fils de toutes couleurs qui partent dans tous les sens. Nous allons nous en débarrasser au plus vite pour aérer le châssis. Procédez ainsi en soudant :

- le fil bleu à une cosse de la prise secteur.
- le fil rouge (ou orange suivant le secteur EDF) à une cosse de l'interrupteur M/A en utilisant l'excédent pour en repartir de l'autre cosse vers la prise secteur.
- les fils jaune/vert à une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm. Cette cosse sera bloquée au fond du châssis par une vis de fixation du transformateur. Gratter l'oxydation du châssis pour faire apparaître l'aluminium autour du forage à $\varnothing 6$ mm. Intercaler entre cosse et châssis une rondelle «éventail».
- le fil noir à une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm, cosse ensuite insérée sous la tête de l'une des vis de fixation du transformateur.
- les fils orange et jaune à un pont redresseur, pattes ~.
- les fils gris et blanc à l'autre pont redresseur, également aux pattes ~.
- les fils verts au pont redresseur du module redressement / filtrage => 6,3 V.
- les fils violets au pont redresseur du module redressement / filtrage => -UG.
- les fils jaunes aux anodes des diodes de redressement de la HT1, diodes D1 et D2 à commutation rapide de type BYW96E.
- le fil marron à une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm qui sera vissée au châssis au-dessus des condensateurs de 15 000 μ F/ 16 V.
- le fil noir (celui de forte section) idem à une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm qui sera également vissée au châssis au-dessus des autres condensateurs de 15 000 μ F/ 16 V, l'autre canal, celui de gauche. Cela fait déjà maintenant moins désordre.

• LES TRANSFORMATEURS DE SORTIE

Suivre cette procédure de câblage :

- le fil orange (ou marron suivant l'impédance choisie 4 Ω ou 8 Ω) au bornier (+) HP.

- le fil vert/jaune à une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm, cosse ensuite insérée sous une tête de vis de fixation du transformateur. Bien gratter le châssis à cet endroit et utiliser une rondelle «éventail» qui sera mise entre châssis et cosse pour s'incruster dans l'aluminium au serrage.

- le fil noir à une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm et qui sera ensuite plaquée au châssis au même endroit que le fil marron du transformateur d'alimentation. Avec l'excédent de fil, équiper celui-ci d'une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm à une extrémité, avec un même départ et une arrivée au bornier (-) HP.

- le fil bleu à la cosse d'anode du support de la 2A3, celui de droite (face avant de l'amplificateur vers soi).

- le fil violet à la cosse d'anode du support de l'autre 2A3.

Nous nous occuperons du rouge plus tard, en attendant faire strictement le même travail pour l'autre transformateur.

• L'ALIMENTATION HT

- Insérer les picots des condensateurs 470 μ F/400 V dans les pastilles des circuits imprimés puis souder. Vérifier à l'ohmmètre que les pastilles (+1) ne touchent pas le châssis, ce qui serait dramatique lors de la première mise sous tension de l'appareil.

- Souder les cathodes des diodes de commutation D1 et D2 à la pastille (+1) du circuit imprimé de gauche et ce sur le condensateur situé le plus près de la face arrière.

- De ce même endroit, souder un fil rouge qui va aller rejoindre la pastille (+1) du condensateur opposé. Sur le prototype, ce fil passe dans la gaine jaune qui maintient les 2 fils jaune/vert.

Relier deux à deux les condensateurs de 470 μ F/400 V par des résistances de 220 Ω /11 W. Nous obtenons ainsi les hautes tensions HT2.

Cette haute tension HT2 va alimenter la cellule de filtrage de l'étage de sortie, le push-pull de 2A3, soit le point milieu

du transformateur de sortie, le fil rouge. Nous utilisons par canal une résistance bobinée/châssis de 220 Ω / 25 W et un condensateur de filtrage de 220 μ F/400 V. Procéder ainsi :

- scier et limer une patte de fixation de la résistance bobinée afin que la tête de vis M5 puisse pénétrer au mieux dans la patte. Nous avons à l'origine un perçage à $\varnothing 3$ mm.

- Immobiliser la résistance au fond du châssis avec la vis qui maintient également le transformateur de sortie.

- Souder un fil rouge à la patte de la résistance située vers les supports des 2A3 et connecter l'autre extrémité à la pastille (+1) de la HT2.

- Souder un condensateur de 220 μ F/400 V à l'autre patte de la résistance, la polarité (+) évidemment, ainsi que le fil rouge du transformateur.

- Connecter la polarité (-) du condensateur, en utilisant un fil noir, au châssis de l'appareil, en équipant l'autre extrémité du fil d'une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm.

Procéder de la même façon pour l'autre canal de l'amplificateur.

