

ELECTRONIQUE PRATIQUE

HORS-SÉRIE N°4 ■ www.electroniquepratique.com ■ 5,00 €

HORS-SERIE AUDIO

À RÉALISER SOI-MÊME

Single End

Pentodes 813

2 x 40 Weff

Push-Pull

hybride EL84

2 x 10 Weff

**Caisson grave
de 120 litres**



Préamplificateur tous transistors

L 14562 - 4 H - F : 5,00 € - RD



France Métropolitaine : 5,00 € • DOM Avion : 6,40 € • DOM Surface : 5,80 € • TOM : 800 XPF
Belgique : 5,50 € • Espagne/Grèce/Port cont. : 5,60 € • Suisse : 10,00 CHF • Maroc : 60 MAD • Tunisie : 5200 TND • Canada : 7,50 CAD

Initiation

4 Phase & Déphasage : question de bon sens

Ne pas se préoccuper de la bonne mise en phase des éléments se solde presque toujours par une véritable « catastrophe sonore ». D'où l'importance de ne pas négliger la notion de « respect de la phase ».

A réaliser vous-même

10 Préamplificateur faible bruit

De réalisation simple, performant, peu onéreux et doté exclusivement de transistors courants, ce préamplificateur avec correcteur de tonalité ne pourra que vous donner satisfaction.

21 Ampli Single end de 813 - 2 x 40 Weff

Autrefois courant en radio, le tube 813 est peu utilisé en audio-fréquence. À tort si l'on en juge par la musicalité obtenue avec le présent amplificateur de type « single end ».

34 Ampli hybride 2 x 10 Weff à 2 x 15 Weff

La conception de cet amplificateur baptisé « Watson » répond à un seul objectif : obtenir un bon rapport simplicité/qualité d'écoute.

42 Caisson de grave...

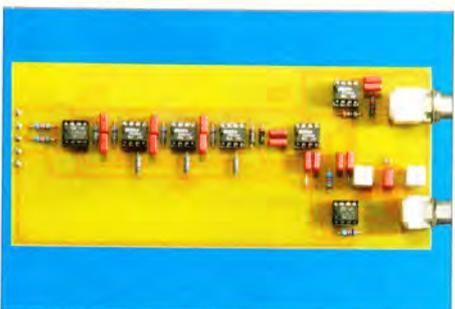
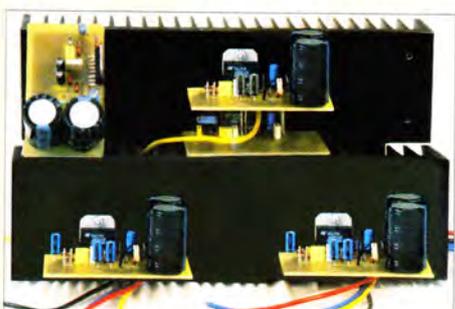
Si vous disposez de petites enceintes, vous avez besoin d'un « caisson de grave ». Pas pour faire du « boum boum », mais pour prolonger le bas du spectre de façon sensible. Celui-ci est peu encombrant mais non miniaturisé à l'extrême.

54 Modules amplificateurs « audio » 2 x 65 Weff/8 Ω & 200 Weff/8 Ω

Ce projet constitue un bon complément au caisson d'extrême grave et au filtre traités dans ce numéro. Il met en œuvre des circuits intégrés de puissance TDA7294 réputés pour leur robustesse, leur fiabilité et leurs qualités d'écoute en haute-fidélité.

60 Filtre actif pour caisson d'extrême grave

Le caisson de « basses » entend répondre à l'incapacité de bien des enceintes de pouvoir descendre en dessous de 60 Hz. Notre objectif : combler la bande des fréquences de 20 Hz - 120 Hz.



Fondateur : Jean-Pierre Ventillard - **TRANSOCEANIC SAS** au capital de 574 000 € -

3, boulevard Ney, 75018 Paris Tél. : 01 44 65 80 80 - Fax : 01 44 65 80 90 - Internet : <http://www.electroniquepratique.com>

Président : Patrick Vercher - Directeur de la publication et de la rédaction : Patrick Vercher - Secrétaire de rédaction : Elsa Sepulveda

Photos : Isabelle Garrigou - Avec la participation de : R. Arbellot, B. Duval, R. Cariou, E. Lémery, J. Vallienne,

La Rédaction d'Electronique Pratique décline toute responsabilité quant aux opinions formulées dans les articles, celles-ci n'engageant que leurs auteurs.

DIFFUSION/VENTES : ALIX CONSEIL PRESSE Tél. : 01 64 66 16 39 - PUBLICITÉ : À la revue, e-mail : pubep@fr.oleane.com

ISSN 1961-0270 - N° Commission paritaire : 0909 T 85322 - Distribution : MLP - Imprimé en France/Printed in France

Imprimerie : ROTO AISNE Sté Nouvelle, 02430 GAUCHY - DEPOT LEGAL : DÉCEMBRE 2008 - Copyright © 2008 - TRANSOCEANIC

ABONNEMENTS : 18-24, quai de la Marne - 75164 Paris Cedex 19 - Tél. : 01 44 84 85 16 - Fax : 01 42 00 56 92. - Préciser sur l'enveloppe « Service Abonnements »

ATTENTION ! Si vous êtes déjà abonné, vous faciliterez notre tâche en joignant à votre règlement soit l'une de vos dernières bandes-adresses, soit le relevé des indications qui y figurent.

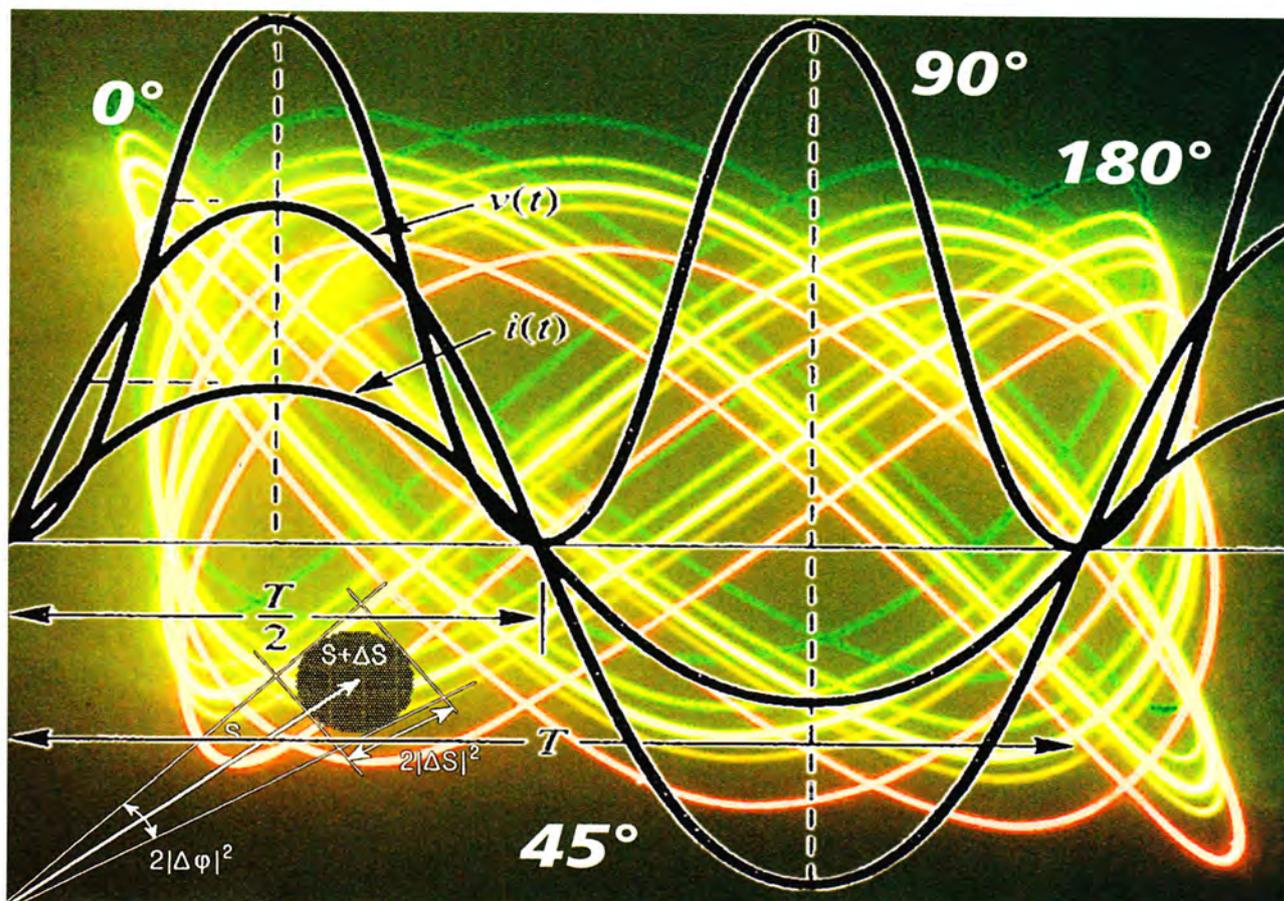
Abonnements USA - Canada : Contacter Express Mag - www.expressmag.com - expsmag@expressmag.com - Tarif abonnement USA-Canada : 60 €

TARIFS AU NUMÉRO : France Métropolitaine : 5,00 € • DOM Avion : 6,40 € • DOM Surface : 5,80 € • TOM : 800 XPF • Portugal continent : 5,60 €

Belgique : 5,50 € • Espagne : 5,60 € • Grèce 5,60 € • Suisse : 10,00 CHF • Maroc : 60 MAD • Tunisie : 5200 TND • Canada : 7,50 CAD

Phase & Déphasage

Question de « bon sens »

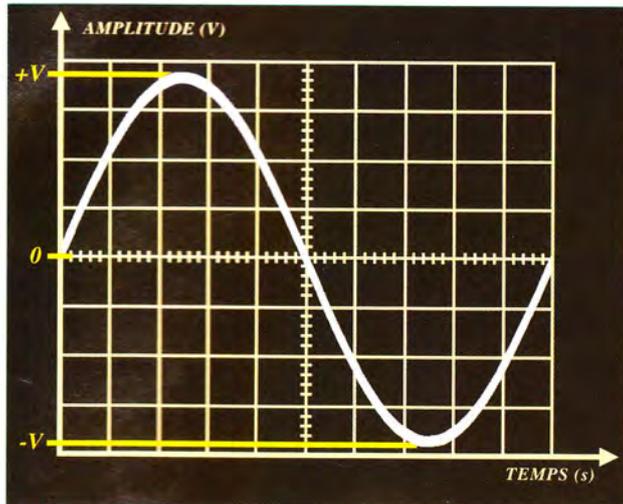


De la dynamique utile, réclamant un faible bruit de fond, à l'importance de « dépolluer » la ligne secteur 220 V, le mélomane, pour optimiser son système, peut intervenir dans de nombreux domaines, sans avoir à remplacer le moindre maillon.

Au cours de nos visites d'installations audio, tant chez des particuliers que des professionnels, nous avons constaté que la notion de « respect de la phase » était assez souvent négligée.

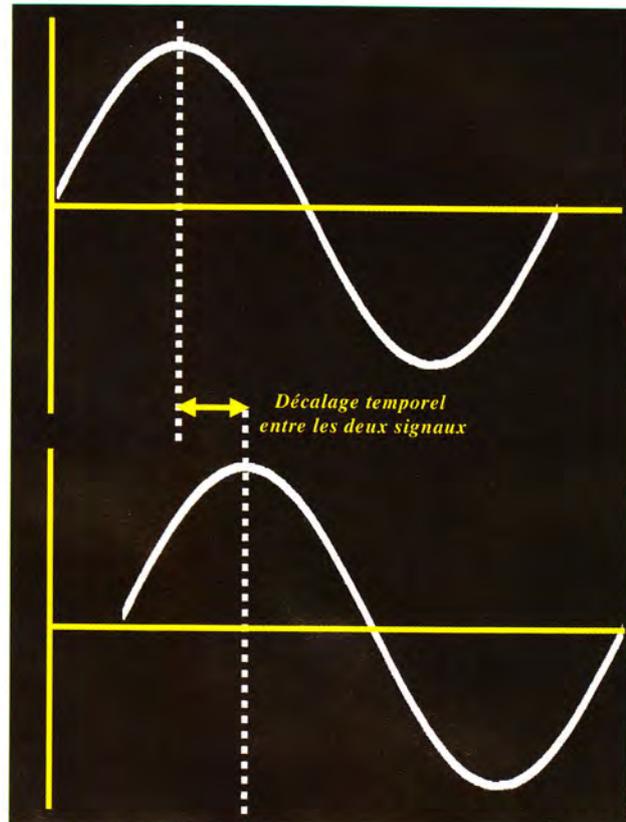
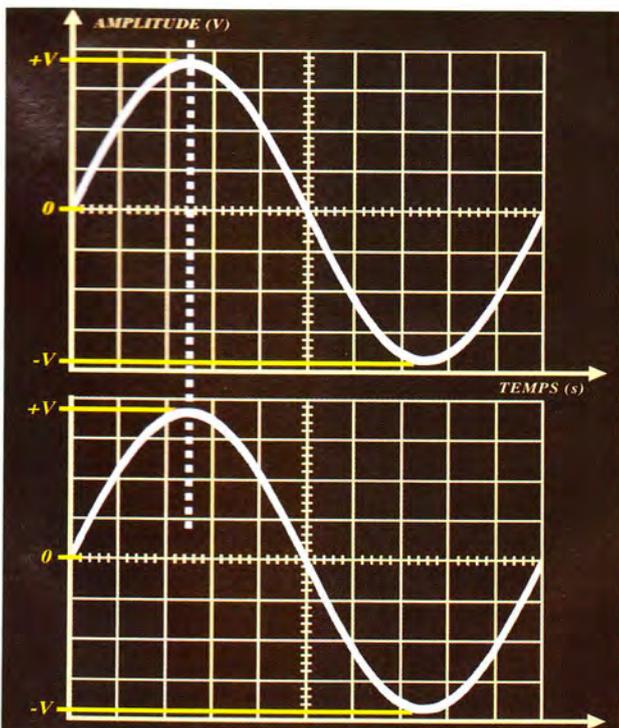
Que ce soit au niveau des enceintes ou des cordons secteur branchés dans « n'importe quel sens », ne pas se préoccuper de la bonne mise en phase des éléments se solde presque toujours par une véritable « catastrophe sonore ». On peut isoler la pièce, installer des « pièges à ondes » pour absorber les toniques, changer tous les câbles de la chaîne... Si, au final, les deux enceintes son branchées en opposition de phase l'une par rapport à l'autre, le son sera toujours déplorable, sans relief, « sans goût ni saveur »...

Soit un signal électrique « simple », représentant une fréquence pure (comme celle émise par un diapason). Son observation à l'oscilloscope fait apparaître une sinusoïde pure. Sur notre oscilloscope, l'axe vertical (ordonnées) correspond au niveau, en volts, et l'axe horizontal (abscisses) correspond au temps. La sinusoïde représente l'évolution de l'amplitude du signal dans le temps. On constate que ce signal « passe » progressivement, de façon régulière et répétée par un maximum (« + V »), par « 0 V » et par un minimum (« - V »).



La sinusoïde représente l'évolution de l'amplitude du signal dans le temps.

Observons à présent deux signaux purs, de même fréquence, de même amplitude et parfaitement « synchronisés » dans le temps. Ces deux signaux passent en même temps par le maximum, le zéro et le minimum. Ils sont parfaitement « superposables » : on dit qu'ils sont « en phase ».



Déphasage

Les deux signaux ne sont plus en phase. Ils sont décalés dans le temps l'un par rapport à l'autre. Le signal du haut est en avance, il passe par son niveau maximum, par le zéro et par le niveau minimum avant le signal du bas.

La notion de phase est directement liée à la notion de temps. Un bon « alignement en phase » correspond à un bon « alignement temporel » (les signaux passent exactement en même temps par les points +V, 0 et -V).

Observons, à présent, deux signaux légèrement décalés dans le temps, l'un par rapport à l'autre. On dit que **ces signaux sont « déphasés »** (ou en déphasage l'un par rapport à l'autre).

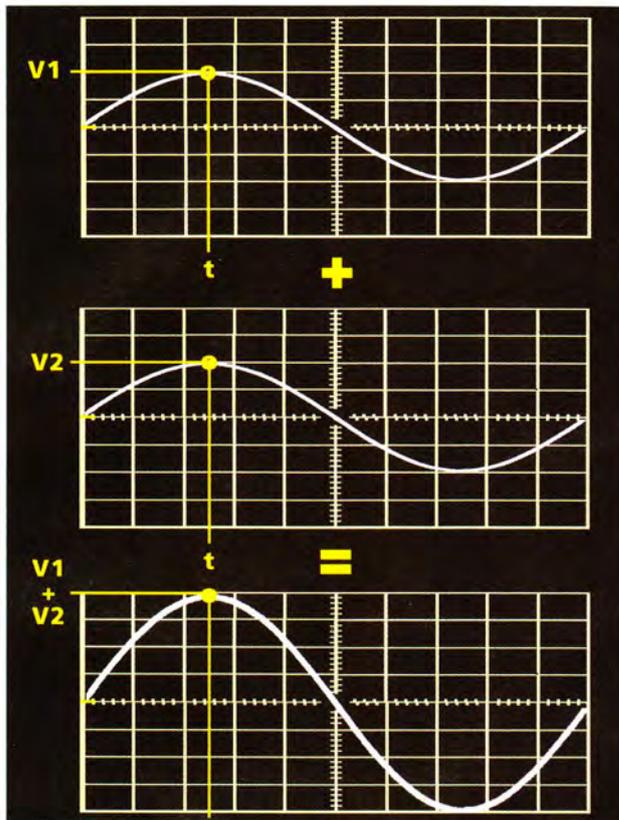
Somme de deux signaux

Afin de bien comprendre les répercussions d'un déphasage sur le son d'un système audio, il est intéressant d'étudier comment s'effectue, en pratique, la somme de deux signaux en phase, puis déphasés l'un par rapport à l'autre.

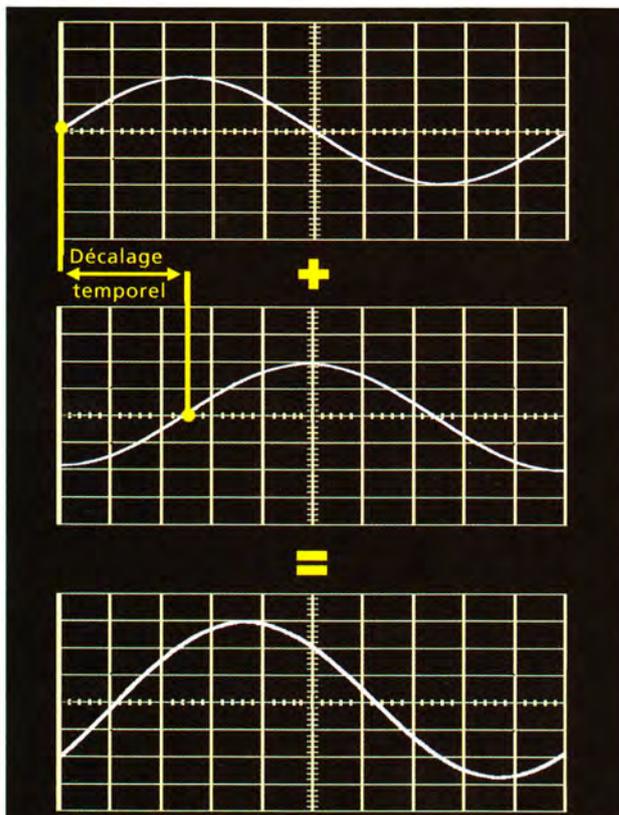
Nous utilisons principalement des signaux simples, de même fréquence, de même amplitude que nous représentons par des sinusoïdes.

On retiendra que **les signaux plus complexes, comme le son, réagissent de la même manière que des sons simples lorsqu'on intervient sur la phase.**

En effet, un son peut se décomposer en une série de signaux simples : la fondamentale et les harmoniques (voir notre article « Fondamentale et Harmoniques : la structure d'un son », paru dans le Hors-série n°2).



Somme de deux signaux identiques et en phase. Pour obtenir la courbe du bas, on additionne les tensions V_1 et V_2 à chaque instant « t »;



Somme de deux signaux identiques mais déphasés.

Pour effectuer la somme des signaux et obtenir la courbe résultante, on additionne tout simplement les valeurs des tensions de chacune des deux courbes du haut.

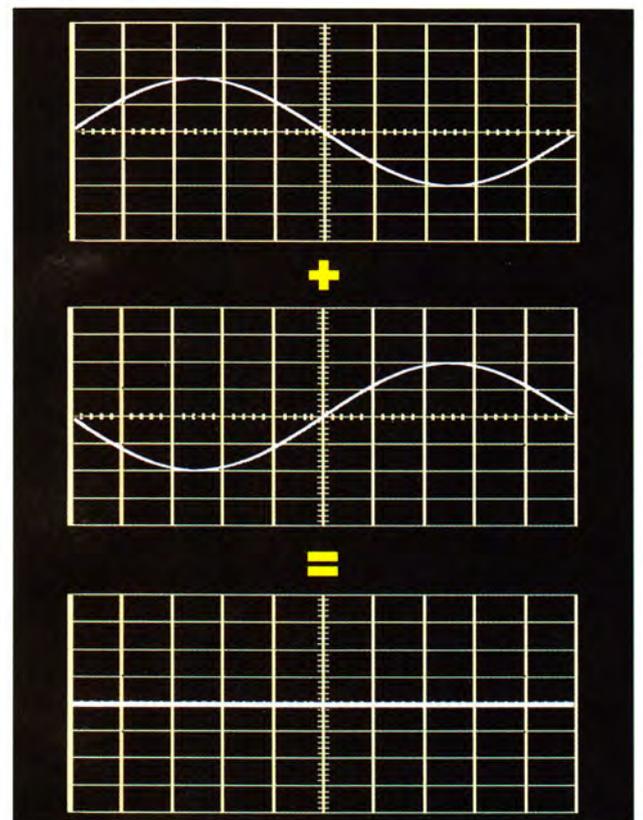
Dans le premier exemple, les signaux sont en phase (ils sont également de même fréquence et de même amplitude). **La somme de ces deux signaux donne un signal de même fréquence, en phase avec les deux autres, mais d'une amplitude double.** Tout est simple et évident...

Dans le deuxième exemple, les signaux ne sont plus en phase. Les courbes, dont on effectue la somme, ont subi un décalage temporel (nous avons représenté un décalage correspondant à un quart de la période du signal). Le résultat de la sommation des deux signaux est un signal de fréquence identique.

Son amplitude est supérieure à celle des deux autres signaux, mais elle n'atteint pas le niveau que l'on avait obtenu avec deux courbes parfaitement en phase. Ce signal résultant de la somme n'est en phase avec aucun des deux autres.

En fait, son décalage temporel est exactement la moitié de celui qui sépare les deux courbes additionnées (il est en retard par rapport au premier signal, mais en avance par rapport au deuxième).

Il existe un cas particulier que l'on rencontre lorsque deux signaux sont en opposition de phase. Cette opposition de phase (ou phase inversée) correspond à un écart temporel d'une demi-période...



Somme de deux signaux en opposition de phase. L'écart temporel entre les deux signaux du haut est égal à la moitié de la période. Le résultat obtenu est un zéro permanent. A chaque instant « t », les valeurs des tensions des deux signaux s'annulent...