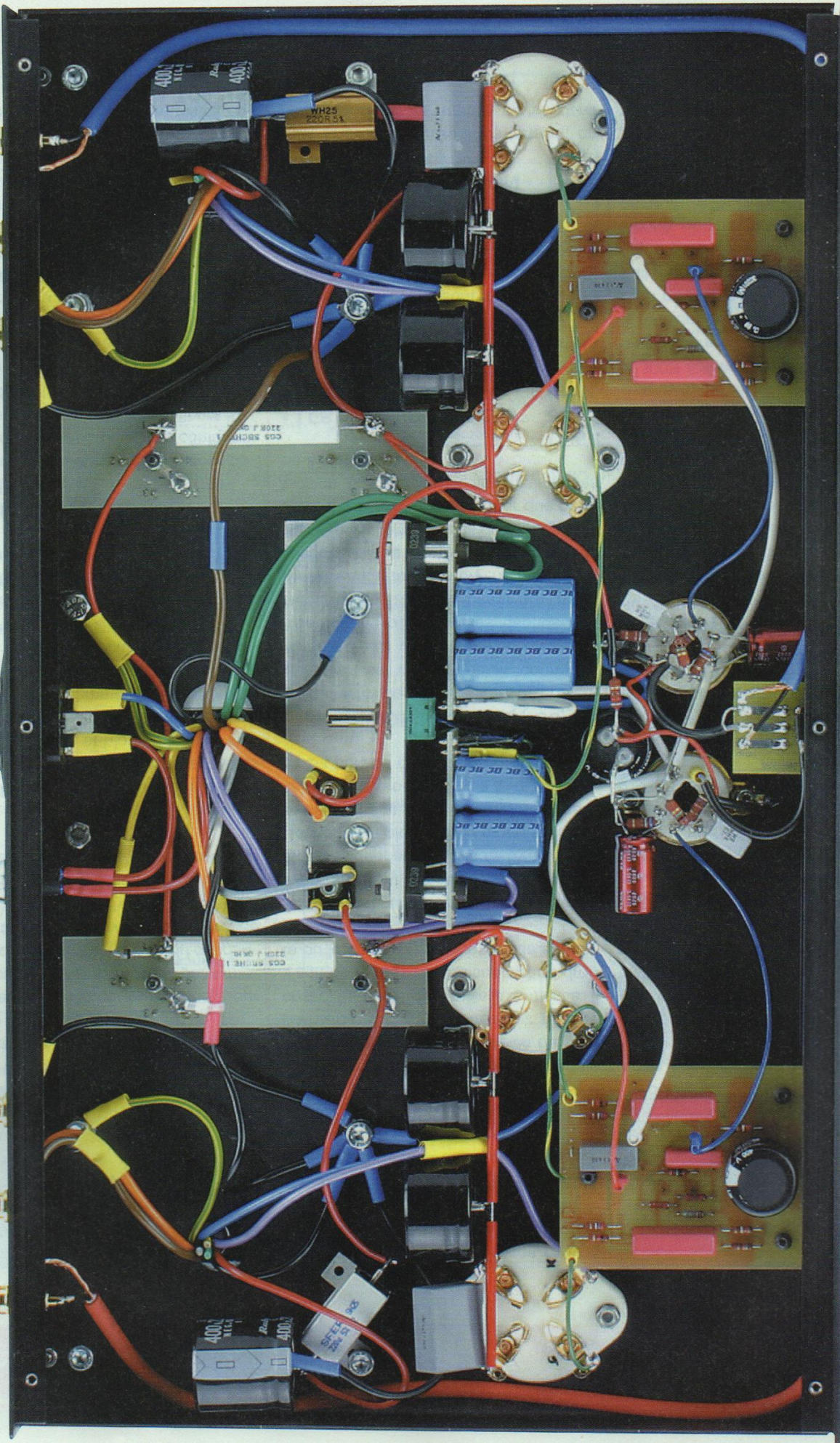
• LE CHAUFFAGE DES TRIODES 2A3

Avec du fil de cuivre étamé de 10/10° ou 12/10°, nous allons relier en parallèle les cosses des supports. On le fait sans précaution particulière pour les cosses situées «face à face».

Pour le strap des deux autres cosses, on gaine le cuivre étamé, celui qui va véhiculer le +2,5 V. Regardez bien la photo du prototype, le gainage (en rouge) se fait en 3 morceaux. Entre chaque morceau, nous allons souder les condensateurs de filtrage de 15 000 μ F, les polarités (+) évidemment. Les polarités (-) sont soudées sur le «rail» inférieur.

Entre les condensateurs, sur le rail inférieur, le 0 V, souder un fil marron (excédent du câble du transformateur d'alimentation). A l'autre extrémité y souder une cosse à «œil» de $\varnothing 5$ mm.

Nous allons établir une masse en «étoile» au châssis en utilisant la vis de fixation du



Vertical text on the left edge of the page, possibly bleed-through from the reverse side, including words like "ALWAYS", "Test", "qbe", "bire", "VADA", "31", "32", "33", "34", "35", "36", "37", "38", "39", "40", "41", "42", "43", "44", "45", "46", "47", "48", "49", "50", "51", "52", "53", "54", "55", "56", "57", "58", "59", "60", "61", "62", "63", "64", "65", "66", "67", "68", "69", "70", "71", "72", "73", "74", "75", "76", "77", "78", "79", "80", "81", "82", "83", "84", "85", "86", "87", "88", "89", "90", "91", "92", "93", "94", "95", "96", "97", "98", "99", "100".

Vertical text on the right edge of the page, possibly bleed-through from the reverse side, including words like "ALWAYS", "Test", "qbe", "bire", "VADA", "31", "32", "33", "34", "35", "36", "37", "38", "39", "40", "41", "42", "43", "44", "45", "46", "47", "48", "49", "50", "51", "52", "53", "54", "55", "56", "57", "58", "59", "60", "61", "62", "63", "64", "65", "66", "67", "68", "69", "70", "71", "72", "73", "74", "75", "76", "77", "78", "79", "80", "81", "82", "83", "84", "85", "86", "87", "88", "89", "90", "91", "92", "93", "94", "95", "96", "97", "98", "99", "100".

PUSH-PULL DE TRIODES 2A3

transformateur de sortie. La peinture bien grattée, on doit sauf erreur immobiliser en cet endroit 5 cosses à «œil» en utilisant toujours une rondelle «éventail» insérée entre châssis et cosses qui va s'incruster dans l'aluminium au blocage de la vis.

Souder aux cosses du support de droite un condensateur de 4,7 μ F/160 V.

Souder à la cosse extrême gauche un fil rouge et relier à l'autre extrémité la patte (+) d'un pont redresseur.

Effectuer les mêmes opérations pour l'autre canal de l'amplificateur, par symétrie, ce qui donne le soudage du condensateur de 4,7 μ F/160 V sur le support de gauche et le soudage du fil rouge au (+) de l'autre pont redresseur en partant de la cosse extrême droite du support de la 2A3.

• LES MODULES DÉPHASEURS

Immobiliser les deux modules sur leurs pattes de fixation et bloquer les vis, surtout celles situées vers les supports des 2A3. Vérifier à l'ohmmètre que la tête de ces vis est bien en contact avec le châssis, ce qui relie la masse générale du module au 0 V de l'alimentation HT.

Avec du fil de faible section rouge, connecter le picot HT du module à la HT2, pastille (+1).

• LE PRÉAMPLIFICATEUR / ADAPTATEUR

Les composants sont câblés autour des cosses des 2 supports OCTAL conformément au plan de câblage de la figure 5.

Le condensateur de filtrage C7 peut être collé au fond du châssis pour un meilleur maintien.

Les cosses de masse doivent impérativement être bien reliées au châssis, vérifier à l'ohmmètre.

Sur notre prototype, nous avons employé des résistances de 2 W, pour plus de rigidité mécanique, cependant des éléments de 1 W suffisent.

Les câbles blindés sont connectés au petit module «volume» conformément à la figure 13, directement côté pistes cuivrées.

Avec un fil de faible section rouge, relier la résistance R5 à la pastille (+1) de la HT2.

Avec un fil de faible section bleu, interconnecter sortie du préamplificateur T1 et entrée du déphaseur T2 (picot E).

• LE CHAUFFAGE FILAMENTS EN +6,3 V

Connecter le picot +6,3 V du module concerné à la cosse concernée du support OCTAL. Ne vous trompez pas de cosse, l'une est déjà mise à la masse. Il s'agit de la cosse (8) du support de droite ou la cosse (7) du support de gauche (voir figure 5).

Partir de chacune de ces cosses (7) et (8) avec un fil blanc pour alimenter les modules déphaseurs (picots 6V3).

Connecter le picot 0 V du module redressement/filtrage à une masse châssis, celle la plus proche. Cosse à «œil» vissée au support de droite sur le prototype.

• LA TENSION NÉGATIVE (-U_G)

Avec des fils de faible section, de couleur jaune/vert sur notre appareil, connecter le picot (-U_G) du module de redressement/filtrage aux modules déphaseurs, picots (-U_G) T3/T4. **Utiliser un picot femelle.** Cette tension négative est appliquée à la pastille (-U_G) du circuit imprimé. Nous rappelons qu'il faut strapper entre elles 3 pastilles pour que cette tension soit appliquée aux résistances de 270 k Ω (figure 7).

• LES CINCH D'ENTRÉES

Avec du câble blindé, genre GOTHAM, relier les prises RCA au module «Volume», suivant les indications portées en figure 13.

Les interconnexions sont terminées.

Avant une première mise sous tension, vérifier à l'ohmmètre toutes les «mises» à la masse châssis.

MISE SOUS TENSION

Pour la première mise sous tension, on peut introduire les triodes 6SN7 dans leurs supports.

Le seul réglage à effectuer est celui de la tension négative (-U_G) qui doit être de -62 V.

Laisser sous tension l'appareil 2 à 3 mn avant d'intervenir sur P2.

Couper l'alimentation et laisser les condensateurs se décharger.

Introduire les triodes 2A3 dans leurs supports. L'amplificateur est opérationnel.

Nous avons relevé à partir d'un secteur EDF de 232 V~ :

- HT1 : +375 V

- HT2 : +350 V

- HT3 : +325 V

- HT4 : +340 V

- Tension négative de grille : -61,1 V

- Chauffage des filaments des triodes 6SN7 : +6,24 V après avoir remplacé la résistance R6 par un strap.

- Chauffage des filaments des triodes 2A3 : +2,4 V.

A la fréquence de 1 kHz, les signaux observés aux bornes des résistances de charges de 7,9 Ω sont de : 10,40 V et 10,01 V, soit des puissances de 13,69 W et 12,68 W.

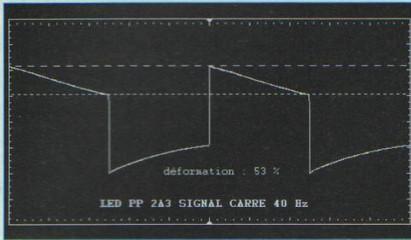
L'ÉCOUTE

Comme nous le disions en début d'article, il sort de cet amplificateur une image stéréophonique impressionnante avec une présence et une neutralité surprenantes. L'absence de contre-réaction doit y être pour beaucoup. Enormément de similitudes entre cette écoute et celle obtenue avec nos push-pull de 845. Rien à voir avec l'écoute d'une 300B. La chaleur de la 300B comme disent certains «hifistes» n'est autre en réalité qu'une «bosse» dans le médium par manque de graves.