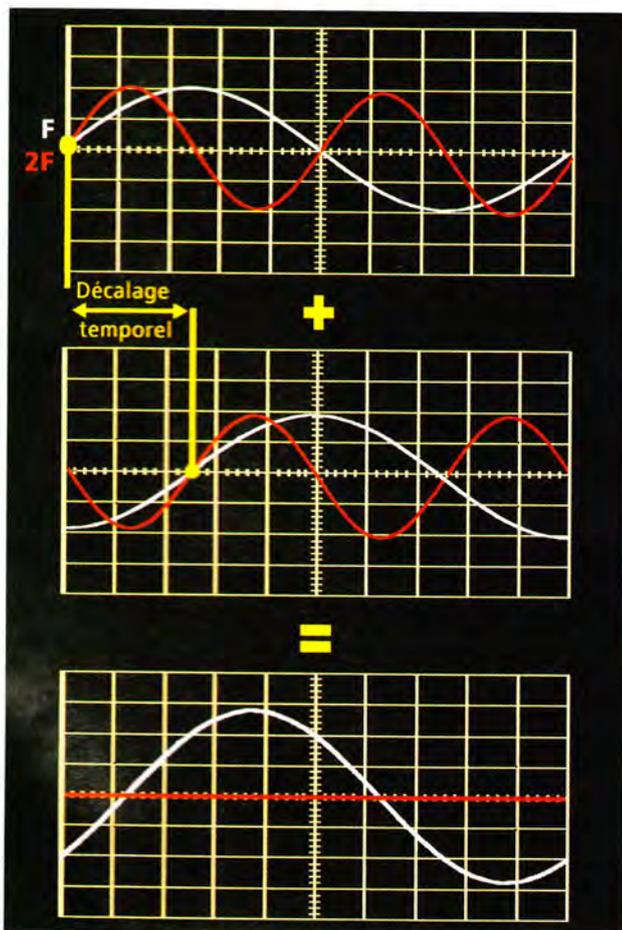
Nous venons d'étudier des signaux simples, des fréquences pures. Mais que se passe-t-il lorsque les signaux se « compliquent », comme cela est le cas dans le domaine du son ?

Un son est composé d'une fondamentale et d'un cortège d'harmoniques.

Ces fréquences harmoniques sont des multiples de la fondamentale.

Reprenons notre schéma illustrant la somme effectuée sur deux signaux déphasés (mais pas en opposition de phase).

Sur ce schéma, superposons à chaque courbe blanche (fréquence F) une courbe rouge représentant un signal d'une fréquence double ($2F$), puis effectuons la sommation de ces couples de signaux après un déphasage d'un quart de période (pour la courbe blanche).



Somme de deux signaux « complexes » composés chacun de deux fréquences. Le décalage temporel entre les signaux équivaut à un quart de période pour la fréquence « F » en gris. Par contre, la fréquence rouge « $2F$ » est deux fois plus élevée que la grise. Ce décalage temporel équivaut, pour elle, à une demi-période. En effectuant la somme, on obtient le même résultat qu'à la page précédente pour la courbe grise. Par contre, pour la courbe rouge, les signaux sont en opposition de phase, les tensions s'annulent. Au final, la courbe rouge a disparu...

Enceintes acoustiques et déphasage

En observant le phénomène que nous venons de décrire, on imagine aisément ce qu'un tel déphasage peut produire sur une fréquence fondamentale accompagnée de son harmonique 2 ! On imagine également très bien ce qui peut arriver à un son composé d'une fondamentale et de tout un cortège d'harmoniques... Le timbre est totalement déstructuré, certains harmoniques disparaissent, d'autres sont modifiés dans leur amplitude, etc. Or, il ne faut pas oublier qu'un système audio stéréophonique est constitué de deux canaux, gauche et droit.

En « bout de chaîne », les enceintes acoustiques restituent chacune le signal du canal qui lui est attribué. La pression acoustique résultante (celle que l'on perçoit sous forme de son) n'est autre que la « somme » des pressions acoustiques générées par chaque enceinte. En d'autres termes, le son que l'on écoute est la somme des signaux présents sur les canaux gauche et droit.

Certains sons que l'on écoute ne bénéficient volontairement d'aucun « effet spatial » ou stéréophonique. C'est le cas, par exemple, lorsqu'une voix ou le son d'un instrument est parfaitement centré sur la scène sonore (donc entre les enceintes).

Pour ces sons « monophoniques », les canaux gauche et droit véhiculent des signaux strictement identiques en termes de fréquences et d'amplitudes. On conçoit donc aisément que les signaux perçus par l'auditeur sous forme de pression acoustique doivent être parfaitement en phase. Dans le cas contraire, les timbres risquent d'être dénaturés, le son ne se positionne pas au centre de la scène et, dans la pire des situations, ces signaux « monophoniques » risquent de disparaître si les enceintes sont reliées à l'amplificateur en opposition de phase, l'une par rapport à l'autre.

Les pièges à éviter...

Dans une installation hi-fi, l'une des premières choses à vérifier est le branchement correct des enceintes acoustiques à l'amplificateur.

Les bornes rouges (ou « + ») des enceintes doivent être reliées aux bornes rouges de l'amplificateur et les bornes noires (ou « - ») doivent être, elles aussi, reliées entre elles. Bien souvent, les câbles sont mal repérés, ils suivent un trajet compliqué, en passant derrière les meubles.

Au final, on ne sait plus très bien quel conducteur doit être relié à la borne rouge de l'enceinte...

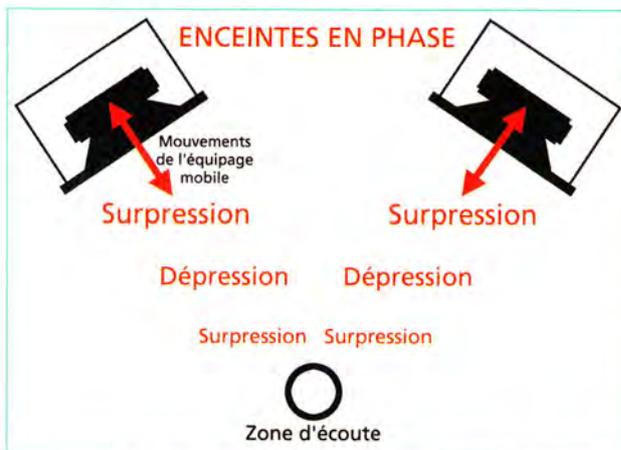
Dans une telle situation, les enceintes risquent fort d'être branchées en opposition de phase l'une par rapport à l'autre ce qui serait désastreux (nous en sommes à présent tous convaincus).

A ce propos, nous tenons particulièrement à signaler, au passage, avoir rencontré certains « soit-disant » connaisseurs prétendre que la phase entre les enceintes n'avait que peu d'importance, puisque la musique est composée de signaux alternatifs (nous l'avons entendu plus d'une fois). Bien entendu, cette affirmation est totalement fautive ! Depuis le début de cet article, nous ne parlons que de

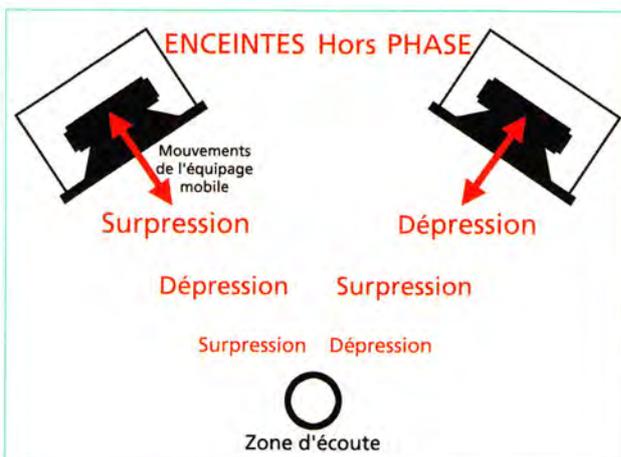
signaux sinusoïdaux, de fréquences, etc., ce qui implique, par définition, que nous avons bel et bien étudié les méfaits d'un déphasage sur des signaux alternatifs...

L'une des erreurs les plus fréquentes est le branchement des enceintes en opposition de phase l'une par rapport à l'autre. Avec un peu d'entraînement, on peut déceler le problème assez rapidement, à l'écoute. Le son est plat, sans relief, avec un manque « cruel » d'informations au centre de la scène sonore (entre les enceintes) et le grave est pratiquement absent.

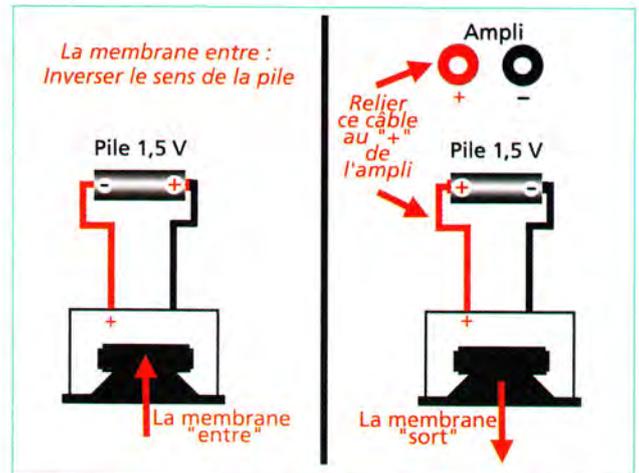
Les haut-parleurs se déplacent « d'avant en arrière » de façon permanente (signaux alternatifs). Ils créent une alternance de surpressions et de dépressions de l'air devant les enceintes. Le phénomène se propage dans l'air, à la vitesse du son (environ 330 m/s), atteint les oreilles de l'auditeur, puis continue son évolution tant qu'il lui reste suffisamment d'énergie. Lorsque le branchement est effectué en opposition de phase, l'une des enceintes crée une surpression, tandis que l'autre crée, en même temps, une dépression d'air. Les deux phénomènes s'opposent l'un à l'autre, surtout si l'on écoute un son dénué d'effet stéréophonique (voir plus haut « Enceintes acoustiques et déphasage »).



Enceintes en phase : les surpressions et dépressions créées par les haut-parleurs s'effectuent en même temps. Pression acoustique optimale dans la zone d'écoute.



Enceintes hors phase. Surpressions et dépressions simultanées : pas de pression acoustique dans la zone d'écoute pour certains signaux (signaux "mono").



Le « bon vieux truc » de la pile... Lorsque le « + » de la pile est relié au « + » de l'enceinte, la membrane du haut-parleur se déplace vers l'extérieur du coffret. Le câble relié au « + » de la pile devra donc être branché sur le « + » de l'amplificateur.

Contrôle et remède...

Lorsque le câble d'enceinte n'est pas repéré (marques sur l'un des conducteurs), on peut vérifier le bon branchement du système à l'aide d'une pile de 1,5 V. On laisse le câble connecté à l'enceinte dont on retire le cache (contre-façade). On déconnecte le câble, du côté de l'amplificateur et l'on relie les deux conducteurs aux bornes de la pile.

En même temps, on observe les mouvements de la membrane du haut-parleur de grave qui semble vouloir, selon le cas, entrer dans l'enceinte ou sortir de celle-ci. Si la membrane « sort », le « + » de la pile est relié au conducteur qui doit être branché sur la borne rouge (« + ») de l'amplificateur. Si la membrane « entre » dans l'enceinte, inverser les bornes de la pile et reprendre l'expérience. Effectuer ensuite le même contrôle sur la deuxième enceinte...

Ce contrôle avec une pile est simple et rapide à effectuer. Nous ne saurions que trop conseiller de le faire systématiquement, même lorsque les câbles sont repérés et que l'installation semble bien fonctionner.

Dans l'enceinte elle-même, le filtre répartiteur génère des déphasages entre les signaux qui attaquent les différents haut-parleurs. Ces déphasages sont maîtrisés par les constructeurs qui les prennent en compte en calculant le filtre. Il peut être risqué d'utiliser des enceintes acoustiques en mode bi-amplifié ou, plus simplement, bi-câblé, si l'on ne prend pas certaines précautions. Deux amplificateurs différents peuvent générer des signaux décalés dans le temps ce qui, au niveau de chaque enceinte, provoque un déphasage entre la section grave et la section médium-aiguë. De même, un câble d'enceinte se comporte comme un filtre et peut générer des déphasages.

En conclusion, il convient de toujours utiliser les mêmes amplificateurs et les mêmes câbles pour toutes les sections de l'enceinte utilisée en multi-câblage ou en multi-amplification. Cette précaution évite bien des mauvaises surprises.

J. VALLIENNE

Préamplificateur faible avec correcteur de tonalité



De réalisation simple, performant, peu onéreux et doté exclusivement de transistors courants, ce préamplificateur ne pourra que vous donner satisfaction. Il pilotera à merveille l'amplificateur pure classe A proposé dans le hors-série n°3 d'*Électronique Pratique*, mais aussi tout autre amplificateur de votre choix.

Un préamplificateur hifi se compose toujours des mêmes étages plus ou moins sophistiqués mis bout à bout. Le synoptique de la figure 1 permet d'en rappeler la constitution :

- le préamplificateur correcteur RIAA
- le correcteur de tonalité
- l'amplificateur/adaptateur d'impédance

Étude des schémas utilisés

Le préamplificateur RIAA

C'est l'étage qui demande le plus de soins. En grande partie, c'est de lui que dépendent les performances finales de l'appareil : souffle, ronflements, détection des ondes radios. Il est le coupable de tous ces bruits indésirables dans les enceintes.

Ce premier étage, plus ou moins sophistiqué, peut être composé de deux, trois, quatre transistors, voire davantage.

Ici, deux transistors « faible bruit » T1 et T2, de type BC651, font parfaitement l'affaire, ce qu'indique le schéma de la figure 2.

Le tandem T1-T2 n'a pas la tâche facile. Il doit amplifier très fortement les quelques millivolts délivrés par la cellule (2 mV à 3 mV pour une bonne cellule), tout en corrigeant la courbe de réponse qui doit suivre le plus fidèlement possible la courbe RIAA théorique.

Cette courbe théorique, vous la trouverez en figure 3. Les fréquences d'interventions se situent à 50 Hz, 500 Hz et 2120 Hz.

La figure 4 donne les indications sur la réponse du standard RIAA. La fréquence de référence se situe à 1 kHz. Ces indications vous permettront de comparer les résultats obtenus avec votre maquette si vous effectuez des essais approfondis (tracé de la courbe de réponse de cet étage correcteur à cellules R/C).

À 20 Hz, le signal de référence voit son amplitude croître de +19,3 dB.

À 20 kHz, c'est l'inverse, on doit constater un affaiblissement de celui-ci de -19,6 dB.

Revenons au schéma théorique de la figure 2.

Nous voyons que l'entrée est chargée par une résistance R1 de 47 kΩ, c'est en général l'impédance recommandée pour la plupart des cellules magnétiques.

Les 2 mV à 3 mV fournis par la cellule

le sont appliqués à la base de T1 par un condensateur de 22 μF.

Ce transistor doit être un très faible bruit et il faut « ajuster » au mieux son fonctionnement.

La tension collecteur-émetteur joue un rôle dans le facteur de bruit du transistor, mais moins important que le courant collecteur.

On a intérêt à réduire cette tension. C'est pourquoi, il est prévu une polarisation par la résistance R4 de 1 MΩ qui ajuste le courant collecteur de T1 à environ 30 μA, ce qui porte son potentiel collecteur autour de 2,5 V.

À ce niveau, il est impératif d'utiliser des composants passifs de qualité, en particulier des résistances à couche métallique.

Ce transistor T1 est polarisé par les résistances R2 et R3. Son collecteur est directement relié à la base de T2. Entre émetteur de T1 et collecteur de T2, est insérée la contre-réaction « sélective », avec le réseau C4-R6 relié au collecteur de T2 et le réseau C3-R5 relié à l'émetteur de T1, tous deux connectés en série. La suppression des condensateurs C3 et C4 permet de réaliser un préamplificateur pour microphone, la contre-réaction devenant alors « linéaire ».

Cette contre-réaction corrige la courbe RIAA. Il faut qu'à la lecture d'un disque, les fréquences graves soient amplifiées, à l'inverse des fréquences aiguës qui doivent être atténuées.

On doit donc réaliser un gain qui en première approximation :

- descende de 6 dB par octave de 30 Hz à 500 Hz
- reste constant de 500 Hz à 2120 Hz

le bruit tonalité



- descente de 6 dB par octave au-dessus de 2120 Hz
L'impédance d'entrée de T1 constante de 100 Hz à 10 kHz est de l'ordre de 40 kΩ.
À 1 kHz, le gain en tension est de l'ordre de 60. La saturation de cette entrée magnétique se situe à environ 30 mVeff, ce qui correspond alors à un niveau de sortie de 1,8 Veff.

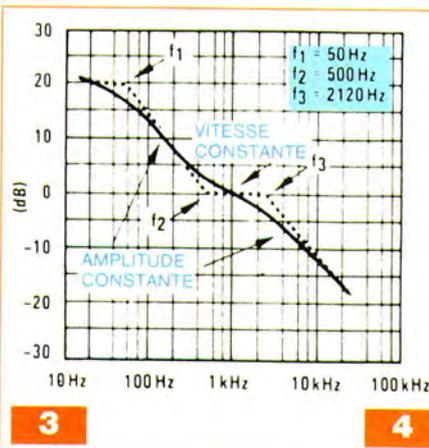
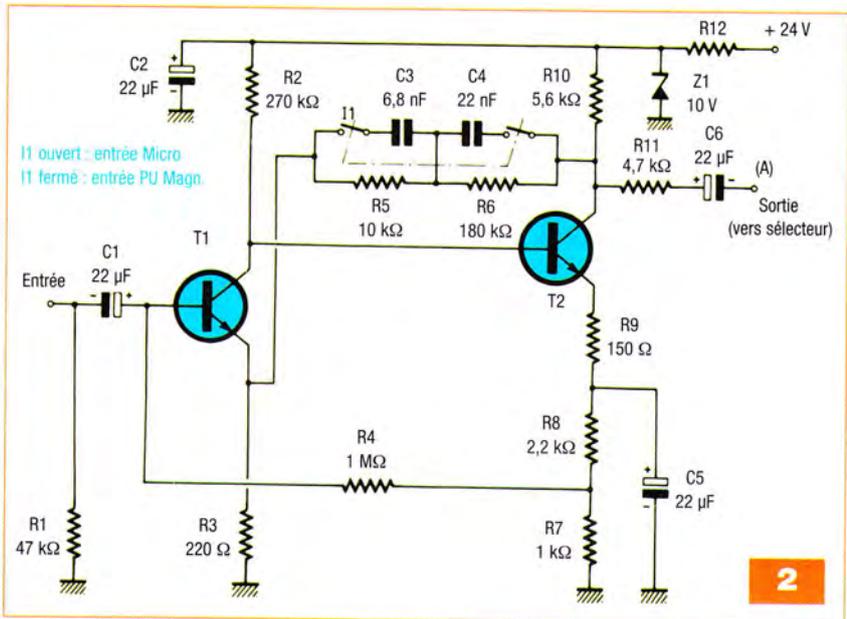
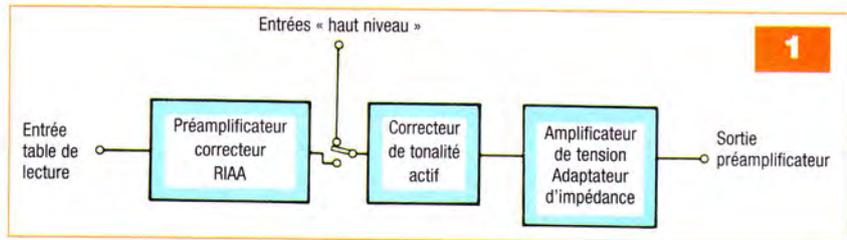
Le sélecteur d'entrées

Il fait appel à la commutation de relais REED en boîtiers DIL.
Comme l'indique la figure 5, chaque relais en position « repos » met le signal à la masse, supprimant ainsi les risques de diaphonie (phénomène qui se produit souvent avec des sélecteurs mécaniques).
Nous avons prévu quatre entrées, ce qui nous paraît suffisant puisque toutes les sources sont présentes : cellule magnétique, tuner, magnétophone, compact-disc.

Une diode led, en série avec la bobine de chaque relais, permet de visualiser sur la face avant du préamplificateur la source sélectionnée, tout simplement en portant sa cathode à la masse, via un sélecteur rotatif. Tous les contacts « travail » des relais sont reliés entre eux et transmettent le signal au préamplificateur « haut niveau ».

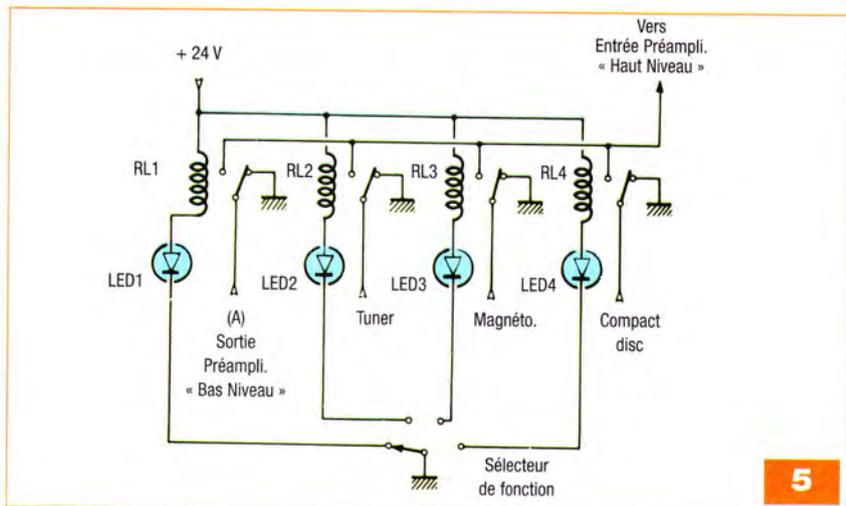
Le correcteur de tonalité

Le signal est appliqué à la base du transistor T1 par un condensateur de 22 μF, ce qu'indique la figure 6. Celui-ci du type 2N 930 est monté en collecteur commun et son impédance



REPONSE STANDARD RIAA			
Hz	dB	Hz	dB
20	+ 19,3	800	+ 0,7
30	+ 18,6	1 k	0,0*
40	+ 17,8	1,5 k	- 1,4
50	+ 17,0	2 k	- 2,6
60	+ 16,1	3 k	- 4,8
80	+ 14,5	4 k	- 6,6
100	+ 13,1	5 k	- 8,2
150	+ 10,3	6 k	- 9,6
200	+ 8,2	8 k	- 11,9
300	+ 5,5	10 k	- 13,7
400	+ 3,8	15 k	- 17,2
500	+ 2,6	20 k	- 19,6

*Fréquence de référence.



d'entrée est de l'ordre de 100 k Ω . C'est au niveau du point (B) qu'est appliquée la modulation fournie par un tuner, un magnétophone ou un lecteur CD.

Le transistor T1 a sa base polarisée par le pont de résistances R2 et R3 de 220 k Ω .

Étant monté en collecteur commun, T1 permet d'attaquer à basse impédance le correcteur de tonalité « graves/aigus ».

La contre-réaction nécessaire au fonctionnement est assurée par le condensateur C7 de 22 μ F qui applique une fraction de la tension collecteur de T2 au point commun des résistances R6 et R9.

Ici encore, le collecteur de T2 est directement relié à la base de T3.

Ce transistor T3 est monté en émetteur commun, donc en amplificateur en tension.

En raison de la résistance d'émetteur élevée (R14/1 k Ω), celui-ci a un fort taux de contre-réaction.

À 1 kHz, le gain en tension de cet étage est de l'ordre de 2,5.

Le niveau de saturation se situe à 1,3 Veff, ce qui correspond à un niveau de sortie maximum de 3,25 Veff.

L'efficacité du correcteur de tonalité est la suivante :

- Graves : + 18 dB/-20 dB à 20 Hz
+ 14 dB/-15 dB à 60 Hz
- Fréquence charnière : 800 Hz
- Aigus : + 17 dB/-15 dB à 20 kHz
+ 10 dB/-10 dB à 6 kHz

L'amplificateur/adaptateur d'impédance

Dès l'entrée, un potentiomètre P3 permet de doser l'amplitude du signal. Celui-ci est ensuite appliqué à la base du transistor T4 par un condensateur de 22 μ F.