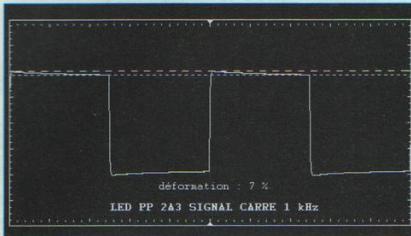
Bien que de petite puissance, ce push-pull a un tonus incroyable avec une descente dans l'extrême-grave qui impressionne, dommage que la 2A3 soit limitée en puissance (surtout en simple étage avec ses 3,5 Weff à 5 % de distorsion).

Ce push peut driver des enceintes de 92 dB de rendement dans un salon de 40 m² sans s'essouffler. Le choix est donc important pour l'acoustique.

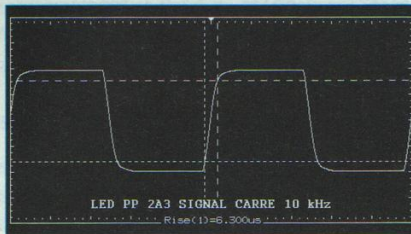
MIEUX QU'UNE 300B !



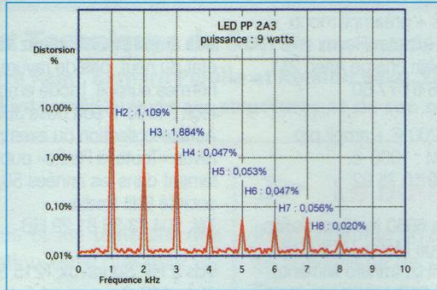
Signal carré à 40 Hz



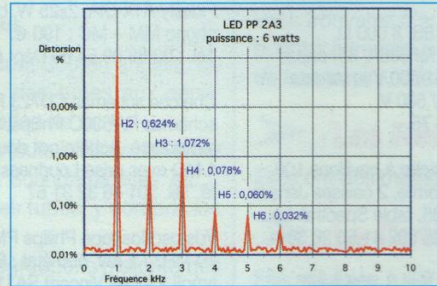
Signal carré à 1 kHz



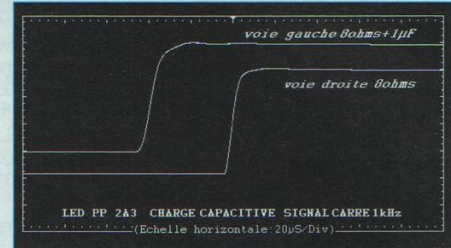
Signal carré à 10 kHz



Spectre de distorsion



Spectre de distorsion



Comportement sur charge capacitive

Puissance efficace : 11,5 W
 Distorsion harmonique totale : 5 %
 Sensibilité d'entrée : 420 mV
 Puissance impulsionnelle : 14,3 W
 (Gain de 2,8 W ou 25 %)

Distorsion par harmoniques totale

Fréquences	9 W (- 1 dB)	6 W (- 3 dB)	3 W (- 6 dB)
100 Hz	2,8 %	1,7 %	0,7 %
1 kHz	2,5 %	1,4 %	0,6 %
10 kHz	2,7 %	1,5 %	0,8 %

Aux mesures, nous remarquons un beau dégradé harmonique, régulier et une absence totale de suroscillation sur char-

ge capacitive. A 3 W, la distorsion n'est que de 0,6 % contre 5 % en simple étage. Nous avons eu raison d'écouter nos lec-

teurs, la 2A3 est une triode qui mérite d'être utilisée, elle étonne.

Bernard Duval

SERVICE CIRCUITS IMPRIMÉS

Support verre époxy FR4 16/10 - cuivre 35 µm
 Circuits professionnels Kappa Industries

	Qté	Circuits percés et étamés Prix en euro	Total
* Amplificateur MU-FOLLOWER - Polarisation du MOS - Stabilisation en température		1,60 € 1,90 €	
* Préamplificateur 6 entrées - Pré-Pré (double face) - Circuit R-L-C-		17,25 € 3,20 €	
* Push-Pull de 2A3 - Déphaseur - Filtrage HT - Alim 6,3 V et -UG		5,60 € 4,00 € 2,35 €	
* Caméra CCD - La tête CCD (CI à trous métallisés)		15,25 €	
Frais de port et emballage		1,60 €	
Total à payer			€

NOM :
 PRÉNOM :
 N° : RUE

 CODE POSTAL :
 VILLE :

Paiement par CCP par chèque bancaire par mandat

libellé à l'ordre de
EDITIONS PÉRIODES

5, boulevard Ney, 75018 Paris

Tél. : 01 44 65 88 14



L'Association Française des Arts et Techniques du Son

L'Association Française des Arts et Techniques du Son est née en 1996 sous l'impulsion de son Président Attila Balaton (l'historien de Western Electric), de Jean-Pierre Rami, Bernard Pujolle et Rinaldo Bassi. Elle réunit tous les passionnés audio, amateurs et professionnels, et les fait communiquer par l'intermédiaire de ses structures et de son organisation. Que vous offre-t-elle ?

➤ **Le Laboratoire** sur rendez-vous

Entièrement équipé pour les mesures, les réglages et les tests sur des réalisations personnelles ou des appareils d'exception, ainsi que pour les tests sur les tubes et leur appareillage.

➤ **La Bibliothèque** sur rendez-vous

Elle regroupe plus de 800 ouvrages techniques, dont 350 en anglais, de 1936 à nos jours, couvrant toute l'électronique, des tubes aux semi-conducteurs, ainsi que l'électro-acoustique et la prise de son.

En outre, vous trouverez les collections complètes de toute la Radio, la Revue du Son, TSF et TV, Radio Constructeur, Radio Plans, Sound Practices, etc... Vous trouverez aussi toutes les caractéristiques des tubes, y compris les tubes d'émission et ceux de la Western Electric.

Notre schémathèque qui grandit de jour en jour, regroupe la majorité des appareils audio d'exception.

➤ **L'Auditorium**

Entièrement équipé, il accueille les membres qui le désirent pour des tests et écoutes personnalisées de matériels anciens, d'exception, ou de réalisations personnelles.

➤ **L'Assistance Technique et le Conseil**

Nous nous déplaçons si nécessaire, afin de vous aider à optimiser votre système.

➤ **Les Manifestations exceptionnelles** avec participation aux frais

➤ **Le Bulletin Trimestriel**

Il est constitué de compilations des meilleurs articles parus dans la presse spécialisée de 1936 à nos jours sur un sujet donné.

Nous ouvrons nos colonnes à ceux de nos membres qui désirent publier leurs réalisations personnelles et originales.

Vous trouverez d'autre part un courrier des lecteurs, des informations, de bonnes adresses pour le dépannage, les pièces détachées, les matériels de laboratoire, des schémas extraits de notre schémathèque.

➤ **Les Réunions Trimestrielles**

Elles ont des thèmes précis et sont animées par nos membres d'honneur.

➤ **La Cotisation**

Elle est fixée à 75 € par an pour les membres actifs. Cependant nous souhaitons faire bénéficier les abonnés de LED d'une réduction de 25 % du prix de la cotisation, soit 55 € au lieu de 75 €.

➤ **Les bulletins de l'association ARTS**

Ils peuvent être commandés uniquement par les membres de l'association au prix de 10 € par exemplaire de 100 pages, port inclus.

1 - Les amplificateurs de puissance à tubes : 4 bulletins de 100 pages dont une schémathèque.

2 - Les préamplificateurs à tubes : 4 bulletins de 100 pages.

3 - Les enceintes acoustiques : 4 bulletins de 100 pages.

4 - Quand l'Audio rencontra l'Electronique : 9 bulletins de 100 pages (de 1937 à 1960).

5 - Au secours ! La stéréo arrive et la stéréo est arrivée ! : 3 bulletins de 100 pages (de 1958 à 1962).

Rejoignez-nous nombreux pour mettre en commun nos connaissances et notre passion.

Bulletin d'adhésion à ARTS

Nom _____ Prénom _____ Profession _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____ Téléphone _____

Je suis abonné à LED. Mon numéro d'abonnement est : _____

Je ne suis pas abonné à LED

Ci-joint chèque de 55 € libellé à l'ordre de : Association ARTS

Ci-joint chèque de 75 € libellé à l'ordre de : Association ARTS

Je suis particulièrement intéressé par :

Bulletin

Laboratoire

Bibliothèque

Auditorium

Conférences

Manifestations exceptionnelles

Assistance technique et Conseils

Vos suggestions : _____

Association Française des Arts et Techniques du Son (Association Loi 1901 déclarée à la Préfecture de Police de Paris le 17 mai 1994)
Siège Social : 9 bis rue Truffaut - 75017 Paris

Les bulletins d'adhésion, les règlements et les courriers sont à adresser à

✉ **ARTS - 48 Rue de Paris - 93230 Romainville ☎ 01 48 45 28 93**

PROMOS VALABLES JUSQU'AU 30/09/2003

Photos non contractuelles.



kit comprenant :

- Le transformateur d'alim Led 157 90,00 €
- 2 TS 3 800 Ω Led 157 207,20 €
- 8 tubes 6L6 Electro Harmonix 208,00 €
- 2 tubes EF86 45,80 €
- 2 tubes ECC83 24,40 €
- 3 capots nickelés 54,90 €
- 1 condo 2 200 μF / 450 V 53,40 €
- 8 supports OCTAL châssis 36,80 €
- 4 supports NOVAL CI 18,40 €

Frais de port 21,34 €
 Total : 760,24 €
 Cadeau sur kit - 70,24 €
Total TTC en euro 690 €

Double PUSH PULL 6L6

2 x 40 W
 Led N° 157



kit comprenant :

- Le transformateur d'alimentation 103,70 €
- 2 transfos de sortie 3 800 Ω 207,30 €
- 1 self 10 H 53,40 €
- 4 capots nickelés 73,20 €
- 4 OCTAL châssis 18,40 €
- 2 OCTAL CI 9,20 €
- 2 NOVAL CI 6,70 €
- 2 tubes EF86 45,80 €
- 2 tubes 6SN7GT 43,60 €
- 4 tubes 6550 (Electro-Harmonix) 186,80 €
- 1 condensateur 470 μF/500 V 30,00 €

Total : 778,10 €
 Frais de port 25,90 €
 Total : 804,00 €
 Cadeau sur kit - 74,00 €
Total TTC en euro 730 €

PUSH PULL de 6550

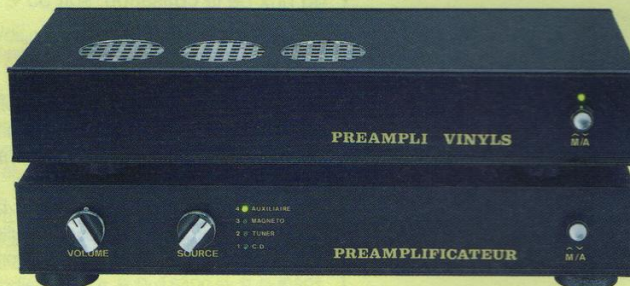
2 x 60 W
 Led N° 169

kit comprenant :