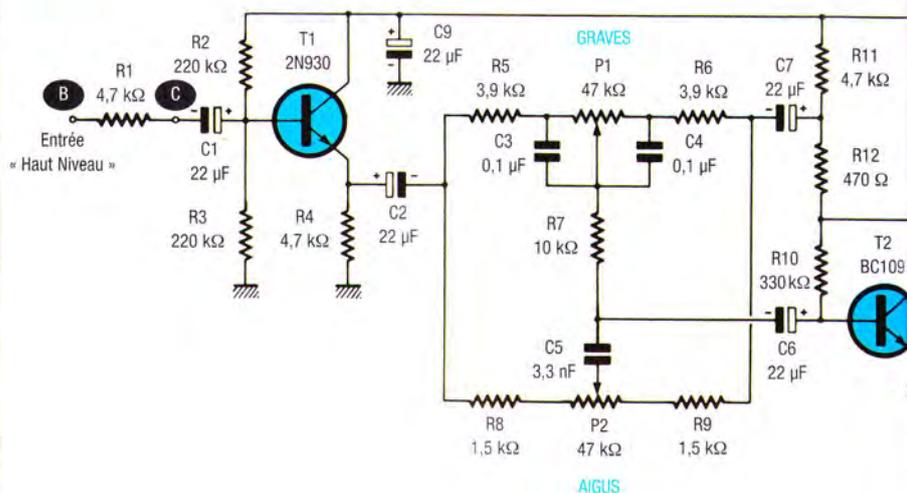
C'est également à ce niveau qu'est insérée une commande de balance, potentiomètre P4.

Le transistor T4 est monté en émetteur commun. Il a un fort taux de contre-réaction du fait que la résistance d'émetteur R21/3,3 k Ω ne soit pas découplée.

Le gain en tension est déterminé par le rapport des résistances R20/R21, soit un gain de 3,3.

Le transistor T5 est un simple étage fonctionnant en collecteur commun.

6



Il permet de disposer d'un signal de sortie à basse impédance.

Le niveau de saturation sur la base de T5 est de 1,45 Veff.

Le gain en tension du tandem T4-T5 étant voisin de 2,7, on se retrouve avec une tension maximale en sortie, sur l'émetteur de T5, de 3,9 Veff.

L'impédance de sortie est très faible, puisque voisine de 35 Ω .

Prise d'enregistrement

Le signal est prélevé au niveau des points (D) des modules dans la mesure où nous en comptons deux, comme nous le verrons plus loin.

L'alimentation

C'est un grand classique puisque nous utilisons un régulateur LM317T. Le schéma de la figure 7 ne vous apprend donc plus rien.

Redressement, filtrage, régulation et ajustage de la tension de sortie avec RV1.

Le boîtier TO220 pouvant fournir jusqu'à 1A, c'est largement suffisant pour cette application.

Réalisation

Les circuits imprimés

Ils sont au nombre de cinq : quatre pour le préamplificateur (version stéréophonique) et un pour l'alimentation.

Les deux plaquettes du préamplificateur « haut niveau » ne sont pas identiques car une seule reçoit les potentiomètres : graves, aigus, volumes, balance. Les circuits sont proposés à l'échelle 1 en figures 8a, 8b, 8c et 8d et ne présentent aucune difficulté de reproduction.

Câblage

Les plans de câblages sont suffisamment détaillés aux figures 9 à 12 pour éviter toute erreur.

Les nomenclatures permettent de connaître la valeur nominale de chaque composant, ainsi que sa tolérance.

Attention à l'orientation des condensateurs qui n'aiment guère une inversion de polarité.

Interconnexions des modules préamplificateurs « haut niveau »

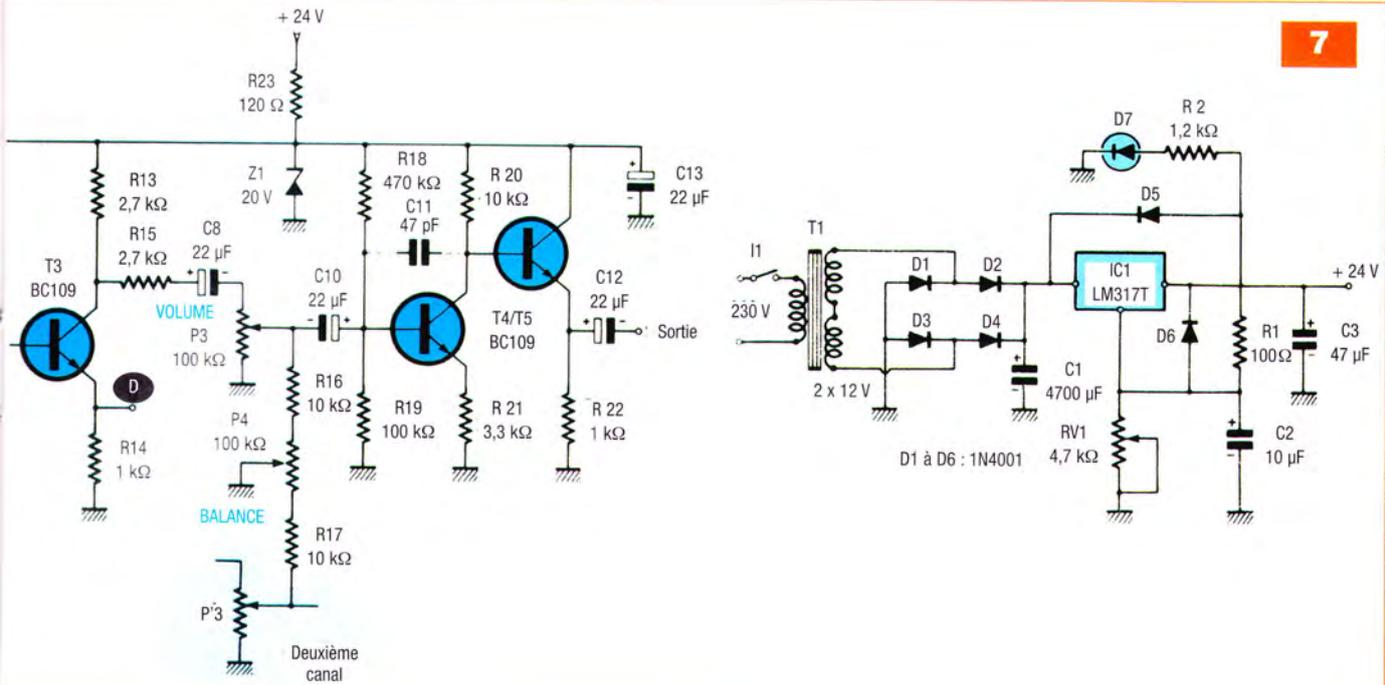
Au nombre de deux, les modules sont maintenus entre eux par deux entretoises de 10 mm de hauteur.

Le module équipé des potentiomètres est situé sur le dessus.

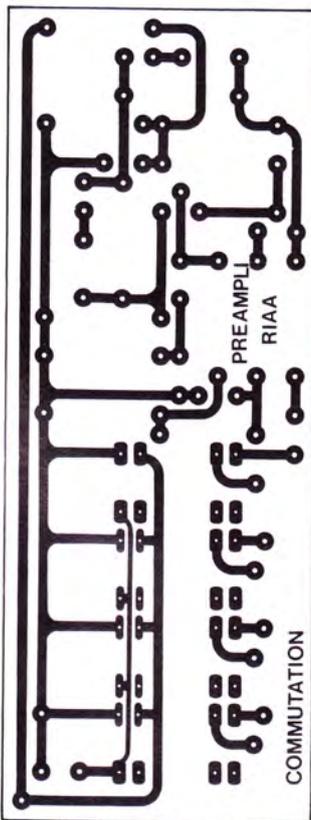
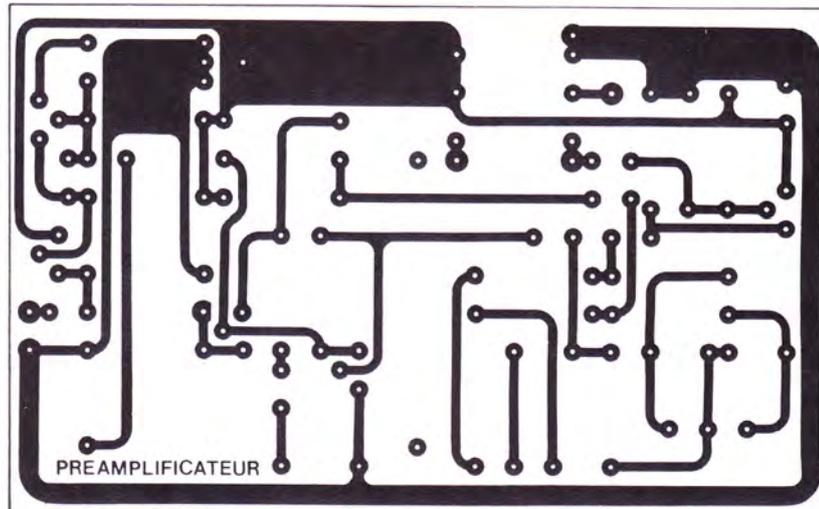
Les neuf interconnexions avec le module inférieur (P1, P2, P3) sont effectuées avec des queues de résistances.

Utiliser du câble blindé pour les raccordements des entrées « platine tourne-disques/modules », ainsi que pour leurs sorties.

7

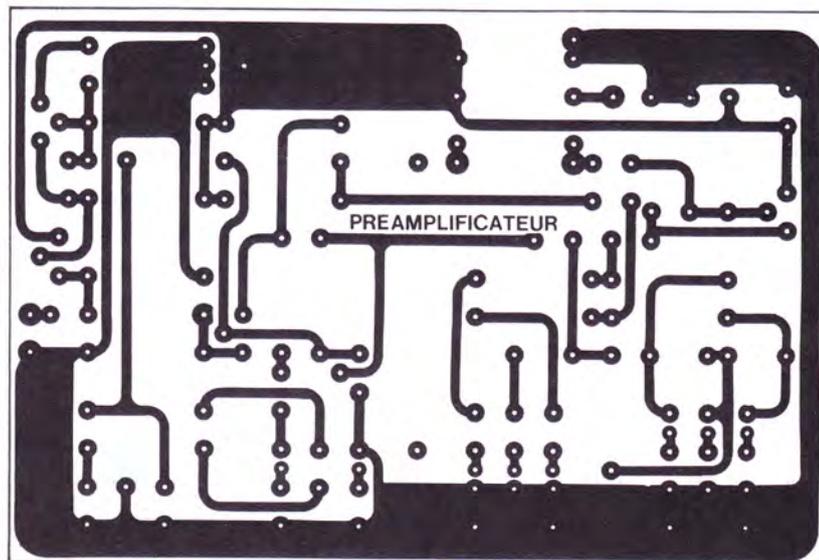


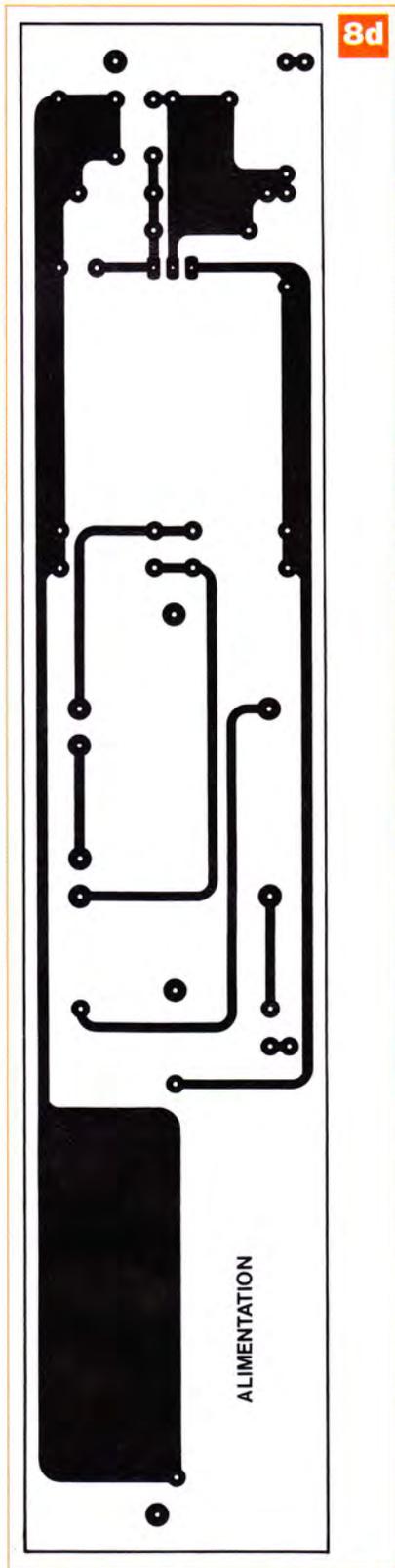
8b



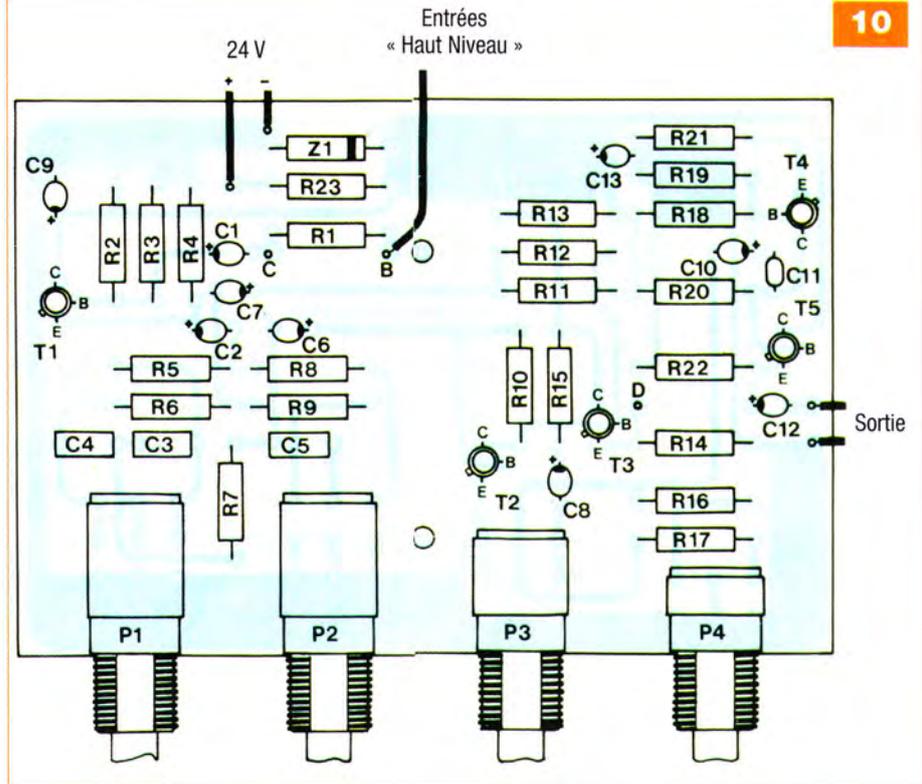
8a

8c

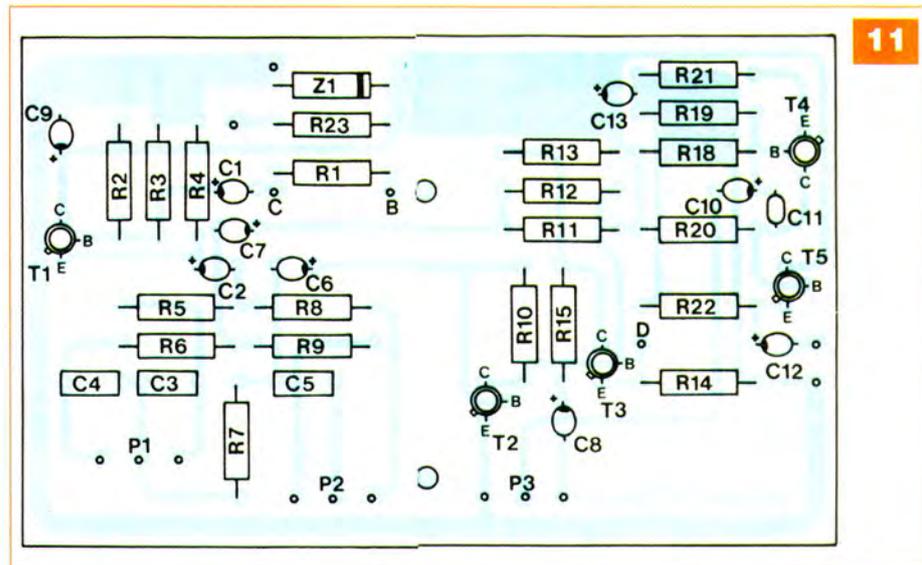




8d



10



11

La mise en coffret

Cette étude a été menée afin que le câblage « filaire » soit le plus court possible, réduisant ainsi les risques d'accrochages, de ronflements, de détections des ondes « radio », de bouclages de masse...

Pour y parvenir, la commutation des différentes sources est effectuée par des relais REED, composants situés au plus près des prises Cinch.

Ces relais 1 R/T aux dimensions des circuits intégrés Dual in Line 14 broches sont commandés en tension par le sélecteur situé en face avant du préamplificateur.

Les longueurs de câbles n'entrent plus alors en ligne de compte, puisque ne véhiculant pas la modulation mais une tension continue.

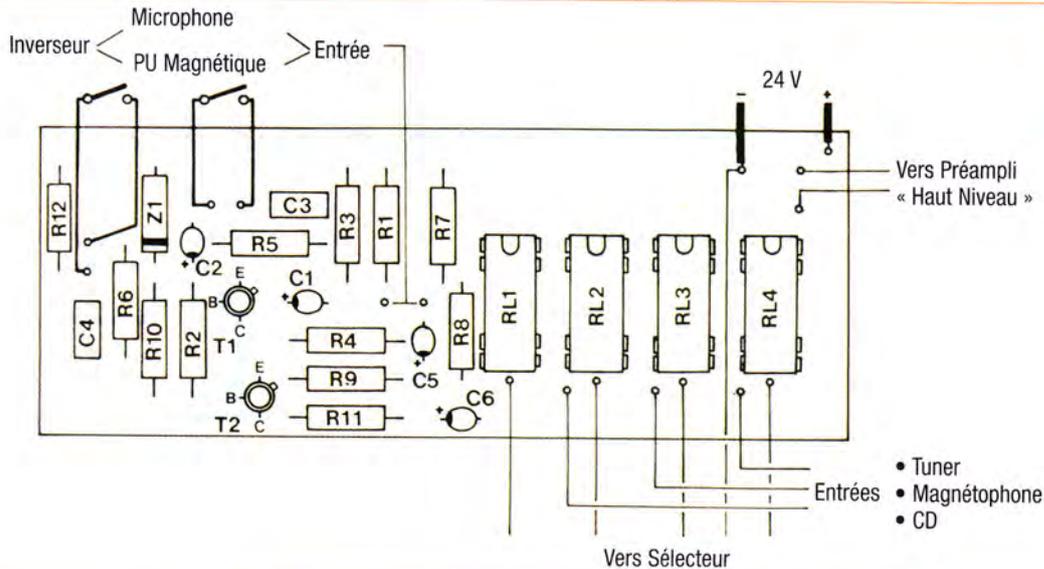
Autre avantage de l'utilisation du

relais 1 R/T : en position repos (R), la modulation est automatiquement mise à la masse, d'où une absence totale de diaphonie.

Afin de ne pas faire traverser les contacts des relais par des faibles signaux, ce qui serait le cas avec une table de lecture (une cellule magnétique délivrant environ 5 mV), c'est la sortie du préamplificateur RIAA qui est connectée au relais REED.

Notre préamplificateur dispose de quatre entrées stéréo, il est évident que cela n'est nullement limitatif.

9



Nomenclature

PRÉAMPLI HAUT NIVEAU

Composants pour une voie, sauf pour les potentiomètres

Résistances à couche métallique
± 5 % 1/2 W

- R1 : 4,7 kΩ
- R2, R3 : 220 kΩ
- R4 : 4,7 kΩ
- R5, R6 : 3,9 kΩ
- R7 : 10 kΩ
- R8, R9 : 1,5 kΩ
- R10 : 330 kΩ
- R11 : 4,7 kΩ
- R12 : 470 Ω
- R13 : 2,7 kΩ
- R14 : 1 kΩ
- R15 : 2,7 kΩ
- R16, R17 : 10 kΩ
- R18 : 470 kΩ
- R19 : 100 kΩ
- R20 : 10 kΩ
- R21 : 3,3 kΩ
- R22 : 1 kΩ
- R23 : 120 Ω

Condensateurs non polarisés

- C3 : 0,1 μF
- C4 : 0,1 μF
- C5 : 3,3 nF
- C11 : 47 pF céramique

Condensateurs polarisés

- C1, C2, C6 C7, C8, C9, C10, C12,
- C13 : 22 μF/25 V

Semiconducteurs

- T1 : 2N930 (Electronique Diffusion) ou, à défaut, BC109
- T2, T3, T4, T5 : BC109
- Z1 : 20 V/500 mW

Potentiomètres Vishay P11

- P1, P2 : 2 x 47 kΩ lin
- P3 : 2 x 100 kΩ log
- P4 : 100 kΩ lin

D'autres relais peuvent être placés en parallèle, il suffit alors de prévoir un sélecteur approprié (six positions, par exemple) et d'allonger le circuit imprimé (figure 8a).

Le sélecteur d'entrées

Celui-ci a été décrit à la figure 5. En nous y reportant, nous constatons que le fonctionnement est fort simple. Un +24 V est appliqué à une extrémité de la bobine d'un relais. Pour que celui-ci actionne le contact R-T, il faut que la deuxième extrémité de la bobine soit reliée à la masse, chose réalisable avec le sélecteur dont le commun est relié au 0 V. On en profite pour insérer en série avec la bobine une diode led qui, placée en face avant du préamplificateur, va s'allumer indiquant à l'utilisateur la source activée.

Le schéma théorique de notre sélecteur est proposé à la figure 13. Il fait appel à un commutateur rotatif du type 1 galette/2 circuits/6 positions. Le circuit S1-b permet la mise sous tension du préamplificateur.

Nomenclature

PRÉAMPLI RIAA

Résistances à couche métallique
± 1 % 1/2 W (de préférence)

- R1 : 47,5 kΩ ou 47 kΩ ± 5%
- R2 : 267 kΩ ou 270 kΩ ± 5%
- R3 : 221 Ω ou 220 Ω ± 5%
- R4 : 1 MΩ
- R5 : 10 kΩ
- R6 : 182 kΩ ou 180 kΩ ± 5%
- R7 : 1 kΩ
- R8 : 2,21 kΩ ou 2,2 kΩ ± 5%
- R9 : 150 Ω
- R10 : 5,62 kΩ ou 5,6 kΩ ± 5%
- R11 : 4,75 kΩ ou 4,7 kΩ ± 5%
- R12 : 2,4 kΩ ± 5% 1/2 W

Condensateurs non polarisés

- C3 : 6,8 nF
- C4 : 22 nF

Condensateurs polarisés

- C1, C2, C5, C6 : 22 μF/25 V

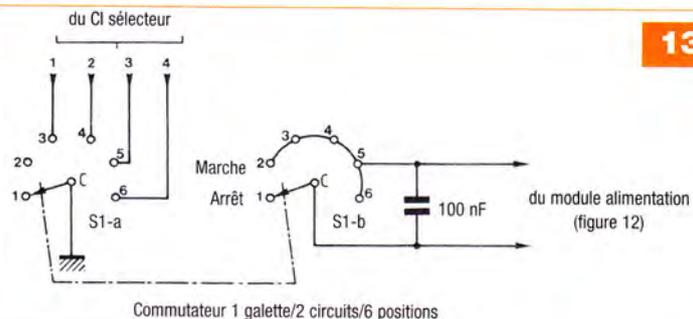
Semiconducteurs

- T1, T2 : BC 651 ou BC650
- Z1 : 10 V/500 mW

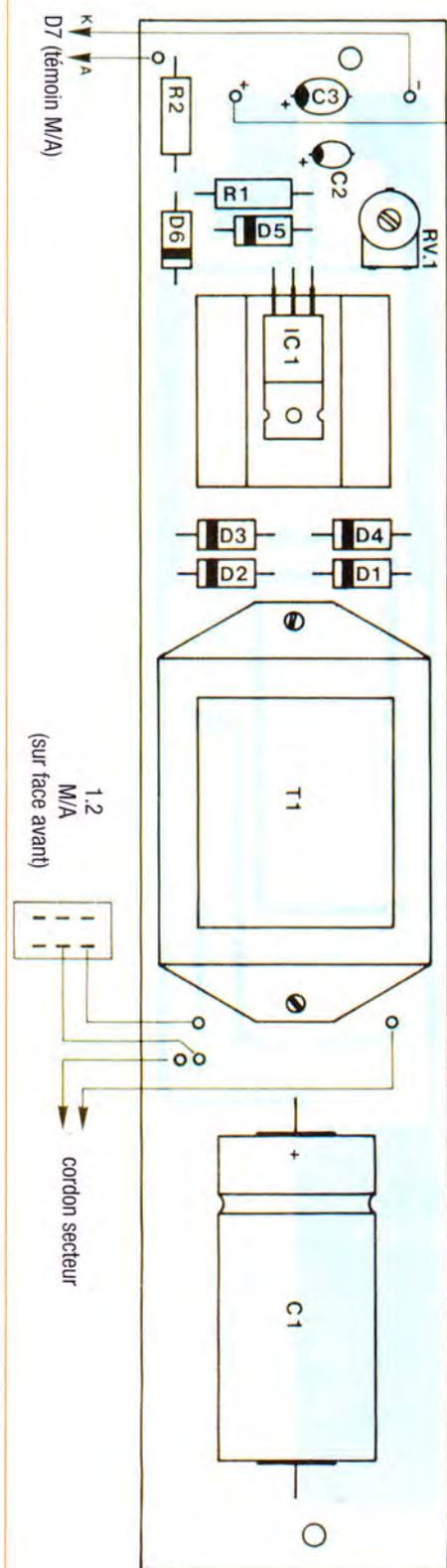
Divers

- Led 1 à led 4 : diodes leds vertes
- RL1 à RL4 : relais RED 24 V/1RT
- Inverseur si entrée microphone utilisée
- Commutateur 3 circuits/4 positions

13



12



Nomenclature

ALIMENTATION

Résistances

R1 : 100 Ω/±5 % 1/4 W
R2 : 1,2 kΩ/1 W
RV1 : ajustable 4,7 kΩ

Condensateurs

C1 : 4700 µF/40 V
C2 : 10 µF/63 V
C3 : 47 µF/40 V

Semiconducteurs

D1 à D6 : 1N4001
D7 : diode électroluminescente rouge
IC1 : LM317T

Divers

T1 : transformateur moulé 220 V/2 x 12 V /2 x 2,75 VA
I1 : interrupteur 3A/220 V

En position (1), c'est l'arrêt, le 220 V n'est pas appliqué au transformateur d'alimentation (figure 12).

En positions (2) à (6), l'appareil est mis sous tension, ce qu'indique la led rouge en face avant, témoin M/A.

Le circuit S1-a a ses deux premiers plots non utilisés, si bien que même en position (2) du sélecteur, le préamplificateur étant sous tension, aucune source n'est encore activée. Il faut attendre le plot (3) pour accéder à l'entrée « PU Magn », ce qui est vérifiable en constatant l'illumination de la diode led verte correspondante.

Ce sont au total cinq diodes leds qui apparaissent en face avant de notre appareil.

Ces diodes leds sont soudées sur un petit circuit imprimé dont le tracé des pistes est indiqué en figure 14. Il permet également de venir y souder les quatre fils venant du module de commutation (figure 9), ainsi que cinq fils allant vers le sélecteur S1-a.

Le plan de câblage est reproduit à la figure 15.

L'alimentation de la diode led rouge M/A est prélevée directement sur le module de la figure 12, à travers la résistance de limitation R2.

On dispose ainsi également d'une arrivée 0 V (cathode de D7) pour le sélecteur S1-a.

Ce module, baptisé « sélecteur », sera soit collé à l'araldite (ou à la cyanolite) contre la face avant par l'intermédiaire de visseries de 3 mm x 5 mm,

soit vissé à la contre-face avant en le surélevant (afin d'éviter les risques de courts-circuits).

Interconnexions des modules

Les deux cartes « préamplificateur RIAA/commutation »

Les cartes équipées de leurs composants vont maintenant être préparées pour les interconnexions.

Pour la carte inférieure tout d'abord (les deux modules étant superposés dans le coffret), percer deux trous de fixations au châssis d'un diamètre de ø 3 mm, l'un sous C4 et l'autre sous RL4.

Souder du câble blindé d'une longueur de 15 cm à « l'entrée » (figure 9) en soudant la tresse de masse du bon côté (-) de C5.

De même pour la sortie mentionnée « vers préampli haut niveau ».

Si seule l'entrée PU magnétique est utilisée, remplacer l'inverseur par des straps. De « linéaire », la contre-réaction devient « sélective » (correction RIAA).

Souder des fils souples de couleurs différentes et de forte section (1,5 mm²) aux trois entrées : tuner, magnétophone, lecteur CD. Prévoir des longueurs de 10 cm environ.

Sur le module supérieur (celui sans trou de fixation) et côté pistes, souder des queues de résistances aux quatre pastilles situées sous les relais (vers sélecteur, figure 9) ainsi qu'aux deux pastilles d'alimentation (+) et (-). Enfiler les six queues de résistances dans les pastilles correspondantes du module inférieur.

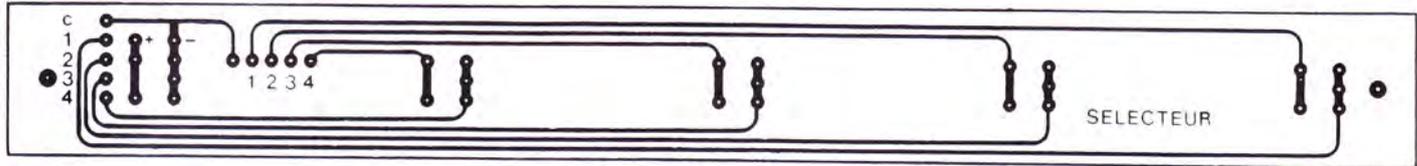
Équilibrer l'horizontalité des deux modules en veillant à ce qu'il n'y ait pas de court-circuit composants/pistes. Souder les queues des résistances. On obtient ainsi un ensemble assez rigide ne nécessitant pas l'utilisation d'entretoises.

Souder une nappe de quatre fils au module inférieur côté pistes cuivrées d'une longueur de 50 cm environ aux pastilles situées sous les relais.

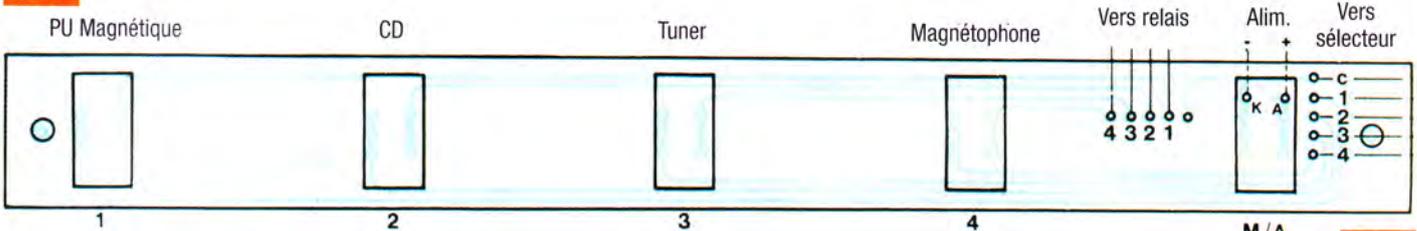
De même, pour l'alimentation (+) et (-), mais une longueur de 20 cm suffit.

Les deux cartes « préamplificateur haut niveau »

Comme précédemment, les interconnexions entre les deux modules se font au moyen de queues de résis-



14



15

tances : trois pour P1, trois pour P2, deux pour P3 et une pour P4.

Pour P4, on peut utiliser directement la queue de la résistance R17.

Les raccordements (+) et (-) de l'alimentation, des entrées « haut niveau » et des sorties se feront plus tard avec des picots, les picots mâles étant déjà soudés aux deux plaquettes.

Souder donc huit queues de résistances au module supérieur, côté pistes (module recevant les potentiomètres).

Enfiler ensuite les huit queues dans les pastilles du module inférieur. Séparer les deux circuits imprimés entre eux avec une entretoise de 10 mm (deux trous de fixations au choix sont prévus à cet effet).

Avec de la visserie de 3 mm et l'entretoise de 10 mm, maintenir les deux modules, puis souder les queues de résistances.

Souder enfin une nappe de quatre fils aux picots (+) et (-), les deux modules étant alimentés séparément.

Une longueur de 15 cm suffit.

La mise en coffret

Les perçages

C'est le travail le plus rebutant pour la majorité d'entre vous, nous le savons, mais il faut bien s'en préoccuper.

Comme pour l'amplificateur, nous pouvons utiliser au choix un coffret ESM de la série « ER » 48/04 en tôle d'acier de 10/10° ou un coffret Radiospares en aluminium « anodisé noir » portant la référence 226-101, tous deux ayant les mêmes dimensions en profondeur (150 mm).

Ce volume suffit largement pour y

rassembler toute notre électronique. Les figures 16a, 16b et 16c donnent toutes les cotations indispensables au positionnement des trous, ainsi que leurs diamètres de perçages. Nous n'avons pas représenté le fond du coffret qui ne nécessite que le forage de quatre trous de fixations à \varnothing 3 mm pour les modules « préampli RIAA » et « alimentation régulée ».

Concernant le coffret ESM, afin d'obtenir une bonne et indispensable précision, il convient de percer en même temps les quatre trous destinés aux passages des canons et axes des potentiomètres dans la contre-face et la face avant. Il faut tout au moins les repérer ensemble. Voilà une astuce. Percer les quatre trous tout d'abord dans la contre-face avec un foret de \varnothing 2,5 mm à 3 mm. Ebavurer ensuite minutieusement ces trous afin qu'ils n'abîment pas la face avant qui viendra se fixer derrière la contre-face bien à plat au moyen de la visserie fournie avec le coffret.

En guidant le foret grâce aux trous percés précédemment dans la contre-face, faire de même avec la face avant en aluminium brossé, quatre trous à \varnothing 2,5 mm.

Reforer ensuite l'ensemble à \varnothing 7 mm, dévisser la face avant et continuer dans la contre-face avec un foret de \varnothing 11 mm.

Ces quatre trous à \varnothing 11 mm vont permettre d'y introduire les canons des potentiomètres, les deux modules « préamplis haut niveau » étant fixés à la contre-face par P1 et P4 uniquement, mais en utilisant les quatre écrous (écrous + contre-écrous).

Concernant le coffret Radiospares, c'est beaucoup plus simple puisqu'il n'y a pas de contre-face.

Les interconnexions

Il faut tout d'abord équiper la face arrière de ses dix prises Cinch (en veillant à leur bon isolement électrique) et de son passe-fil.

Procéder ensuite comme suit :

- Relier toutes les cosses de masse des Cinch avec du fil de cuivre étamé de 10/10° en formant un U.

- Fixer les modules RIAA/commutation au fond du coffret en les surélevant au moyen de deux entretoises de 5 mm (les relais se trouvent alors sur la gauche).

- Approcher la face arrière contre le fond du coffret mais en plaçant celle-ci à l'horizontale, sinon les interconnexions ne pourront pas s'effectuer aisément.

- Couper les trois fils de 1,5 m² de section du module inférieur au plus court et les souder aux Cinch.

Faire de même avec le câble blindé en soudant également la tresse métallique à la cosse de masse de l'entrée « PU Magn ».

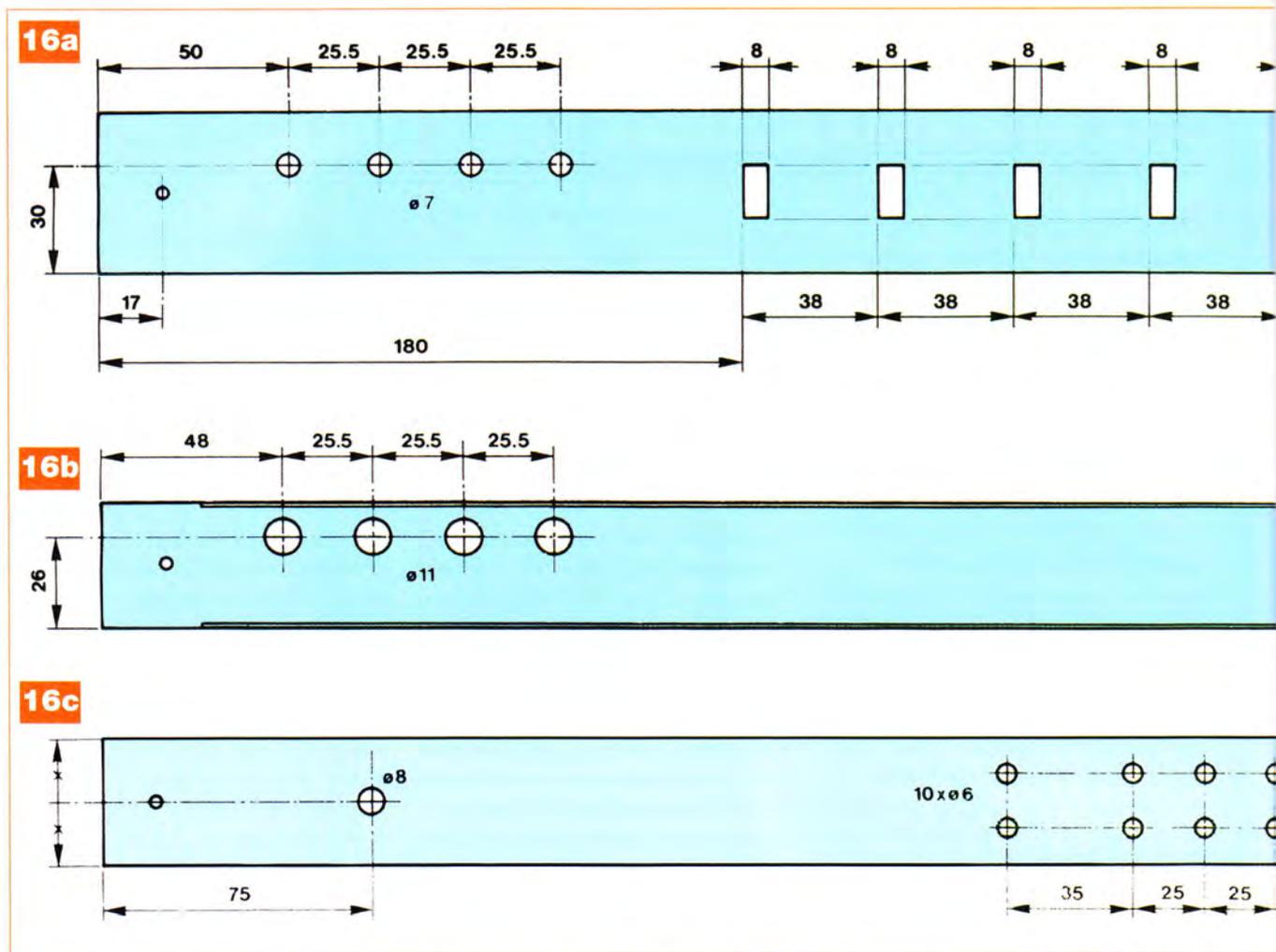
On peut dès lors revisser la face arrière du coffret.

Le même câblage est à effectuer maintenant entre les prises et le module supérieur.

- Fixer le module « alimentation régulée », introduire le cordon secteur dans le passe fil et le souder au primaire du transformateur.

Ajuster immédiatement la tension régulée à +24 V avec RV1.

- Souder les fils (+) et (-) des préam-



plis RIAA au bloc « alimentation ».

- Mettre en place la contre-face avant en la vissant au fond du coffret (trois points de fixations pour le coffret ESM).
- Faire passer la nappe de quatre fils venant de la commutation (2 x 4 relais) entre le côté gauche du coffret et la contre-face pour le coffret ESM.
- Souder le deuxième câble blindé du « préampli RIAA » au préampli « haut niveau », point (B). Pour le module inférieur, le moins accessible, on soude l'âme du blindé à un picot femelle (la tresse de masse est ici coupée au ras de la gaine isolante car non utilisée). Avec des brucelles, introduire le picot femelle au point (B). Pour le module supérieur, l'intervention est plus facile, on soude directement l'âme du conducteur au picot mâle.
- Souder la nappe de quatre fils à l'alimentation régulée en vérifiant bien les polarités.
- Avec du câble blindé, relier les sorties des deux modules « préampli

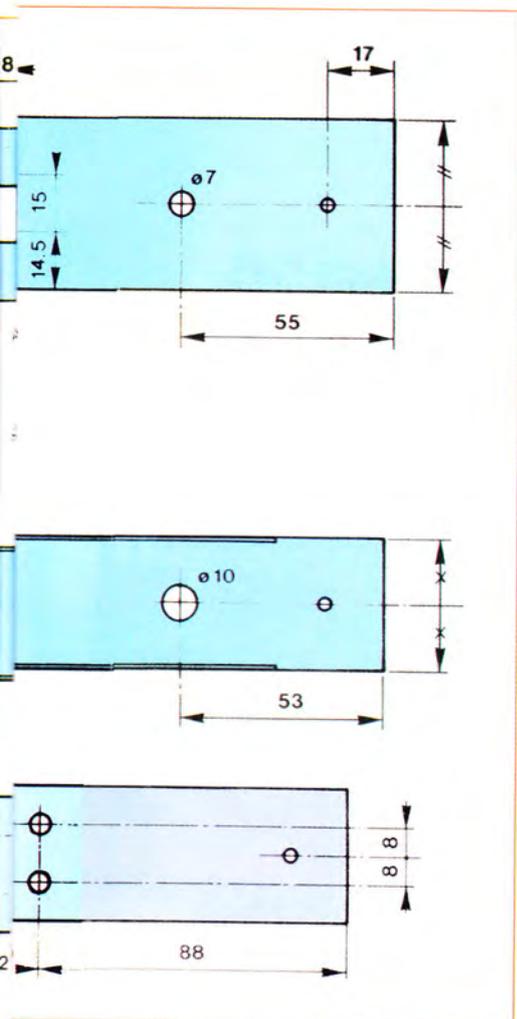
haut niveau » aux prises Cinch en soudant les tresses métalliques aux deux extrémités.

- Coller contre la face avant à la cyanolyte le module « sélecteur » en le surélevant de l'épaisseur d'un écrou de 3 mm. Les leds dépassent ainsi de l'autre côté de la face avant de 1 mm environ.
- Souder la nappe de quatre fils provenant des relais aux points 1-2-3-4 en respectant bien l'ordre de commutation.
- Souder une nappe de sept fils aux pastilles 1 à 4, c, (+) et (-) et la faire passer entre la contre-face et le côté droit du coffret (pour le ESM).
- Mettre en place le commutateur 2 circuits/6 positions.
- Visser la face avant à la contre-face et mettre en place les cinq boutons.
- Souder les fils 1-2-3-4 et c pour le coffret ESM au sélecteur S1-a comme indiqué en figure 13.
- Souder les fils (+) et (-) à l'alimentation régulée, le (+) à la résistance R2 et non au +24 V.

- Straper les cosses 2 à 6 du sélecteur S1-b et les relier à l'alimentation comme indiqué en figure 12. Faire de même pour le commun, point (C).
- Ressouder l'un des fils du cordon secteur à sa bonne place afin que l'interrupteur M/A soit opérationnel. Le câblage est terminé, il ne reste plus qu'à vérifier le bon fonctionnement du préamplificateur.

Premiers essais

Tourner le sélecteur à fond sur la gauche (sens trigonométrique et non horaire). Mettre l'appareil sous tension. Sur le premier plot, le préamplificateur n'est pas alimenté, position « Off », toutes les leds sont éteintes. Sur le plot suivant, seule la led rouge M/A s'allume. Un plot de plus et, avec la led rouge, s'allume la première led verte, indiquant que les deux entrées « PU magné » sont activées et ainsi de suite jusqu'au plot 6. Il ne reste plus qu'à raccorder les sorties du préamplificateur à l'amplifica-



teur pure classe A, et les entrées à une bonne vieille table de lecture ou à un lecteur CD pour profiter pleinement de cette dernière réalisation.

Des prises enregistrement

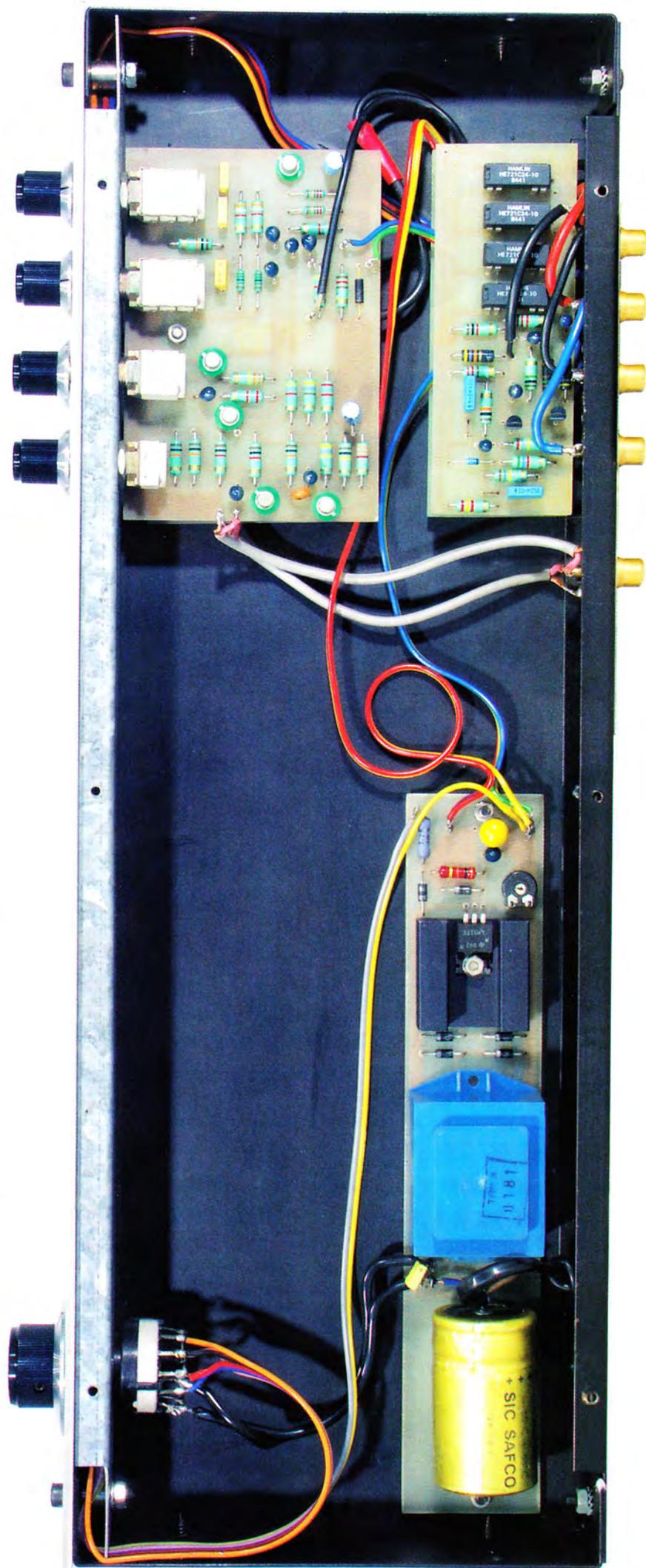
Si elles n'apparaissent pas sur le prototype, les modules sont quand même équipés de picots à souder destinés à prélever la modulation pour être enregistrée par tout magnétophone à bandes ou à cassettes.

Il s'agit, sur le schéma de principe (figure 6), du point (D). La modulation est prélevée aux bornes de la résistance R14 de 1 k Ω .

On retrouve ensuite ces points (D) sur les deux modules des figures 10 et 11.