- 2 transformateurs 38,26 €
- 1 lampe ECC81 13,70 €
- 2 lampes ECC83 24,40 €
- 3 supports NOVAL CI 9,20 €

Frais de port 16,77 €
 Total : 102,33 €
 Cadeau sur kit - 12,33 €

Total TTC en euro 90 €



PRÉAMPLIS Led N°s 168 - 169



kit comprenant :

- Le transformateur d'alimentation 85,40 €
- Les deux transfos de sortie 160,00 €
- La self de 3H 44,20 €
- Les 8 tubes 6V6 (E.H.) 144,00 €
- Les 3 capots nickelés 54,90 €
- Les tubes ECC83 24,40 €
- Les supports OCTAL pour C.I. 36,80 €
- Les supports NOVAL pour C.I. 6,70 €
- Les 2 condos 470 μF / 450 V 32,00 €

Frais de port 25,91 €
 Total : 614,31 €
 Cadeau sur kit - 42,31 €
Total TTC en euro 572 €

LE QUATUOR 6V6

2 x 15 W
 Led N° 170



kit comprenant :

- 1 transfo d'alimentation Led 171 88,40 €
- 1 capot nickelé 18,30 €
- 2 transfos de sortie - 3,5 kΩ en cuve, circuit C 283,60 €
- 1 self circuit C de 3H 44,20 €
- 4 supports OCTAL châssis 18,40 €
- 2 tubes 6SN7 43,60 €
- 2 tubes 6550 (E.H.) 93,40 €
- 2 condensateurs 470 μF/500 V 60,00 €

Frais de port 25,91 €
 Total : 675,81 €
 Cadeau sur kit - 45,81 €
Total TTC 630 €

LE SINGLE 6550

2 x 10 W
 Led N° 173

ACEA LE FABRICANT QUI MET AU SERVICE DE L'AUDIOPHILE LA QUALITÉ AÉRONAUTIQUE MILITAIRE ET SPATIALE

SINGLE END QUATUOR 2 x 20 W - Led N° 175



kit comprenant :

- 1 transfo alim en tole (nu) Led 175 88,40 €
- 2 TS 1250 Ω Led 140/170/175 en tole 160,00 €
- 1 self torique 28,00 €
- 8 tubes 7189 - 8 x 22,80 182,40 €
- 2 tubes ECF82 21,40 €
- 2 condos 47 000 µF / 16 V 30,00 €
- 2 condos 470 µF / 450 V 30,00 €
- 10 supports NOVAL CI 33,50 €
- 3 capots nickelé - 3x18,30 54,90 €

Frais de port 25,91 €
 Total : 654,51 €
 Promo - 84,51 €
 Total TTC avec capots nickelés : 570,00 €
 Les 3 transfos en cuve 570 € - 54,90 € + (46x3)
 Total TTC en cuves 653,10 €

PROMOS

valables pour toute commande reçue
avant le 15/07/2003

AMPLI PUSH-PULL 2A3 2 x 12 W - Led N° 177



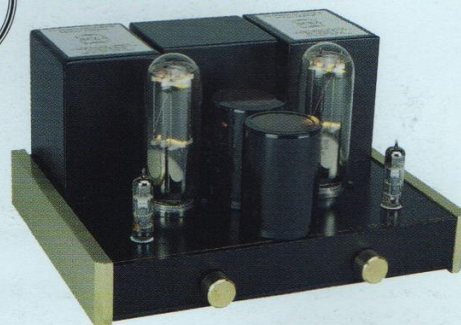
kit comprenant :

- 1 transfo alim Led 177 89,00 €
- 2 TS 3000 Ω (2 x 95) 190,00 €
- 3 capots nickelés - (3 x 18,30) 54,90 €
- 4 tubes 2A3 (4 x 52) 208,00 €
- 4 tubes 6SN7GT (4 x 21,80) 87,20 €
- 4 condos 470 µF / 450 V (4 x 16) 64,00 €
- 2 supports OCTAL châssis (2 x 4,60) 9,20 €
- 2 supports OCTAL CI (2 x 3,35) 6,70 €
- 4 supports 2A3 (4 x 9,90) 39,60 €

Frais de port 21,34 €
 Total : 769,94 €
 Promo +
 1 an d'abonnement gratuit à Led - 49,94 €
 Total TTC avec capots nickelés : 720,00 €
 Total TTC avec les 3 transfos en cuve (720 - 54,90 + 3 x 45) 803,10 €

LE TRIODE 845

Led N°s 161 - 162 - 163



kit comprenant :

- Le transformateur d'alimentation (sans le 12 V) en cuve 181,47 €
- Les transfos de sortie en cuve 518,40 €
- Les tubes 845 appairés 152,40 €
- Les supports 42,60 €
- Les tubes ECL86 35,00 €
- Les supports NOVAL pour C.I. 6,70 €
- La self de filtrage 44,20 €
- Le transfo d'alim. 2x12 V en boîte 77,75 €
- Les 2 condensateurs 2 200 µF / 450 V + les 2 condensateurs 150 000 µF / 16 V (fabrication française) 173,80 €

Frais de port 30,48 €
 Total : 1 262,80 €
 Promo - 73,80 €

Total TTC (7 799,33 F) 1 189 €

Photos non contractuelles. **IMPORTANT** : sur la commande de matériel, joindre le règlement et indiquer votre N° de téléphone.