Du blindé, deux Cinch supplémentaires en face arrière, c'est tout ce qui est nécessaire pour enregistrer à volonté !

B. DUVAL



HORS-SÉRIE AUDIO ELECTRONIQUE PRATIQUE



Hors-série Audio Led

Push-Pull de 6V6GT en ultra-linéaire
Ampli/Préampli Mosfet 2 x 6 Weff
Ampli classe A Mosfet 2 x 36 Weff
Ampli à circuit intégré 70 Weff
Préamplificateur à tubes 6U8
Préamplificateur correcteur RIAA
Filtre actif 2 voies à ampli OP
Push-Pull de 300B E.H.
sans contre-réaction



**OFFRE SPÉCIALE
3 NUMÉROS**

15 €

France
métropolitaine



HORS-SÉRIE AUDIO RÉALISEZ VOUS-MÊME

3 kits d'enceintes
2 amplificateurs à tube
1 filtre actif deux voies
1 préampli phono...

INITIATION
La structure
d'un son



**À RÉALISER
SOI-MÊME**

**MONTAGES
AUDIO**



HORS-SÉRIE AUDIO À RÉALISER VOUS-MÊME

Bloc mono
200 Weff
4 x KT90

INITIATION
Puissance & niveau sonore
Classe A 2 x 50 Weff

**Enceinte
Coaxiale
2 voies**



Bon à retourner à :

TRANSOCÉANIC - Électronique Pratique - 3, boulevard Ney 75018 Paris - France

Je profite de votre « offre spéciale » en vous commandant les **HORS-SÉRIE AUDIO N°1 + N°2 + N°3**

(Tarif spécial pour les trois numéros, frais de port inclus)

France Métropolitaine : 15,00 € - DOM par avion : 22,00 €

Union européenne : 22,00 € - TOM, Europe (hors UE), Canada, USA : 25,00 € - Autres destinations : 28,00 €

Je commande uniquement :

HORS-SÉRIE AUDIO N°1 **HORS-SÉRIE AUDIO N°2** **HORS-SÉRIE AUDIO N°3**

(Tarif par numéro, frais de port inclus)

France Métropolitaine : 7,00 € - DOM par avion : 9,00 €

Union européenne : 9,00 € - TOM, Europe (hors UE), Canada, USA : 10,00 € - Autres destinations : 11,00 €

J'envoie mon règlement **par chèque ci-joint** à l'ordre de Électronique Pratique

par virement bancaire (IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445 BIC : CCFRFRPP)

M. Mme Mlle

Nom

Prénom

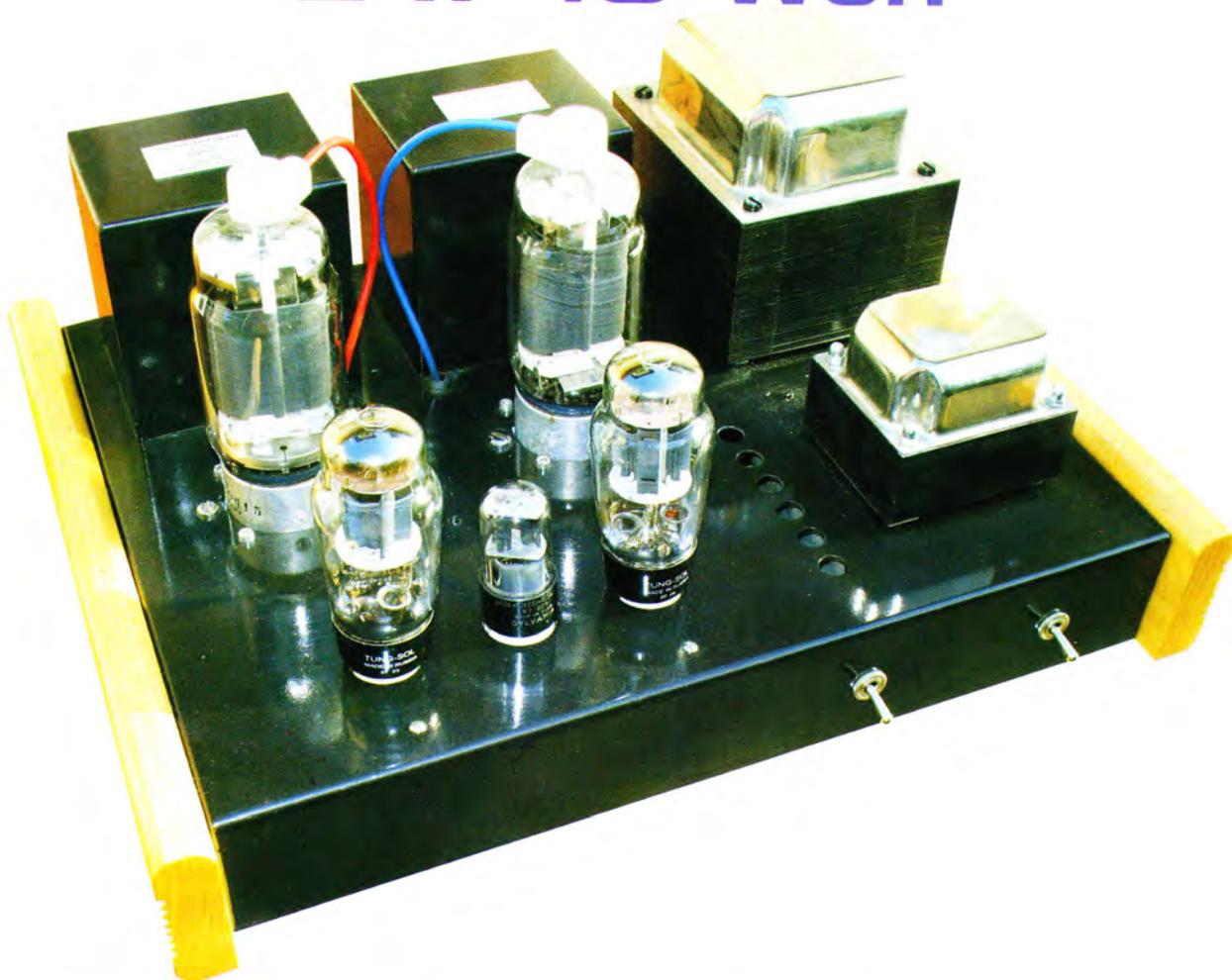
Adresse

Code postal

Ville/Pays

Tél. ou e-mail

Single end de 813 2 x 40 Weff



Depuis quelques années, les amplificateurs à tubes faisant l'objet de publications en délaissent certains, pourtant tout à fait adaptés à l'audio. Tel est le cas du 813, tube autrefois largement utilisé en radio, mais pas ou prou en audio-fréquence. À tort, nous semble-t-il, à en juger par la musicalité obtenue avec le présent amplificateur de type « single end ».

Sur internet, nous trouvons quelques schémas mettant en œuvre ces pentodes 813 à chauffage « direct ». Notre montage reste classique et simple. Il est « ultra linéaire ». Plus aisé à réaliser, il présente aussi moins de distorsion et délivre une puissance de 40 W avec une charge de plaque de 9 k Ω . Musicalement, il se situe entre le SE845 par sa finesse et le PP845 par sa puissance.

Les tubes d'entrée

Pour réaliser l'étage d'entrée de l'amplificateur, deux tubes courants, le 6SL7 et le 6L6, sont utilisés.

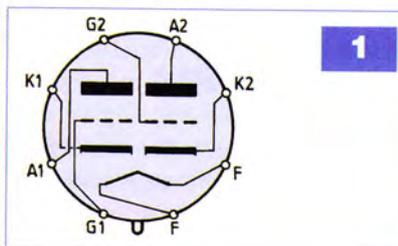
Caractéristiques de la 6SL7

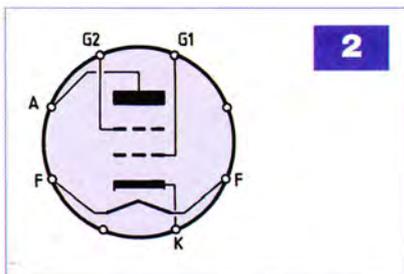
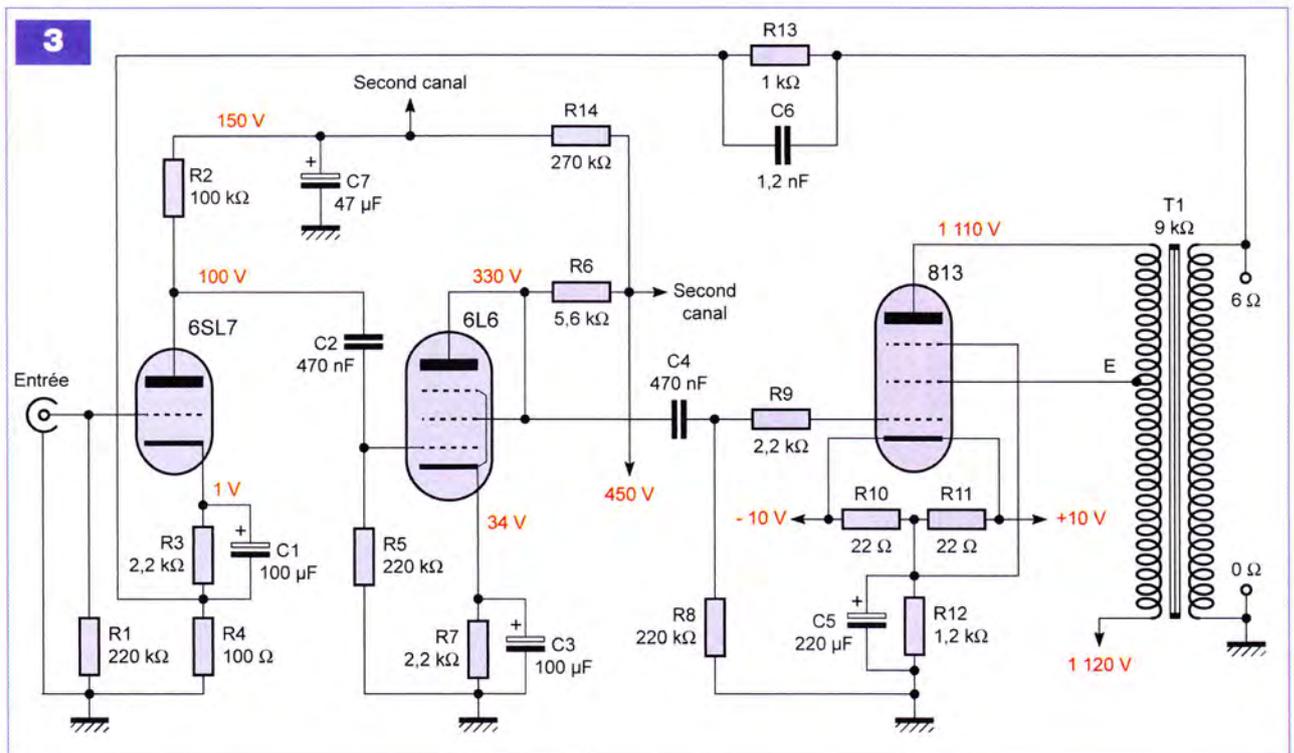
V_f : 6,3 V
I_f : 0,3 A
V_a max : 300 V

Pa max : 1 W
R_i : 44 000 Ω
Pente : 1,6
Gain : 70

Le brochage de la double triode, vu de dessous, est indiqué en **figure 1**.

- 1 : Grille de « commande » (1)
- 2 : Anode (1)
- 3 : Cathode (1)
- 4 : Grille de « commande » (2)
- 5 : Anode (2)
- 6 : Cathode (2)
- 7 : Chauffage 6,3 V
- 8 : Chauffage 6,3 V





2

Caractéristiques de la 6L6 GC (en pseudo triode)

Vf : 6,3 V

If : 0,9 A

Va max : 400 V

Pa max : 30 W

Ri : 7 700 Ω

Pente : 2,6

Le brochage de la tétrode 6L6, vu de dessous, est indiqué en **figure 2**.

1 : Non connectée

2 : Chauffage 6,3 V

3 : Plaque

4 : Grille « écran »

5 : Grille de « commande »

6 : Non connectée

7 : Chauffage 6,3 V

8 : Cathode

La pentode 813

Conçue en 1933, cette pentode à gros bulbe en verre surmonté d'un téton repose sur un culot à sept broches « Giant 7 pin » 5BA que l'on

trouve parfois sur des tubes anciens. Le bulbe, de hauteur sensiblement identique à celle du tube 845, est un peu plus volumineux (**photo A**).

Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- Tension anodique max : 2 500 V

- Tension grille max : 1 100 V

- Dissipation maximale : 125 W

- Chauffage : 10 V – 5 A

Le téton avec sa broche en stéatite permet de l'alimenter en haute tension. Les composants récents permettent de travailler avec les sécurités optimales. Le tube 813 est extrêmement robuste.

Le support « Giant 7 pins » 5BA est celui de la **photo B**. Les pins 1 et 7 se trouvent vers l'arrière du support. Ce sont les seules qui se retrouvent à l'horizontale par rapport aux deux vis de fixation.

En tournant dans le sens « anti-horaire », nous avons :

1 et 7 : Cathode

2 : Non connectée

3 : Grille « écran »

4 : Grille de « commande »

5 : Grille « supprimeuse »

6 : Non connectée

Cette tétrode trouve sa principale utilisation dans les émetteurs de radio. Les fabricants ont cependant fourni des spécifications pour une utilisation en audio-fréquence, en push-pull



A

pour une puissance de 490 W en classe AB1. C'est pourtant en single end que son emploi est le plus répandu en audio, tant il est vrai que 40 W avec un seul tube suffisent amplement pour « faire bouger les murs ».

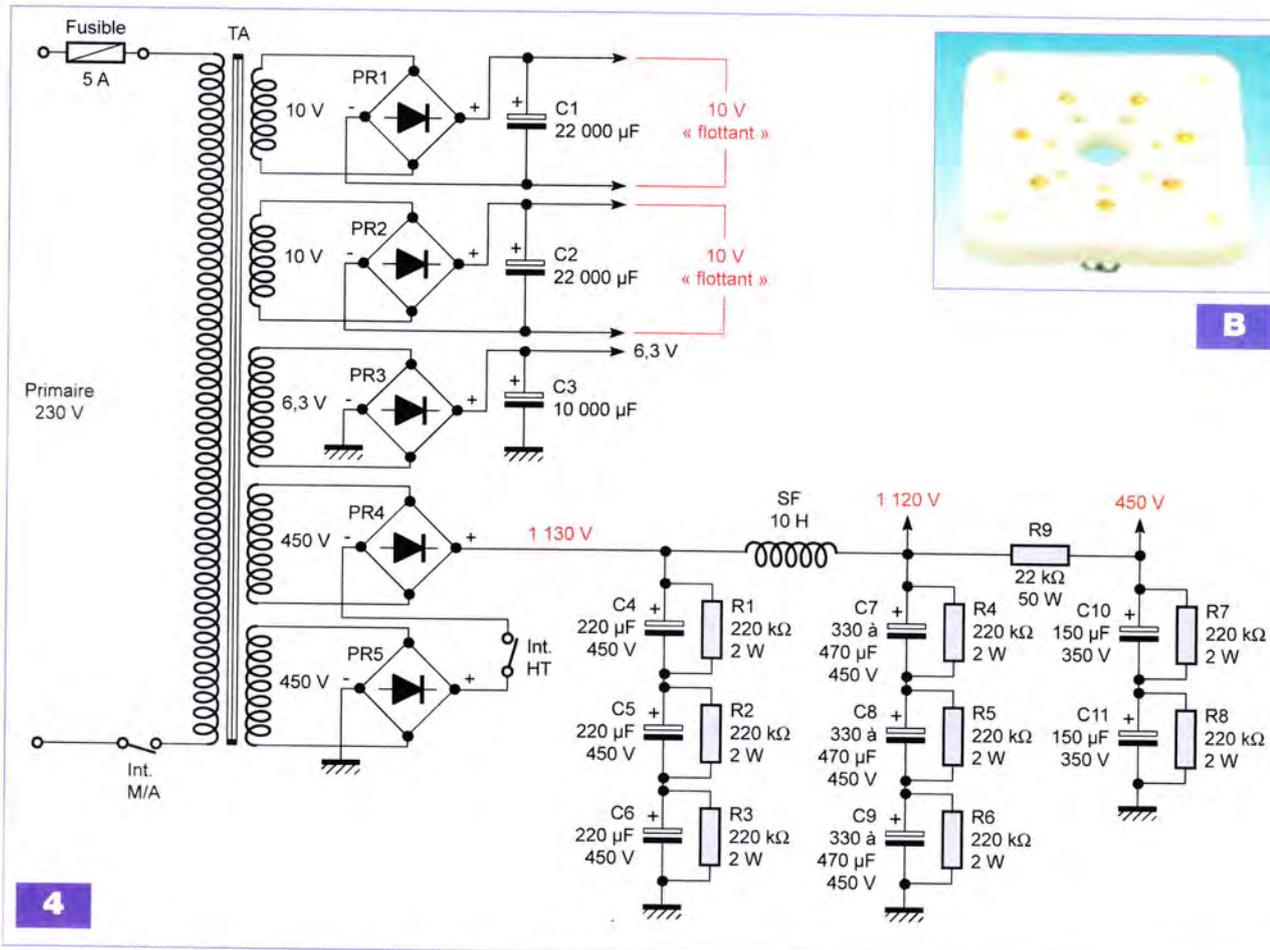
La structure de l'amplificateur

Le préamplificateur 6SL7

La modulation est appliquée à la grille de « commande » d'une demi-triode 6SL7. Cette grille est chargée par une résistance de 220 kΩ dérivée à la masse (**figure 3**).



B



4

Le gain en tension obtenu permet d'amplifier le signal de façon suffisante, tout en conservant une large bande passante.

La résistance de charge d'anode est de 100 k Ω .

La cathode, polarisée par une résistance de 2,2 k Ω est découplée par un condensateur de 100 μ F/10 V.

L'ensemble R/C est dérivé à la masse par une résistance de 100 Ω , ce qui permet d'insérer la contre-réaction.

L'étage « driver » 6L6

Il utilise une tétrode 6L6 montée en « pseudo triode », configuration qui lui confère une excellente linéarité.

La charge de plaque est fixée à 5600 Ω . Elle est obtenue par une résistance de puissance bobinée. La résistance de cathode de 2,2 k Ω est découplée par un condensateur de 100 μ F/100 V. Le gain procuré par cet étage est suffisant pour « attaquer » dans de bonnes conditions le tube de puissance 813.

Le condensateur de 470 nF/400 V transmet le signal alternatif à la grille de la 813.

L'étage de puissance 813

La 813 a son anode chargée par un transformateur de 9000 Ω d'impédance « primaire ». La prise « écran » est située à 50 % de l'enroulement. La sortie HP ne comporte qu'un seul enroulement « secondaire » de 6 Ω , ce qui permet le branchement d'enceintes dont l'impédance est située entre 4 Ω et 8 Ω .

La polarisation de la cathode est dite « automatique », sa tension de fonctionnement étant déterminée par une résistance de 1,2 k Ω , ce qui la porte à un potentiel voisin de +110 V.

Cette résistance est découplée par un condensateur de 220 μ F/160 V.

La polarisation s'obtient à partir d'un point milieu « fictif » de la cathode. Il est réalisé à l'aide de deux résistances de 22 Ω . Ce procédé permet de mettre les deux côtés de la cathode au même potentiel par rapport à la résistance de polarisation, ce qui réduit le ronflement résiduel généré par le chauffage du tube de puissance qui est, rappelons-le, « direct ».

Nous chauffons la cathode et non un filament. La tension arrivant au pri-

maire du transformateur de sortie s'élève à 1120 V.

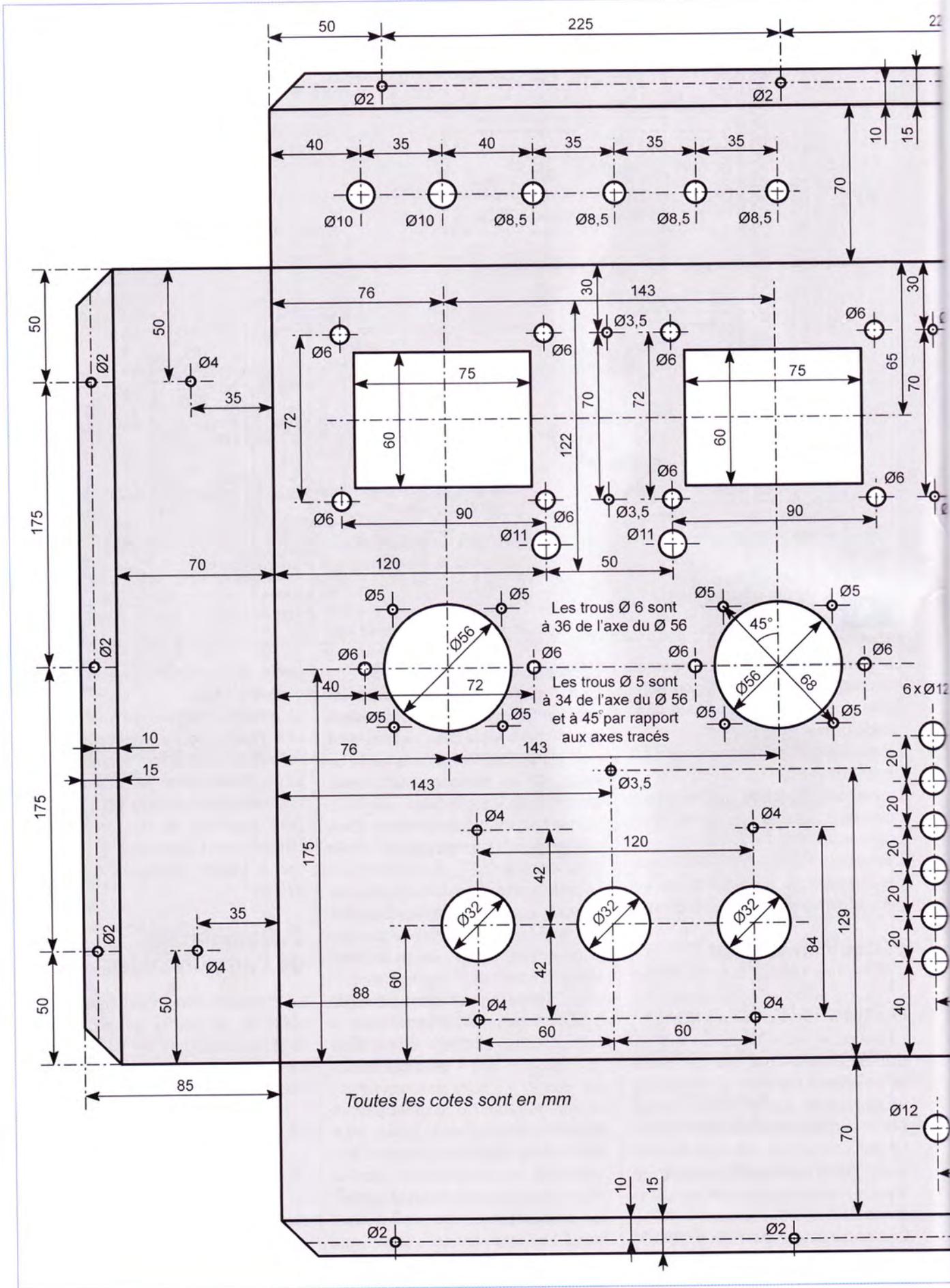
La grille de « commande » est reliée à une résistance de stabilisation de 2,2 k Ω qui élimine tout risque d'oscillation. Cette grille est chargée par une résistance de 220 k Ω . C'est au point commun de ces deux résistances qu'est appliquée la modulation à travers un condensateur de 470 nF.

L'alimentation de l'amplificateur

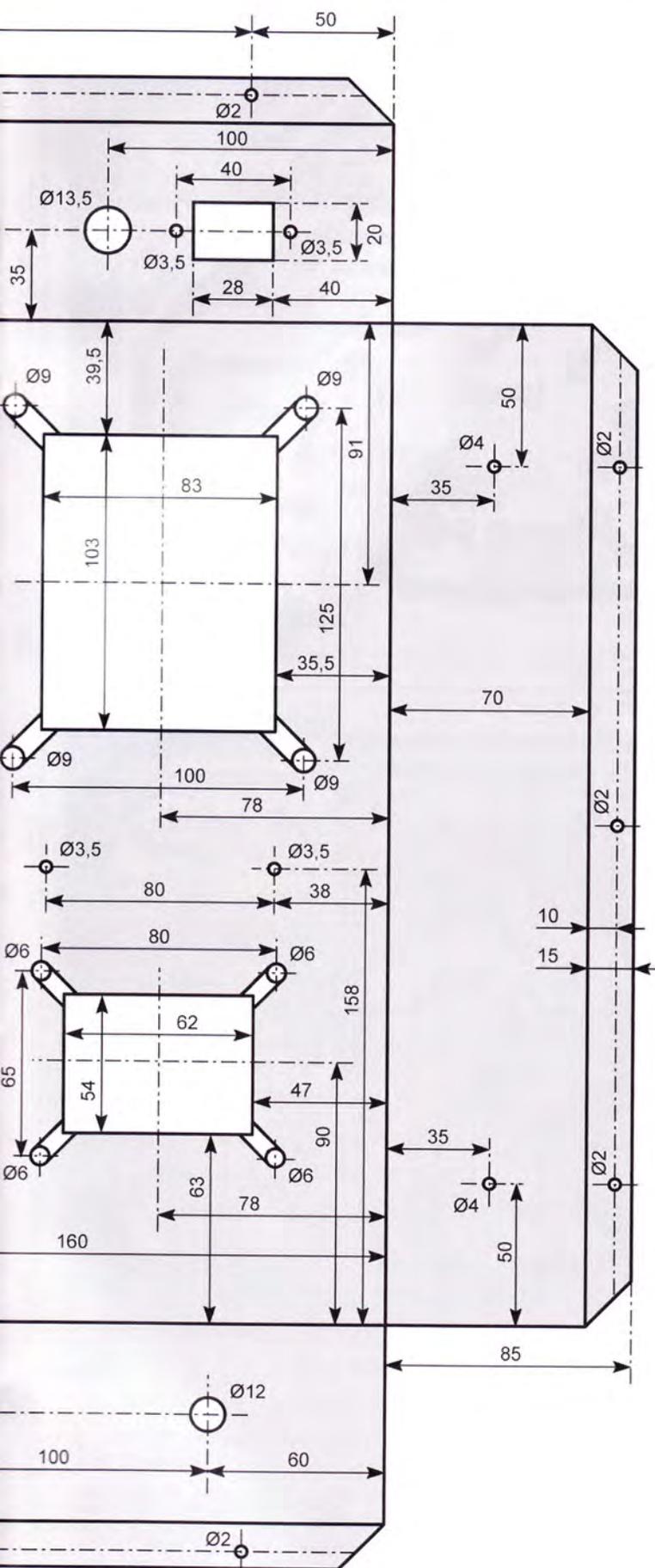
Le transformateur d'alimentation de 1000 VA comporte au secondaire deux enroulements de 450 V, deux enroulements de 10 V et un enroulement de 6,3 V (figure 4).

La haute tension

La haute tension est obtenue à partir de deux enroulements de 450 V mis en « série » par un interrupteur. En sortie des ponts de diodes, cette tension est redressée, puis filtrée par la mise en série de trois condensateurs de 220 μ F/450 V (soit une valeur



5



effective de 73 μF pour une tension de service de 1350 V). Un excellent filtrage LC est obtenu avec une self de 10 H/500 mA, suivie d'une autre série de trois condensateurs de 470 $\mu\text{F}/450$ V. Cette cellule dite en TT est suffisante pour filtrer efficacement la HT et « attaquer » les tubes de puissance par l'intermédiaire du primaire du transformateur de sortie.

Nous obtenons, à ce niveau du filtrage, une haute tension de +1120 V.

Cette tension sert de référence pour obtenir deux autres potentiels : l'un de +450 V, l'autre de +150 V.

Une première cellule de filtrage R/C, composée d'une résistance de 22 k Ω et deux condensateurs en série de 150 $\mu\text{F}/350$ V, alimente les amplificateurs « drivers » droite et gauche (les 6L6) en +450 V.

La seconde cellule, constituée d'une résistance de 270 k Ω et d'un condensateur de 47 $\mu\text{F}/450$ V, est utilisée pour l'étage d'entrée (6SL7).

Le potentiel n'est plus que de +150 V.

Le chauffage des tubes

Un premier enroulement de 6,3 V est réservé au tube d'entrée, la double triode 6SL7, ainsi qu'aux tubes « drivers », les 6L6. Ces trois tubes sont chauffés en courant continu, solution toujours préférable pour réduire le bruit. Un pont de diodes de 6A/100 V, auquel on ajoute un condensateur de 10 000 $\mu\text{F}/16$ V, suffit à obtenir une tension filtrée de +6,3 V.

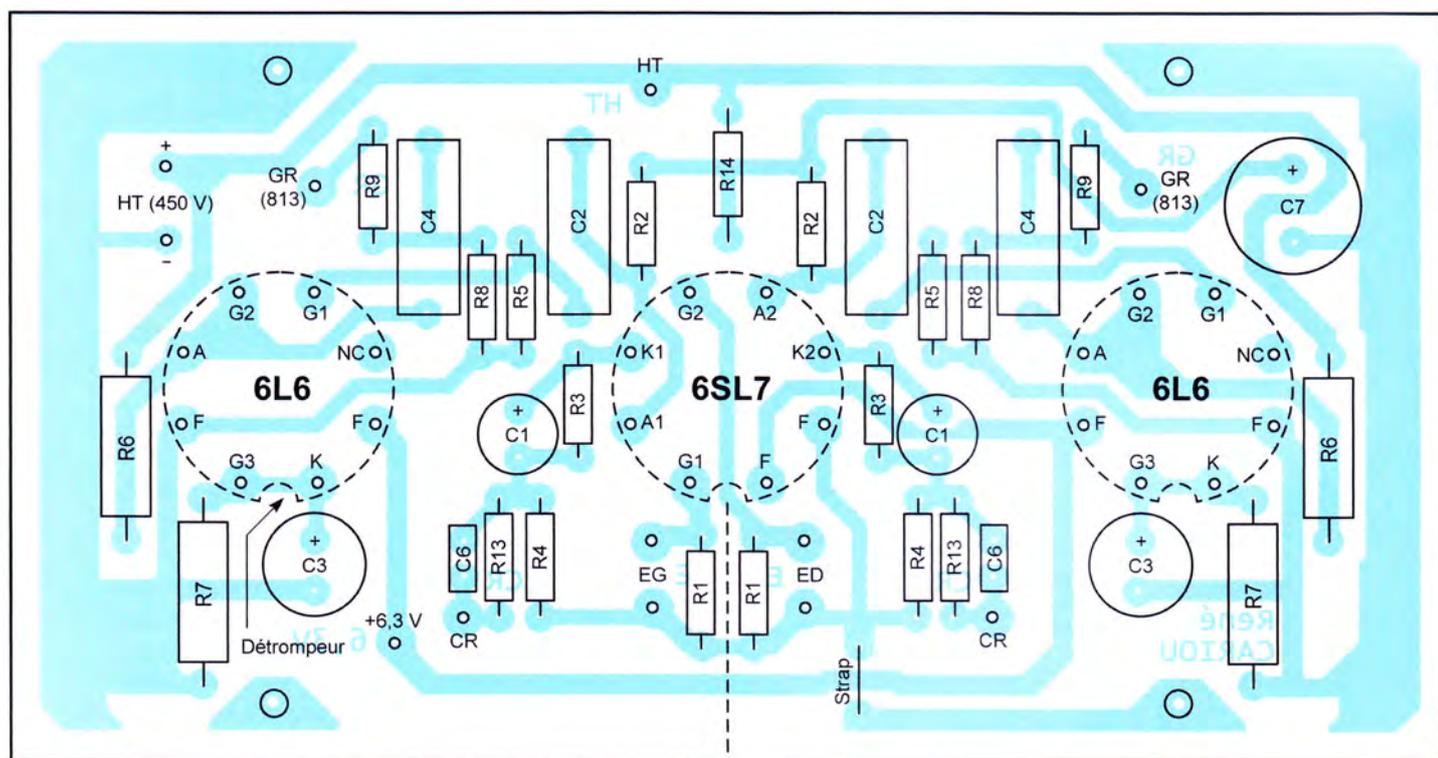
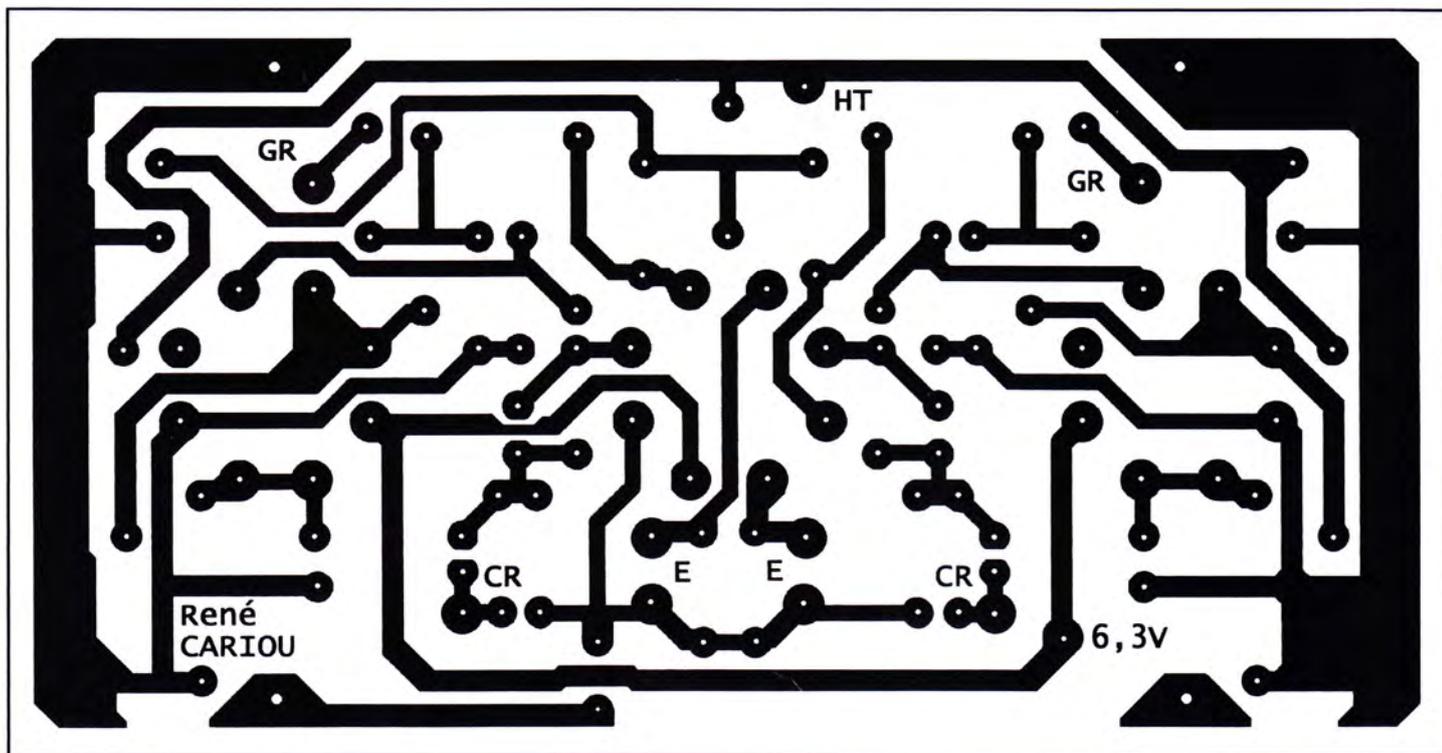
Le chauffage des tubes de puissance 813, qui s'effectue pour ces pentodes directement au niveau de la cathode (chauffage direct), est également réalisé en courant continu. Il s'agit toujours de réduire le bruit. Un pont de 35 A/100 V et un condensateur de 22 000 $\mu\text{F}/16$ V suffisent pour avoir un chauffage des 813 exempt de bruits parasites provenant du 50 Hz

Le châssis

Pour la plupart d'entre nous, le châssis demeure le problème le plus difficile à « régler ».

Le nôtre a été réalisé pour nos besoins par la société Tramétal⁽¹⁾.

Il est découpé dans une tôle d'acier de 1,5 mm d'épaisseur par découpes



Canal gauche

Canal droit

7a

« numérique » et dispose également d'un fond.

Pour en réduire le coût, nous avons acquis un châssis nu, mais il peut tout aussi bien recevoir une peinture époxy.

L'avantage en est qu'il suffit unique-

ment de fixer les éléments, plus rien à percer ou à découper.

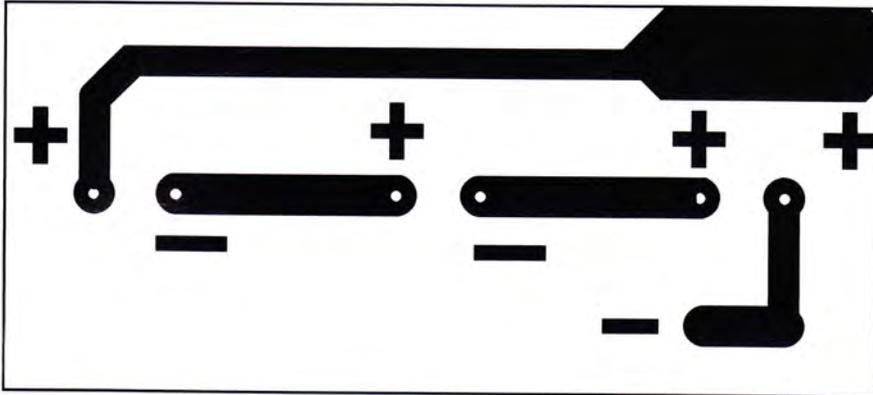
Le schéma des découpes, dimensions incluses, est proposé en **figure 5** (sans le fond qui n'est découpé que de fenêtres d'aération).

Rien ne vous empêche de travailler

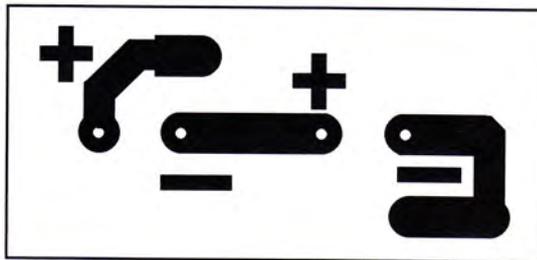
avec un châssis plus volumineux.

Dimensions des quatre transformateurs utilisés :

- alimentation 126 x 150 mm
- sortie 108 x 90 mm
- self 96 x 80 mm



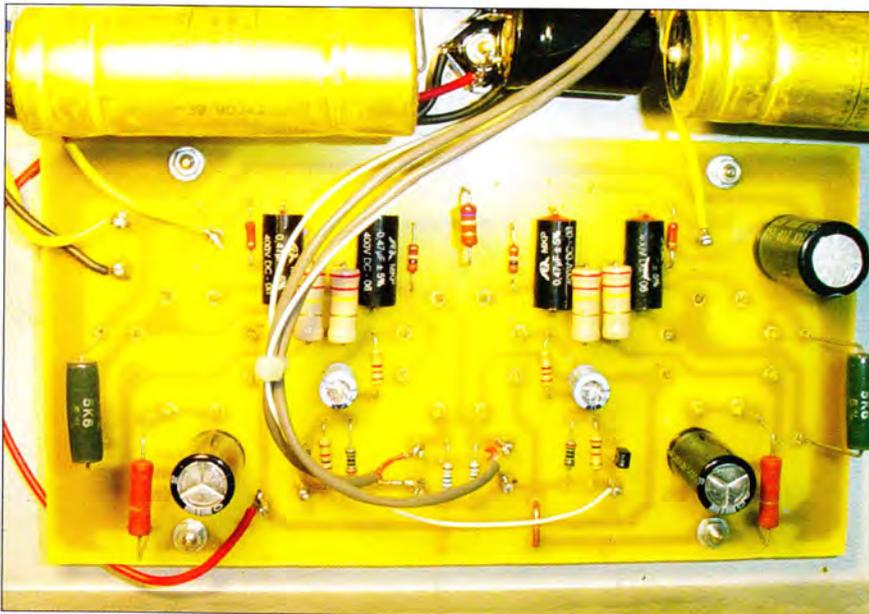
6b



6c

6a

C



Le câblage

C.I. des tubes d'entrées

Pour faciliter la réalisation et compte tenu des tensions mises en « jeu », nous avons préféré rassembler un certain nombre de composants sur

des circuits imprimés, tant pour la platine des tubes d'entrées que pour l'assemblage des condensateurs « haute tension » (figures 6a, 6b et 6c). Vous pourrez « couler », sur les pistes cuivrées, une fine couche de soudure à l'argent. Elle renforcera le circuit et

Nomenclature

CARTE DE COMMANDE

Résistances à couche métallique $\pm 5\%$

R1 : 220 k Ω /1 W

R2 : 100 k Ω /1 W

R3 : 2,2 k Ω /1 W

R4 : 100 Ω /1 W

R5 : 220 k Ω /2 W

R7 : 2,2 k Ω /3 W

R8 : 220 k Ω /2 W

R9 : 2,2 k Ω /1 W

R13 : 1 k Ω /1 W

R14 : 270 k Ω /2 W

Résistance bobinée $\pm 5\%$

R6 : 5,6 k Ω /7 W (Electronique Diffusion)

Condensateurs

C1 : 100 μ F/16 V

C2 : 470 nF/400 V

C3 : 100 μ F/100 V

C4 : 470 nF/400 V

C6 : 1,2 nF/100 V

C7 : 47 μ F/450 V

Divers

3 supports Octal pour circuit imprimé

2 tubes 6L6

1 tube 6SL7

12 picots à souder

ETAGE DE PUISSANCE

Résistances

R10, R11 : 22 Ω /7 W

R12 : 1,2 k Ω /25 W (Electronique Diffusion)

C5 : 220 μ F/160 V (sorties axiales)

1 support 7 broches (Saint-Quentin Radio)

1 tube 813

1 dissipateur (pour résistance châssis R12)

1 transformateur de sortie

impédance primaire : 9 k Ω

impédance secondaire : 6 Ω

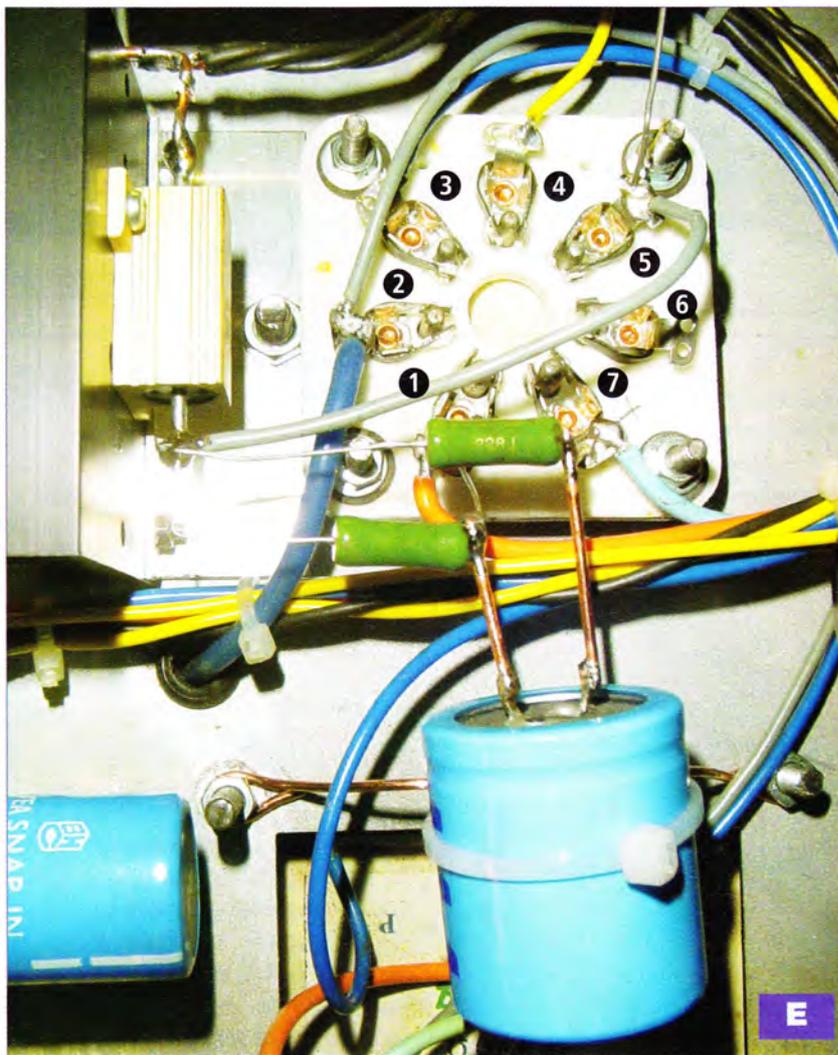
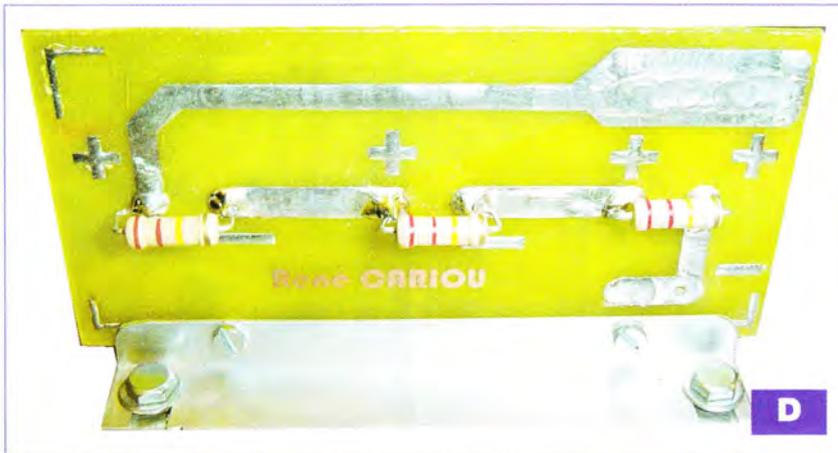
diminuera la résistance des pistes. Pour obtenir un travail presque parfait, une méthode consiste à :

- badigeonner le circuit avec un décapant de plombier,
- laisser traîner le fer à souder et la soudure qui se répand sans difficulté sur le circuit,
- laver le circuit avec un produit à vaisselle,
- rincer l'ensemble à l'eau claire,
- laisser sécher.

La figure 7a et la photo C montrent la disposition des composants.

Le montage des différents éléments ne soulève pas de difficulté particulière.

Concernant les résistances de charge (5,6 k Ω) et de cathode (2,2 k Ω) des



6L6, il conviendra de les surélever du circuit d'environ 1 cm. En effet, ces éléments chauffent, l'air doit donc pouvoir circuler librement dans cet environnement.

Les socles sont à souder côté « pistes », la position des ergots étant repérée. Ce circuit imprimé est surélevé du châssis par quatre entretoises de 10 mm de long.

Une fois le soudage des composants

terminé, vous pourrez le fixer définitivement, en veillant à ce que les masses situées sous le circuit imprimé portent parfaitement contre le châssis.

C.I. des condensateurs

Pour des raisons de commodité et surtout de sécurité, les (nombreux) condensateurs de filtrage sont fixés sur des circuits imprimés. Ces élé-

ments sont « calculés » pour laisser impérativement un espace entre chaque condensateur. Afin d'équilibrer les tensions aux bornes de ces condensateurs, on ajoute une résistance de 220 k Ω entre le (+) et le (-) de chaque élément. Ainsi, ils seront chargés de façon équivalente.

Les modules sont mécaniquement maintenus aux tiges filetées des transformateurs par des équerres en aluminium que vous trouverez vendues au mètre dans les rayons de quincaillerie (photo D).