6 rue François Verdier - 31830 PLAISANCE DU TOUCH (près de TOULOUSE)

Tél. : 05 61 07 55 77 / Fax : 05 61 86 61 89

Site : acea-fr.com / email : bernard.toniatti@acea-fr.com

TRANSFORMATEURS DE SORTIES

LED N°	Impédance Prim	Impédance Sec	Puissance	Prix TTC Euros
136-154-166	4000 Ω	4/8/16 Ω	40 W	97,60
138	5000 Ω	4/8 Ω	5 W	50,30
140-170-175	1250 Ω	8 Ω	Single 20 W	80,00
143-167	2000 Ω	4/8 Ω	100 W	103,60
146	625 Ω	4/8 Ω	Single 40 W	103,60
146-150	6600 Ω	4/8 Ω	50 W	103,60
151	9000 Ω	4/8 Ω		83,80
152	2,3/2,8/3,5 kΩ	4/8/16 Ω	30 w Circuit C en cuve	213,40
155	8000 Ω	4/8/16 Ω	20 W	94,50
157/160/169	3800 Ω	4/8/16 Ω	80 W	103,60
159-171-173	3500 Ω	4/8 Ω	15 W Circuit C en Cuve	141,80
161-162	Circuit C. Modèle en Cuve pour Single tube 845 (impéd. 4/8 Ω)			259,20
167	2000 Ω	4/8 Ω		103,60
172-173	Circuit C. Modèle en Cuve pour Push-Pull 845 (impéd. 4/8 Ω)			259,20

SELFS

LED N°	Impédance Prim	Impédance Sec	Puissance	Prix TTC Euros
146-152	EI / 10 H	53,40	161-162 Circuit C/ 7H	44,20
151-170	Circuit C / 3 H	44,20	175 Torique	28,00

LAMPES PRIX A L'UNITÉ

Pré-amplifications + Valves				Tubes de puissance			
ECC81	13,70	6SN7GT	21,80	EL84 troncal	8,40	6550 E.H.	46,70
ECC82	9,10			EL34 Tesla	24,20	7189	22,80
ECC83	12,20	EZ80	8,00	KT88 Tesla	46,70	845 Chine	76,20
ECF82	10,70	EZ81	16,60	300B Sovtek	122,00	ECL86	17,50
EF 86	22,90	GZ32	15,20	KT90	60,00	2A3 Sovtek	52,00
						EL84 E.H.	12,00

Port pour les lampes : de 1 à 4 : 7,62 € et de 5 à 10 : 9,91 €
(gratuit avec achat d'un jeu de 3 transfos).

TRANSFORMATEURS D'ALIMENTATION faible induction 1 Tesla - capoté - primaire 230 V avec écran

LED N°	Secondaires	Prix TTC Euros
136-140	2 x 225 V - 2 x 6,3 V	79,30
138	2 x 300 V - 2 x 6,3 V	64,00
142	2 x 300 V - 2 x 6,3 V tôle (PRO01)	57,20
143-145	2 x 230/240 V - 12 V	90,70
146-150	2 x 380 - 2 x 6,3 V - 5 V	90,70
147-148	PREAMPLI TUBES circuits " C "	74,70
149-158	ALIM.H.T. / Préampli tubes 2 x300 V - 2 x 6,3 V	77,80
152	Prim. 230 V - Ecran - Sec. 2 x 300 V - 2 x 6,3 V	97,60
154-159-160	Prim. 230 V - Ecran - Sec. 2 x 360 V-5 V-6,3 V	88,40
155	Prim. 230 V - Ecran - Sec. 2 x 230 V ou 2 x 330 V + 12 V	79,30
157-160	Prim. 230 V - Ecran - 380 V + 6,3 V + 4 x 3,15 V	90,00
161-162-163-172-173	Prim. 220 V / 230 V - Ecran - 2 x 330 V - 12 V - 6,3 V en cuve Prim. 230 V-Sec:2 x 12 V - Ecran : 53,36 € avec capot et 85,00 € en cuve	198,20
163	Prim. 230 V - Sec. 2 x 240 V + 12 V - Ecran (Filtre Actif)	53,40
166/170	Prim. 230 V - Ecran - Sec. 2 x 230 V + 6,3 V + 6,3 V - 4,5 A	85,40
167/169	Prim. 230 V - Ecran - Sec. 400 V + 6,3 V + 4 x 3,15 V + 75 V	103,70
171	Prim. 230 V - Ecran - 2 x 360 V - 6,3 V / 2 A + 6,3 V / 5 A	88,40
KIT LED 176 - PRE- AMPLI TRANSFO DOUBLE "C" + 1 SELF en "C" (port compris)		99,00
Noval C.I.	3,35 OCTAL C.I.	4,60
Noval Châssis	4,60 OCTAL Châssis	4,60
	4 cosses "300B"	9,90
	Jumbo (845) arg	21,30
	Boîtier 226-11	110,50
	Bride condo -> 50	1,50

CONDENSATEURS

1 500 µF / 350 V	27,40	470 µF / 450 V	16,00	150 000 µF / 16 V	33,50
2 200 µF / 450 V	53,40	470 µF / 500 V	30,00	47 000 µF / 16 V	15,00

CONDITIONS DE VENTE : France métropole : Règlement par chèque joint à la commande,
 PORT : 12,20 € le premier transfo, 4,57 € en plus par transfo supplémentaire,
 Minimum de facturation TTC : 50 € (port non compris). Si inférieure, frais de traitement 6,40 € en sus.