Câblage « en l'air »

Le câblage « en l'air » restant à effectuer représente finalement un faible pourcentage de travail et concerne essentiellement les cathodes des tubes de puissance.

Il faut d'abord monter les résistances de cathodes de 1200 Ω /25 W sur des dissipateurs. Il est alors simple de souder les résistances de 22 Ω /7 W, ainsi que le condensateur de cathode (photo E).

Pour éviter des erreurs d'interconnexions, il est préférable d'indiquer au crayon à papier, sur le socle des 813 et en position « vu de dessous », la correspondance des cosses. Il s'agit, en effet, de ne pas se tromper au moment de relier électriquement ces éléments au reste du circuit.

Les interconnexions

Circuit de commande

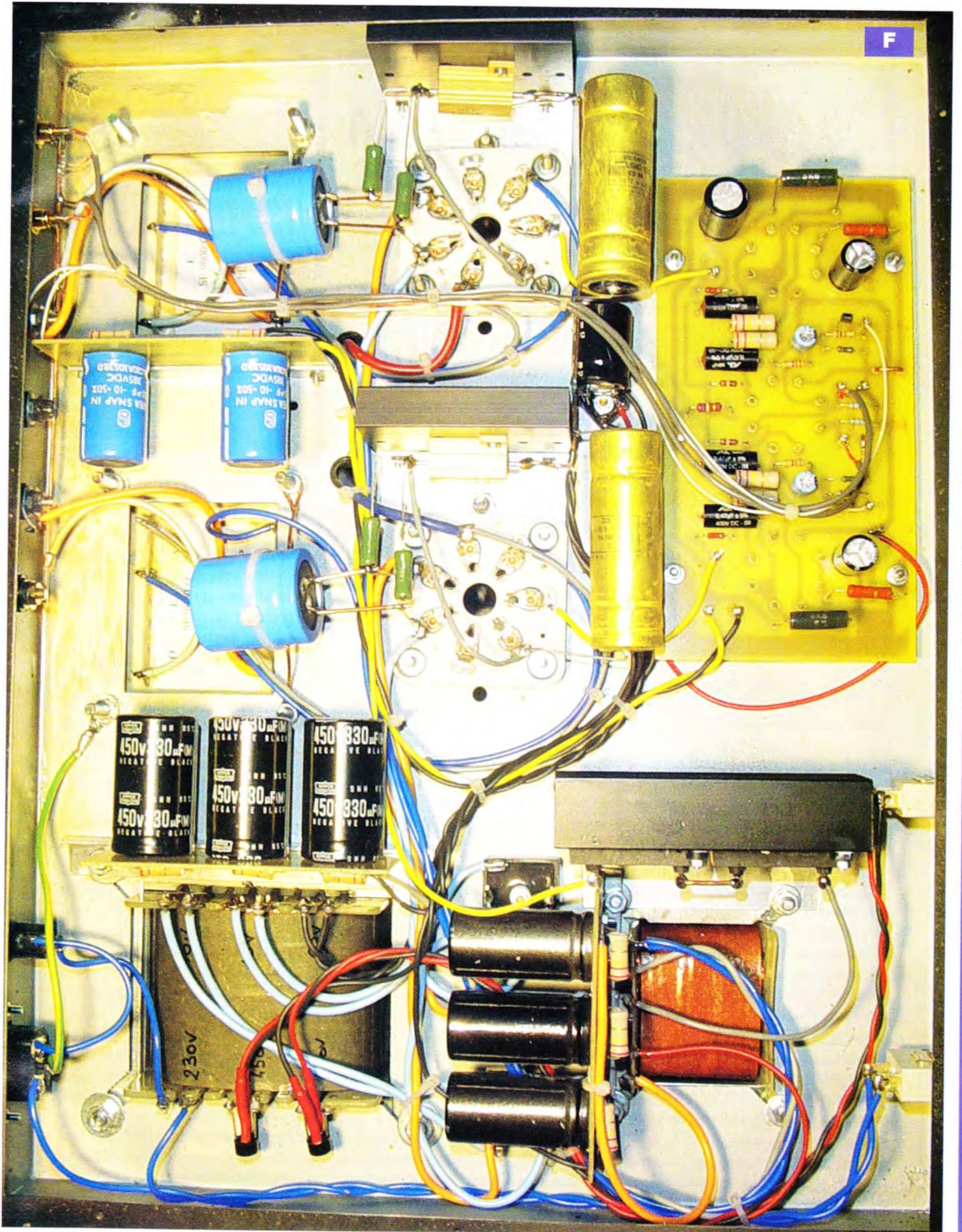
Les interconnexions vont s'effectuer conformément à la photo F qui représente notre prototype câblé et en ordre de fonctionnement.

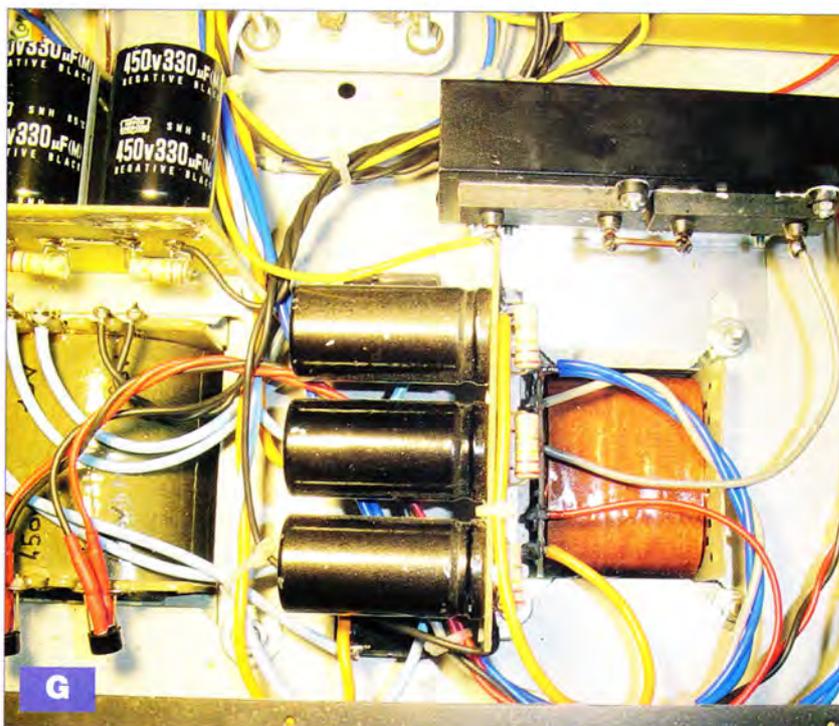
Pour établir le circuit primaire de l'alimentation, nous utilisons du câble de 10/10 $^{\circ}$ de couleur bleue.

Partant du socle 230 V, souder ou visser selon le cas :

- un premier câble allant vers le fusible, puis partant de ce dernier vers une cosse du primaire du transformateur d'alimentation,
- un deuxième câble allant vers l'interrupteur M/A et revenant vers la deuxième cosse du primaire du transformateur d'alimentation,
- un troisième câble jaune/vert de terre sera, à l'autre bout, soudé à une cosse à « œil », puis vissé au châssis.

F





Un fusible temporisé de 5 A suffira lors de la première mise sous tension.

Chauffage 6,3 V « continu »

À partir du 6,3 V du transformateur d'alimentation, il faut établir un câblage en fils torsadés de 10/10° pour connecter le pont de diodes de 6 A/100 V destiné au chauffage des filaments des tubes 6SL7 et 6L6.

Ces deux fils viennent se souder sur les pattes alternatives (~) du pont.

Ce pont de diodes est vissé au châssis entre un dissipateur de « résistance de cathode » de 813 et le module de commande. La patte négative (-) va à la masse de l'amplificateur et le (+) relie le picot situé sur le circuit imprimé d'entrée.

Le condensateur de 10 000 µF/16 V est soudé, en respectant ses polarités, directement aux pattes du pont de diodes. Ces dernières sont particulièrement rigides et la bonne tenue mécanique de ce condensateur est assurée. La masse est celle des « courants forts » réalisée en fil de cuivre rigide de 10/10° et reliant les résistances de 1200 Ω fixées aux dissipateurs.

Chauffage des tubes de puissance

En ce qui concerne les tubes de puis-

sance, nous disposons d'un pont de diodes par tube et aussi, naturellement, d'un condensateur de filtrage par élément.

Une fois les ponts de diodes de 35 A fixés au châssis, il convient d'établir des liaisons avec du fil de 20/10° entre les quatre cosses des secondaires de 10 V du transformateur et celles marquées (~) des ponts (fils bleu clair).

Ensuite, avec des fils de même diamètre, partant des cosses positive (+) et négative (-), nous allons alimenter les cathodes des 813.

La cosse (+) de chaque pont est soudée à un fil de couleur « orange ». L'autre extrémité est connectée à la cosse n°1 des supports.

La cosse (-) de chaque pont est soudée à un fil « bleu clair ».

L'autre extrémité est connectée à la cosse n°7 des supports.

Les condensateurs de filtrage de 22 000 µF/16 V sont soudés directement aux cosses n°1 et n°7 des supports.

Attention aux polarités (photo E) !

Particularité de ce tube 813, il faut relier la grille « supprimeuse » au point milieu de la résistance de cathode, autrement dit entre les deux résistances de 22 Ω et celle de 1200 Ω (photo E).

Nomenclature

ALIMENTATIONS

- 1 transformateur 230 V/2 x 10 V - 1 x 6,3 V - 2 x 450 V/1000 VA (Magnetic SA, Toulouse)
- 1 self de filtrage 10H/500 mA (Magnetic SA, Toulouse)
- 2 ponts redresseurs 800 V/1A
- 1 pont redresseur 100 V/6A
- 2 ponts redresseurs 100 V/35A
- 3 condensateurs 220 µF/450 V « SNAP »
- 3 condensateurs 330 ou 470 µF/450 V « SNAP »
- 2 condensateurs 150 µF/250 V « SNAP »
- 1 résistance « châssis » 22 kΩ/50 W (Electronique Diffusion) ou 10 kΩ + 12 kΩ en série
- 1 condensateur 10 000 µF/16 V « SNAP »
- 2 condensateurs 22 000 µF/16 V « SNAP »
- 8 résistances 220 kΩ/2 W
- 1 porte fusible/châssis
- 1 fusible 5AT
- 1 interrupteur M/A
- 1 interrupteur H.T.
- 1 socle/secteur 3 broches

Haute tension

Au secondaire du transformateur d'alimentation, se trouvent deux enroulements de 450 V. Chaque enroulement est redressé par un pont de diodes, les pattes (~) étant soudées directement aux cosses du transformateur (photo G). En considérant l'enroulement de 450 V situé à côté de celui du 230 V, la patte (+) du pont sera reliée à la self de filtrage, puis aux condensateurs de filtrage de « tête », 3 x 220 µF/450 V, au (+) du module (fil jaune). À la patte (-) de ce même pont, souder un fil de couleur « marron », l'autre extrémité allant se connecter à l'interrupteur « HT ».

Pour le deuxième pont, c'est la patte (+) qui va se connecter à l'interrupteur « HT ».

Utiliser un fil « rouge » pour le (+) et un premier fil « marron » pour le (-). Souder un deuxième fil « marron » au module de filtrage de « tête » au (-). Ce deuxième fil va rejoindre le premier puis, en les torsadant, aller les souder à la ligne de masse des « courants forts ». Cette ligne de masse est réalisée avec du fil de cuivre rigide de 10/10° (étamé ou non) et relie les résistances de cathodes des 813.

À cette ligne de masse est également raccordé le (-) du pont qui redresse le 6,3 V ~.

Passons la self de filtrage et intéressons-nous à sa deuxième cosse.

De cette deuxième cosse, établir les liaisons suivantes :

- un fil de couleur « grise » va se connecter à une cosse d'une résistance « châssis » de 10 k Ω fixée à un dissipateur. Nous avons, en cet endroit de la réalisation, deux éléments reliés en série, un de 10 k Ω et l'autre de 12 k Ω , soit une résistance de 22 k Ω .

- un fil également de couleur « grise » va se connecter au (+) du deuxième module de filtrage composé de trois condensateurs de 330 μ F/450 V. Le (-) de ce module de filtrage va, comme le précédent, être raccordé à la masse des « courants forts ». Utiliser un fil de couleur « marron » qui sera torsadé avec les deux premiers. Nous avons donc bien à l'arrivée trois fils « marron » soudés au fil de cuivre rigide de 10/10°.

- deux fils de couleur « bleue » et torsadés vont se connecter chacun à un enroulement primaire des transformateurs de sorties.

En sortie des deux résistances « châssis » de 22 k Ω , souder un fil de couleur « jaune ». Celui-ci va se connecter au (+) du troisième module de filtrage composé de deux condensateurs de 150 μ F/385 V. Ce module est fixé verticalement à une équerre maintenue par les tiges filetées de l'un des transformateurs de sortie.

De ce module de filtrage partent :

- un fil de couleur « jaune » pour le (+)
- un fil de couleur « marron » pour le (-)

Ces deux fils torsadés vont se souder au module de commande, la mise à la masse se faisant par l'intermédiaire de la visserie servant à la fixation du module au châssis de l'amplificateur.

Le filtrage de la haute tension se compose de :

- trois condensateurs de 220 μ F/450 V reliés en série

- une self de 10 H/500 mA

- trois condensateurs de 470 μ F/450 V reliés en série

Les transformateurs de sorties

Chaque transformateur de sortie est pourvu de cinq cosses :

- 0 Ω et 6 Ω pour le secondaire

- Haute Tension (HT)

- Plaque (A)

- Grille (E)

La cosse HT reçoit un fil de couleur « bleue » issu du second groupe de condensateurs, ceux situés après la self, ce que nous venons de voir précédemment avec la HT.

La cosse A (plaque de la 813) est reliée au support du tube, cosse n°2, par un fil de couleur « grise ».

De ces cosses n°2, repartent des câbles **bien isolés** qui traversent le châssis au travers de passe-fils : couleur « bleue » pour un canal, couleur « rouge » pour l'autre.

Ces câbles sont munis aux autres extrémités des « tétos » en stéatite qui vont appliquer la haute tension aux anodes des 813.

La sécurité est optimale, les « tétos » actuels étant de qualité.

Enfin, il reste à câbler la cosse de grille E du transformateur à celle du socle, cosse n°3. Utiliser des fils de couleur « bleue ».

Liaisons « audio »

Relier les borniers noirs des sorties HP aux cosses de masse des prises d'entrées cinch avec du fil de cuivre rigide de 10/10°.

Cette ligne de masse commune sera reliée à la ligne de masse des « courants faibles » par l'intermédiaire des blindages des câbles de modulation reliés aux prises cinch.

Ces câbles vont directement se connecter aux grilles des tubes d'entrées.

Comme précédemment pour la ligne de masse des « courants forts », la **masse châssis** s'effectue par la visserie de fixation du module de commande.

Souder sur les cosses 6 Ω des transformateurs un fil de couleur « orange » pour alimenter les borniers rouges des sorties HP, desquels partiront également les fils de « retour » pour la contre-réaction.

Utiliser du fil de faible section (couleur « blanche » sur le prototype). Chaque fil est soudé au picot CR du module de commande.

Attention à ne pas inverser les canaux gauche et droit.

Toutes ces prises sont isolées du

châssis s'il est métallique, le problème ne se pose pas avec un cadre support en bois.

Souder sur les cosses 0 Ω des transformateurs de sorties, des fils de couleur « blanche » et les relier aux autres extrémités à la ligne de masse des « courants faibles ».

Les supports des 813

Il reste à effectuer deux interconnexions aux cosses de ces supports. Elles concernent les cosses n°4 et n°5.

- Souder tout d'abord le condensateur de découplage de 220 μ F/160 V de la résistance de cathode, la polarité (+) sur la cosse n°5 et la polarité (-) à la ligne de masse des « courants forts ».

- Souder un fil de couleur « grise » d'un côté à la cosse n°5, de l'autre côté à la résistance « châssis » de 1200 Ω (point commun également des résistances de 22 Ω)

- Souder des fils de couleur « jaune » aux cosses n°4 et connecter les autres extrémités au module de commande (picots GR)

Les interconnexions sont terminées.

Quelques précautions

Attention : danger !

Toutes les tensions sont dangereuses et quelques précautions élémentaires mettent à l'abri des désagréments.

Ne pas travailler inutilement dans un appareil sous tension ou alors enfiler des gants de travaux ménagers en caoutchouc.

Ne mettre qu'une main à la fois dans l'appareil, l'autre étant, comme aux temps anciens, dans la poche.

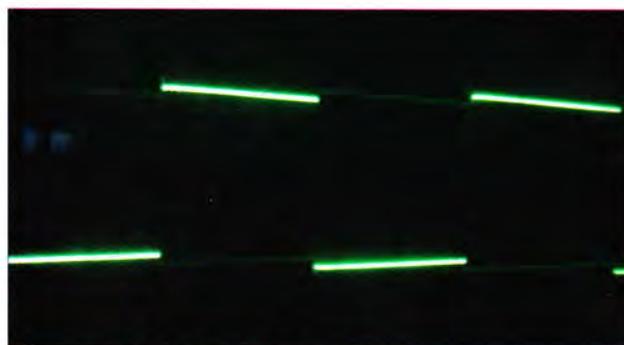
Faites attention aux condensateurs qui restent chargés quelques minutes après que l'amplificateur ait été « éteint ».

Travailler dans un endroit sec, isolé du sol par un tapis, une planche en bois ou alors porter des chaussures à semelles isolantes.

Pour vous, comme pour votre entourage (en particulier si vous avez des enfants), ne laissez pas votre appareil à portée des mains car les bulbes des 813 atteignent des températures très élevées.



Signal carré à 40 Hz et à 5 VeFF



Signal carré à 100 Hz et à 5 VeFF



Signal carré à 1 kHz et à 5 VeFF



Signal carré à 10 kHz et à 5 VeFF

Mise en fonction

Avant la première mise sous tension, vérifier une dernière fois les interconnexions effectuées en fonction des schémas théoriques des figures 3 et 4 et du plan de câblage F. Observer la qualité des soudures. Une soudure froide peut être à la base d'une panne difficilement détectable.

Vérifier la qualité des fixations, l'isolement des liaisons électriques, le respect des polarités de certains composants (ponts redresseurs, condensateurs électrochimiques).

Le circuit de chauffage

Mettre l'amplificateur sous tension en basculant uniquement l'interrupteur M/A, celui figurant à droite de la face avant.

Ne pas basculer l'interrupteur de la haute tension et ne pas insérer les tubes dans leurs supports.

Nous allons uniquement vérifier que tous les supports sont bien reliés à la basse tension :

- soit une tension de 10 V aux broches (1) et (7) des supports « Giant 5BA » des pentodes 813 (photo E)
- soit des tensions de 6,3 V aux

broches (7) et (8) de la 6SL7 et aux broches (2) et (7) des 6L6 (photo C).

Nota :

Ces deux tensions seront d'une valeur légèrement supérieure puisqu'il n'y a aucun débit de demandé au transformateur d'alimentation.

Basculer l'interrupteur M/A pour décharger les condensateurs et enfi-cher les différents tubes.

Ne pas oublier de clipper les tétos des 813 (photo d'entrée) en respectant les couleurs des fils.

Charger les borniers HP avec des résistances ayant une valeur résistive proche de 6 Ω et pouvant dissiper 50 W (10 Ω /15 Ω , par exemple).

Remettre l'appareil sous tension, sans basculer celui de la haute tension. L'éclairage des tubes doit être normal.

Relier les prises CINCH d'entrées à un générateur audio en position sinus 1 kHz en ayant pris soin de tourner le potentiomètre de volume à fond dans le sens anti-horaire.

Connecter les sondes de l'oscilloscope aux bornes des charges.

Les mesures peuvent commencer après avoir basculé l'interrupteur de la H.T.

Quelques mesures

Avec une sensibilité d'entrée de 1 VeFF, l'amplificateur délivre 40 Weff à 6 % de distorsion.

À 5 VeFF, sa bande passante s'étend de 5 Hz à 52 kHz à -3 dB.

La distorsion totale mesurée donne les résultats suivants pour une puissance de 5 Weff :

- 100 Hz : 0,1 %
- 1 kHz : 0,09 %
- 10 kHz : 0,9 %

Les signaux carrés sont relevés pour une puissance de sortie de 5 Weff aux fréquences de 40 Hz, 100 Hz, 1 kHz et 10 kHz.

Avec ses 2 x 40 Weff, cet amplificateur est en mesure « d'attaquer » toutes les enceintes du marché ayant un rendement minimum de 90 dB.

Il ne vous reste plus qu'à remplacer le générateur BF par un lecteur de CD, les résistances de charges par vos enceintes et vous plonger dans une écoute attentive.

R. CARIOU

⁽¹⁾ Tramétal, route Thierzat 86150 L'Isle Jourdain. Tél. : 05 49 48 74 55

LA PERFORMANCE AERONAUTIQUE ET SPATIALE AU SERVICE DE L'AUDIO



6 rue François Verdier
31830 PLAISANCE DU TOUCH
Tél 05 61 07 55 77 / Fax 05 61 86 61 89
E-mail : contactacea@acea-fr.com
Web : www.acea-fr.com

**PROMOTION DE FIN D'ANNEE :
-10% SUR TOUT LE CATALOGUE**

JUSQU'AU 31/01/2009

DE NOMBREUX AUTRES PRODUITS SONT DISPONIBLES SUR DEMANDE
FOURNITURE DE CES PRODUITS EN KITS: Frais de port offert !

SELF

LED 146-152	EI/10H	58.00 €	LED 161-162 7H	47.50 €
LED 151-170	Circuit C/3H	47.50 €	LED 175 Torique	30.50 €

LAMPES UNITAIRES

5725 CSF + sup. (par 10 et +)	8.40 €
6005 CSF + sup. (par 10 et +)	15.00 €
ECC81, ECC82, ECC83	10.00 €
EF86	20.00 €
ECF82	15.00 €
EZ81	16.60 €
ECL86 Philips	17.50 €
GZ32	19.00 €

LAMPES APPAIREES

EL34 Tesla ou EH	35.00 €
845 Chine	110.00 €
300B Sovtek	200.00 €
KT90	120.00 €
KT88 EH	69.00 €
6550 EH	58.00 €
6L6 EH	35.00 €
6V6 EH	27.00 €
6SN7 EH	29.00 €
EL84 EH	26.00 €

Port lampes de 1 à 4 : 11.00€
de 5 à 10 : 13.00€

TRANSFORMATEURS D'ALIMENTATION

Faible induction 1 Tesla - primaire 230V avec écran

LED N°	Secondaires	Prix TTC
136-140	2 x 225V - 2 x 6.3V	84.50 €
146-150	2 x 380V - 2 x 6.3V - 5V	97.00 €
147-148-188	Préampli tubes circuits "C" 2 x 220V - 2 x 6.3V	79.50 €
149-158	ALIM H.T./Préampli tubes 2 x 300V - 2 x 6.3V	82.50 €
152	2 x 300V - 2 x 6.3V	103.00 €
157-160	380V + 6.3v + 4 x 3.15V	96.00 €
161-162-163	Prim. 220V/230V - Ecran - 2 x 330V - 6.3V en cuve	185.50 €
172-173	Sec. 2 x 12V	89.50 €
163	Filtre actif 2 x 240V + 12V	57.00 €
166-170	Ecran - Sec. 2 x 230V + 6.3V - 4.5A	92.00 €
167-169	400V + 6.3V + 4 x 3.15V + 75V	110.00 €
EP 299	340 V - 4 x 3.15 V - 75 V - 6.3 V	87.50 €
EP 305	300 V - 9 V - circuit C	77.00 €
EP HS 11/06	Ampli 300B - 350 V - 75 V - 6.3 V - 4 x 5 V - En cuve	142.00 €

TRANSFORMATEURS DE SORTIE

LED n°	Imp. Prim	Imp. Sec	Puissance	Prix TTC
138	5000Ω	4/8Ω	5W	55.00 €
140-170-175	1250Ω	8Ω	Single 20W	85.50 €
145	625Ω	4/8Ω	Single 40W	110.00 €
146-150	6600Ω	4/8Ω	50W	110.00 €
152	2,3/2,8/3,5KΩ	4/8/16Ω	30W circuit C en cuve	227.00 €
157-160-169	3800Ω	4/8/16Ω	60W	110.00 €
159-171-173	3500Ω	4/8Ω	15W Circuit C en cuve	150.50 €
161-162	Single 845 - 8000Ω	4/8Ω	60 W - Circuit C en cuve	264.00 €
EP HS 11/06	PP 300B - 3000Ω	4/8Ω	30 W - En cuve	149.50 €

SUPPORTS

Noval ou octal chassis	4.60 €
Noval CI	3.30 €
Octal CI	4.60 €
4 cosses "300B"	9.90 €
Jumbo 845 arg.	18.00 €
Noval CI 7 broches	3.30 €

CONDENSATEURS

1500μF 350V	27.40 €
2200μF 450V	53.40 €
470μF 450V	16.00 €
470μF 500V	30.00 €
150000μF 16V	33.50 €
47000μF 16V	15.00 €

Port : 17€ le 1er transfo + 6€ par transfo supplémentaire
Minimum de facturation 50€ TTC sinon frais de traitement 6.50€



ABONNEZ-VOUS

à

ÉLECTRONIQUE PRATIQUE

43 € (France Métropolitaine)

11 NUMÉROS

A retourner à Transocéanic, Electronique Pratique, service abonnements, 3 boulevard Ney 75018 Paris - France

Nom _____ Prénom _____
 Adresse _____
 Code postal _____ Ville/Pays _____ Tél ou e-mail _____

Abonnement 11 numéros

France Métropolitaine : 43,00 € - DOM par avion : 50,00 € - TOM par avion : 60,00 €
 UE : 52,00 € - Europe (hors UE), USA, Canada : 60,00 € - Autres pays : 70,00 €

Je choisis mon mode de paiement :

- Chèque à l'ordre d'Electronique Pratique
 Virement bancaire (IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445 • BIC : CCFRFRPP)
 Carte bancaire (compléter ci-dessous)

J'inscris ici mon numéro de carte bancaire

Expire le

____/____/____

J'inscris ici les trois derniers chiffres du numéro cryptogramme noté au dos de ma carte

Conformément à la loi Informatique et libertés du 06/01/78,

vous disposez d'un droit d'accès et de vérification aux données vous concernant.