79, rue d'Amsterdam
75008 Paris
Tél. : 01 48 78 03 61
Fax : 01 40 23 95 66

**Réparation Haut Parleur
et vente de pièces détachées d'origines :**
TAD - RADIAN - JBL - FOSTEX - SELENIUM -
B&C - SOLTON - ALTEC - TRIANGLE - FOCAL
L'ensemble de ces produits est disponible en neuf
ainsi que leurs accessoires et leurs complémentaires,
permettant d'élaborer des systèmes audio



COMPRESSION HAUT DE GAMME



Ces compressions sont équipées de diaphragmes en alliage d'aluminium spécial et de suspensions en mylar, ce qui donne à ces drivers une linéarité surprenante et un rendement élevé du fait de la légèreté de l'équipage mobile. Ces composants sont disponibles en 8 et 16 Ω.

Compressions drivers

450 PB : 1 pouce	25 W	800 Hz à 20 kHz	105 dB	176 € .ttc
465 PB : 1 pouce	40 W	800 Hz à 20 kHz	107 dB	235 € .ttc
475 PB : 1 pouce	50 W	800 Hz à 21 kHz	109 dB	275 € .ttc
636 PB : 1,4 pouce	50 W	500 Hz à 20 kHz	110 dB	295 € .ttc
745 PB : 1,4 pouce	65 W	500 Hz à 20 kHz	111 dB	390 € .ttc
835 PB : 1,4 pouce	75 W	500 Hz à 20 kHz	113 dB	530 € .ttc
651 PB : 2 pouces	50 W	500 Hz à 20 kHz	110 dB	295 € .ttc
760 PB : 2 pouces	60 W	500 Hz à 20 kHz	111 dB	390 € .ttc
850 PB : 2 pouces	75 W	500 Hz à 20 kHz	113 dB	530 € .ttc
950 PB : 2 pouces	100 W	500 Hz à 20 kHz	111 dB Neodin	850 € .ttc

bobine 4 pouces.



Pour tout achat d'un système ou d'un ensemble de composants d'une réalisation, CICE vous offre un abonnement à Led

Haut-parleurs

2208B : 8 pouces	200 W	58 Hz à 4,5 kHz	95 dB à 100 Hz	182 € .ttc
2212B : 12 pouces	300 W	52 Hz à 3,5 kHz	93 dB	242 € .ttc
2312 : 12 pouces	400 W	48 Hz à 3,5 kHz	96 dB	389 € .ttc
2215B : 15 pouces	500 W	45 Hz à 2,5 kHz	97 dB	390 € .ttc
2216 : 15 pouces	600 W	45 Hz à 3,5 kHz	96 dB	400 € .ttc
2218 : 18 pouces	600 W	26 Hz à 280 Hz	95 dB	455 € .ttc

Haut-parleurs coaxiaux

365 : 6,5 pouces	75 W	60 Hz à 18 kHz	92 dB	100 € .ttc
365 T : 6,5 pouces	75 W	60 Hz à 18 kHz, ligne 100 V	92 dB	143 € .ttc
508/2B : 8 pouces	200 W	55 Hz à 20 kHz HF 1P	95 dB	340 € .ttc
5208 B : 8 pouces	200 W	55 Hz à 20 kHz HF 1P	96 dB	322 € .ttc
5212 B : 12 pouces	300 W	55 Hz à 20 kHz HF 1P	94 dB	415 € .ttc
5312 : 12 pouces	500 W	60 Hz à 20 kHz HF 2P	96 dB	698 € .ttc
5215 B : 15 pouces	500 W	45 Hz à 20 kHz HF 2P	97 dB	803 € .ttc

SYSTÈMES HAUT RENDEMENT en démonstration permanente.
Équipement : RADIAN / TAD / ELECTRO VOICE et production
CICE Industrie, Haut Parleur et compressions.
Réalisation : en 2, 3, et 4 Voies : Actif ou Passif.
Pavillons : Bois ou Métal.
Amplification : à Transistors ELECTRO VOICE /
DYNACORD ou Tubes, VERDIER ou Réalisation LED.
Nos Kits sont fournis avec plan complet, et conseils de
réalisation pour petits et gros systèmes.



HAUT PARLEUR RADIAN.

Toute la nouvelle gamme en présentation et développement des systèmes coaxiaux de tous diamètres.



Pavillon bois massif



2208B

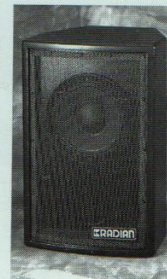


950PB



2216

Enceintes finies
RADIAN de
type RCX utilisant
les Coaxiaux, et une
gamme très complète
de composants acoustiques
vous permettant de réaliser toute
configuration HiFi et Home Cinéma.



Sortez des sentiers battus et ne vous laissez plus abuser par des légendes obsolètes qui n'ont plus lieu d'être, souvent de fabrication douteuse, et n'hésitez pas à découvrir des produits modernes qui bénéficient des dernières technologies que vous utilisez dans la vie de tous les jours.

**RÉPARATION ENCEINTES
HIFI ET PROFESSIONNELLES
RECONDITIONNEMENT ET RÉFECTION**

**OPTIMISATION DES SYSTEMES ACOUSTIQUES
SONORISATION
INSTRUMENTATION - HIFI**



Coaxiaux

SYSTEME d'amplification et de filtrage numérique **DYNACORD**

Station technique : Electro Voice - RADIAN - JBL - Reconditionnement et optimisation de tous systèmes.
Distributeur officiel : DYNACORD - Haut Parleurs Electro Voice - Composants et enceintes RADIAN.