Signature (obligatoire si paiement par carte bancaire)

KSH

WATSON

Amplificateur hybride 2 x10 Weff à 2 x15 Weff



Quelles raisons peuvent freiner le lecteur désireux de se lancer dans la réalisation d'un amplificateur à tubes ? La complexité, le coût, la nécessité de découper un châssis, la difficulté de la mise au point... ? La conception du Watson répond à un seul objectif : obtenir un bon rapport simplicité/qualité d'écoute.

Chaque canal de cet amplificateur stéréo est équipé d'un push-pull d'EL84 (10 à 15 W selon la classe) et d'un étage de préamplification basé sur un OPA2604. L'ensemble prend place sur un circuit

imprimé unique qui regroupe les étages de puissance, les préamplificateurs et les alimentations.

Il est équipé de connecteurs à vis pour simplifier les interconnexions ! Vous ajoutez à cela un châssis entièrement pré-percé disponible auprès des sociétés Tubox ou Fréquence Tubes et vous pouvez monter le Watson en une dizaine d'heures.

Tellement élémentaire, ce cher Watson, qu'il fonctionne du premier coup et ne doit revenir qu'à environ 500 € tout compris, avec des transformateurs de qualité et un châssis pré-percé. Qui résisterait encore à cet appel du tube DIY (*Do It Yourself*) ?

Il suffisait d'y penser : l'astuce consiste à coupler un étage de préamplification équipé d'un ampli-OP à un push-pull de pentodes. L'intérêt de ce montage réside dans la présence des tubes de puissance en sortie, lesquels lient l'esthétique à la qualité du son « tubes ».

Le schéma

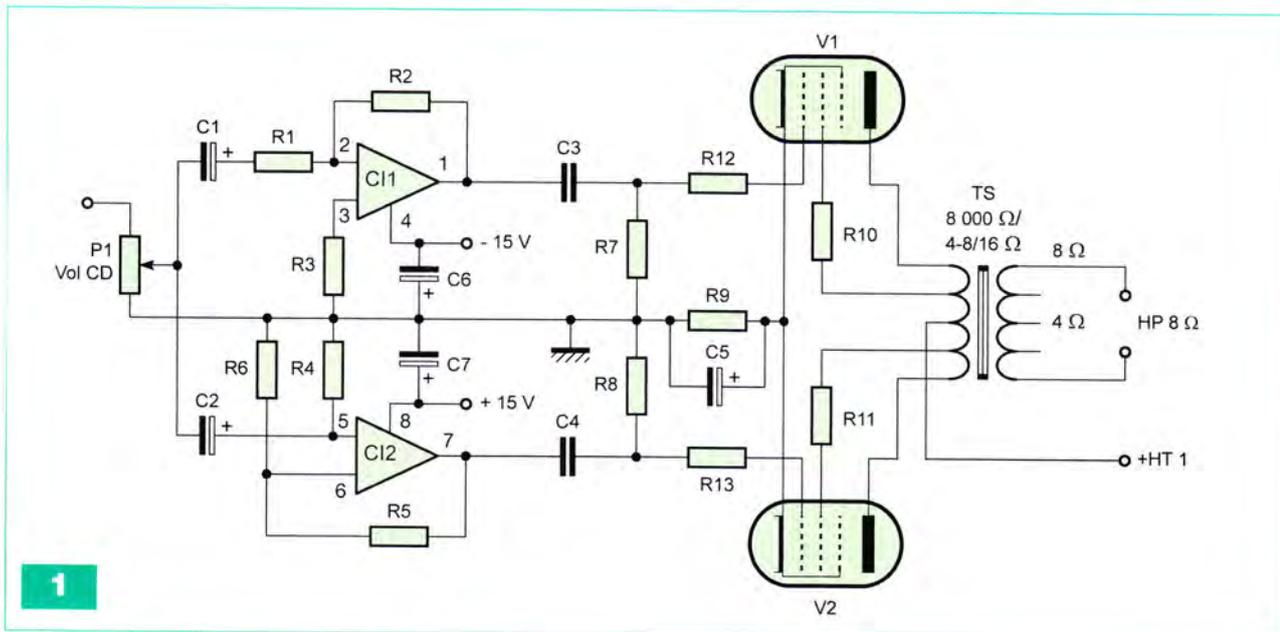
Le préamplificateur/déphaseur

L'étude est très simple, ce que confirme la **figure 1**. Le signal en provenance de la source (lecteur CD, par exemple) est dosé par un potentiomètre P1 de 47 k Ω logarithmique. Il est ensuite transmis au circuit opérationnel via deux condensateurs de 4,7 μ F (C1 et C2).

Les résistances R1, R2, d'une part, et R5, R6, d'autre part, permettent d'ajuster les gains des amplis OP.

D'abord, précisons que tout lecteur qui ne trouverait pas les OPA2604, pourrait utiliser un circuit plus basique tel que le NE5532 (même brochage). Vous pourrez aussi vous « amuser » en utilisant le Watson comme banc d'essai pour tester le son de différents circuits opérationnels.

Nous avons besoin d'un gain impor-



tant pour « exciter » correctement les grilles des pentodes et de plus équilibrer au mieux l'amplitude des deux signaux déphasés.

Une équation nous permet de déterminer les valeurs des résistances pour un gain équivalent de chaque phase.

Le gain de l'amplificateur « inverseur » est régi par le rapport $R2/R1$. Nous avons choisi $22\text{ k}\Omega$ pour $R1$ et $475\text{ k}\Omega$ pour $R2$. Cette valeur, si elle est peu commune, se trouve en tolérance $\pm 1\%$. Le gain ainsi obtenu avec cet étage est de 21,6.

Pour obtenir ce même gain avec l'étage « non inverseur », il faut jouer sur les résistances $R5$ et $R6$. En prenant pour $R5$ la même valeur de $22\text{ k}\Omega$ et pour obtenir le même gain de 21,6, nous avons retenu une résistance de $1,07\text{ k}\Omega$.

Toutes ces résistances sont à $\pm 1\%$. Il est évident que des résistances de $22\text{ k}\Omega/5\%$, $470\text{ k}\Omega/5\%$ pour $R2$, et $1\text{ k}\Omega/5\%$ pour $R6$, donneront des résultats presque similaires, mais... nous avons voulu faire mieux en nous rapprochant des valeurs théoriques calculées.

C'est terminé pour l'étage préamplificateur/déphaseur qui « attaque » au travers des deux capacités $C3$ et $C4$ de $0,1\text{ }\mu\text{F}/100\text{ V}$ les grilles des EL84.

Le push pull

Celui-ci fonctionne en polarisation automatique et en mode ultra-linéaire.

Les cathodes des EL84 sont polarisées par une résistance commune $R9$ de $150\text{ }\Omega$, découplée par une capacité de $100\text{ }\mu\text{F}/25\text{ V}$. Elles sont donc portées à un potentiel positif par rapport aux grilles de « commande » qui sont reliées à la masse au travers des résistances $R7$ et $R8$ de $470\text{ k}\Omega$.

Les anodes sont connectées au transformateur de sortie. Les grilles (écran), quant à elles, sont reliées aux prises du transformateur de sortie au travers des résistances $R10$ et $R11$ de $470\text{ }\Omega/1\text{ W}$. Ces prises « écran » doivent être réalisées à 43 % de l'enroulement en partant du point milieu. Une résistance de $1\text{ k}\Omega$ ($R12$ ou $R13$) est insérée dans chacune des grilles de « commande » pour améliorer la stabilité du montage.

Les lecteurs qui réaliseront ce montage se rendront compte que le circuit imprimé est bien plus complet que s'il n'était étudié que pour le seul schéma de la figure 1. Nous avons voulu faire du Watson un banc d'essais pour les passionnés des « luttes de classe ».

Vous pourrez ainsi passer du montage en classe B (avec polarisation négative de la grille) au classe AB1 sans raccordement en ultra-linéaire, pour varier votre plaisir d'écoute. Et pourquoi pas un push-pull en pseudo-triodes ?

Comme vous le constatez sur le schéma, il n'y a pas de contre-réaction.

L'alimentation

Il ne nous reste plus qu'à alimenter le Watson, ce qui nécessite trois tensions, dont une symétrique (figure 2).

- La haute tension ne doit pas dépasser 350 V avec des EL84.

Avec des 7189, vous pouvez « monter » jusqu'à 400 V et ainsi obtenir une puissance d'environ 20 W .

Nous avons demandé au fabricant de transformateurs ACEA de prévoir un enroulement de $2 \times 250/300\text{ V}$.

Nous avons opté pour l'enroulement de 250 V , ce qui donne, après redressement et filtrage, environ 300 V en charge ($+354\text{ V}$ à vide).

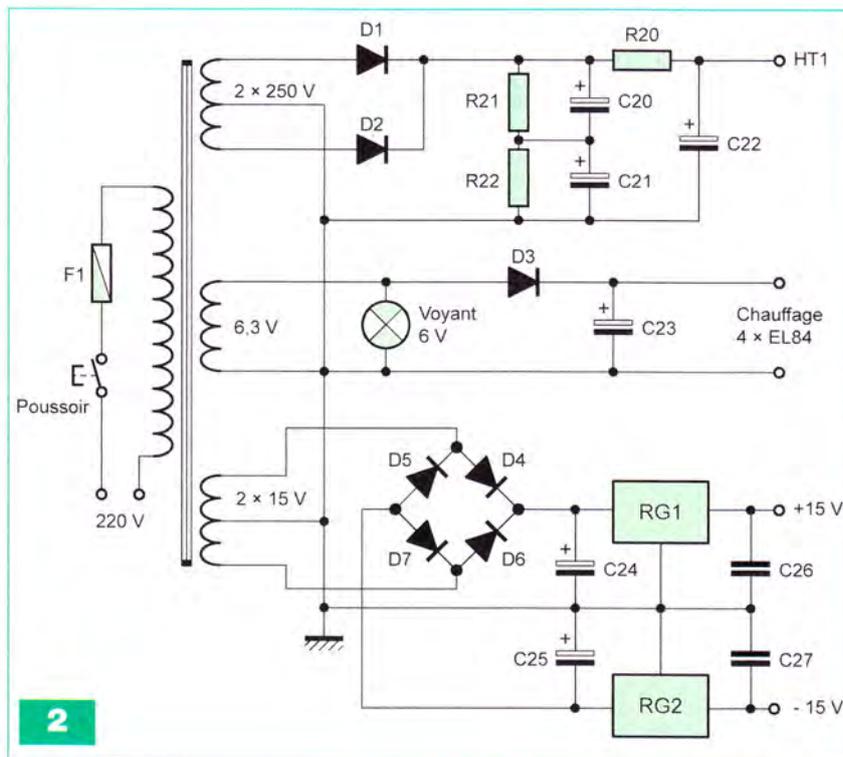
- Une alimentation $\pm 15\text{ V}$ filtrée et régulée.

- Une alimentation $6,3\text{ V}$ pour les filaments des EL84.

Bien que destinée à l'étage de puissance, nous avons préféré redresser et filtrer grossièrement cette alimentation $6,3\text{ V}$ afin de réduire au minimum tout bruit parasite.

Le circuit imprimé « héberge » les composants de l'alimentation haute tension (sauf $C22$ qui est fixé au châssis). Les diodes de redressement sont à commutation rapide de type BYW96E. Le condensateur $C22$ de grande capacité ($1500\text{ }\mu\text{F}/350\text{ V}$) donne une excellente dynamique au Watson aux basses fréquences, en particulier de par sa réserve d'énergie lors des sollicitations en courant.

L'alimentation $\pm 15\text{ V}$ régulée est éga-



2

lement insérée sur le circuit. Il s'agit d'une structure hyper classique à base de 78L15, pour la branche positive, et de 79L15, pour la branche négative. Pour les lecteurs désireux d'essayer la polarisation négative de grille, le circuit imprimé prévoit l'emplacement d'une diode qui reprend le 15 V alternatif pour le redresser. Une diode zéner et une résistance ajustable sont prévues sur le circuit imprimé pour réguler cette tension et la rendre réglable.

Le Watson n'ayant plus de secret, passons maintenant au montage de l'appareil.

Le châssis

Nous avons utilisé le châssis conçu par la société Tubox pour le push-pull de ECL86 paru dans le *Led* n°183. Ce choix a contribué amplement aux objectifs de simplification que nous nous étions donnés pour ce montage. Il permet de fixer :

- Le transformateur d'alimentation, les deux transformateurs de sorties, le condensateur de filtrage de la haute tension et le circuit imprimé contre la face supérieure.
- Les prises RCA, les sorties haut-parleurs, un socle secteur et un porte fusible en face arrière.

- Le double potentiomètre de volume et un interrupteur secteur en face avant.
- Les pieds en caoutchouc livrés avec le châssis contre la face inférieure.

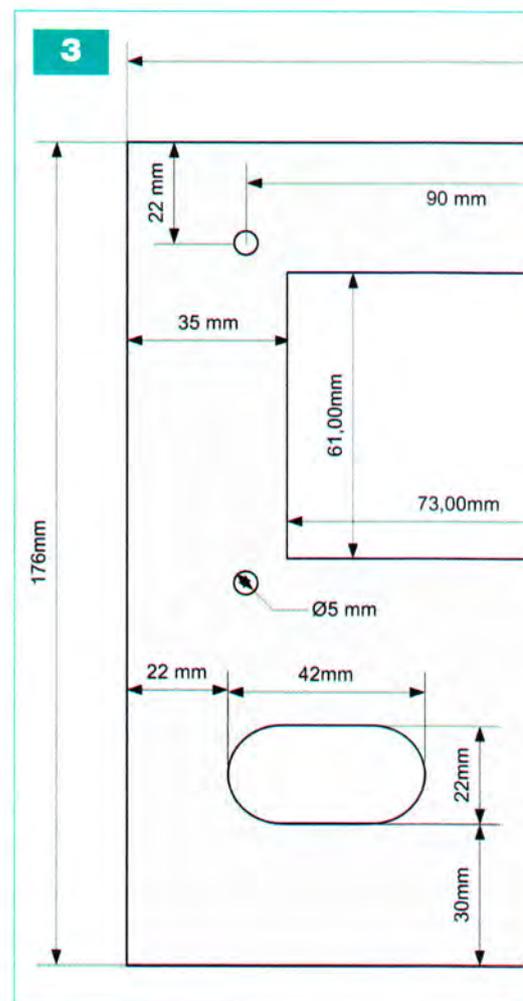
Si de nombreux lecteurs se manifestent auprès de Tubox (infos@tubox.fr), la société pourra sans doute relancer la fabrication du châssis de cette réalisation. Vous pouvez aussi percer vous-même votre châssis. Un schéma de coupures de la plaque supérieure est donné en **figure 3**. Les repérages des trous de fixation du circuit imprimé se font par pointages avec un feutre au travers des cinq forages effectués dans la plaque d'époxy.

Le circuit imprimé

Le circuit imprimé, dont nous donnons les implantations côté cuivre et côté composants aux **figures 4 et 5**, a été conçu pour se visser au châssis en cinq points.

A part le **soudage des supports** des tubes **du côté cuivre**, l'insertion des composants sur l'autre face du circuit imprimé ne pose pas le moindre problème.

Des borniers à vis ont été prévus pour faciliter le câblage final du



Watson. Ils sont positionnés de manière à présenter les connexions vers l'extérieur du circuit imprimé.

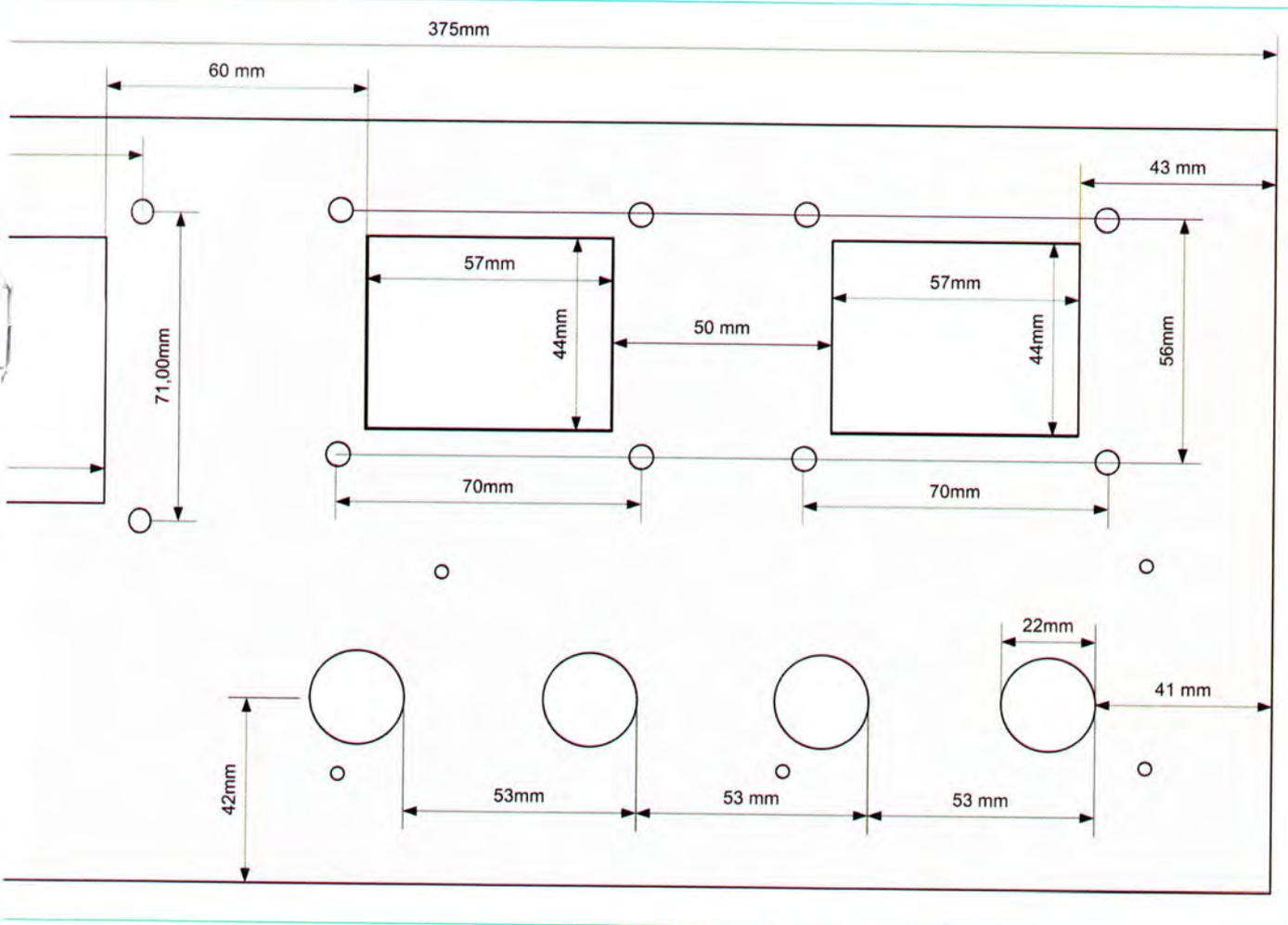
En soudant les supports des tubes, il faut simplement veiller à ce qu'ils soient bien horizontaux par rapport à la platine imprimée.

Le fer à souder sera utilisé pour étamer les pistes cuivrées d'alimentation des filaments des EL84. Cette opération autorise le passage d'une intensité importante dans celles-ci. Ces pistes sont repérées en rouge sur le schéma d'implantation du circuit imprimé.

Il est vivement conseillé d'utiliser des supports de circuits intégrés pour les deux OPA2604 en choisissant des modèles d'excellente qualité.

Le montage du châssis

Nous proposons un schéma global d'implantation (**figure 6**) qui détaille chacune des connexions partant du circuit imprimé. Ce schéma devrait



grandement faciliter le montage de l'appareil.

Pour commencer, nous vous conseillons de fixer les socles RCA, les fiches « banane » des haut-parleurs, le socle secteur et le porte-fusible contre la face arrière du châssis. Des câbles blindés de bonne qualité sont soudés sur les socles RCA. Ils sont coupés à une longueur suffisante pour pouvoir rejoindre le potentiomètre vissé en face avant. Le chemin le plus court est le meilleur. Leurs connexions au potentiomètre se feront ultérieurement.

Des fils souples de 1 mm² minimum sont soudés sur les socles haut-parleurs. Ils sont coupés à une longueur suffisante pour rejoindre les secondaires des transformateurs de sortie. Il est préférable de faire concorder les couleurs des fils aux couleurs des socles « haut-parleurs » (rouge et noir, par exemple).

De la même manière, nous commençons le câblage du socle secteur et

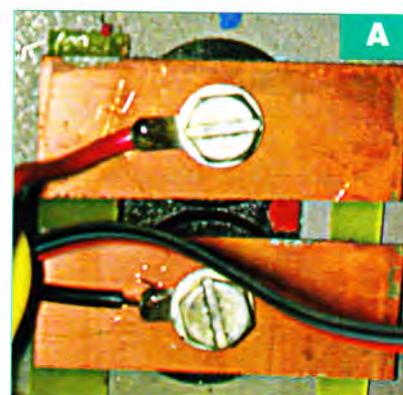
du porte-fusible. L'un des pôles du secteur est directement raccordé au porte-fusible. L'autre est équipé d'un câble souple et amène le secteur au poussoir situé en face avant (prévoir la distance suffisante).

Tant que la face arrière n'est pas solidaire de la ceinture avant, il est aisé de monter le potentiomètre et le poussoir secteur.

La face arrière peut maintenant être vissée à la ceinture du châssis.

Passons à la face supérieure. La fixation du condensateur C22 est le point le plus délicat du montage. Pour notre part, nous avons imaginé un montage avec des morceaux de fibre de verre provenant de chutes de circuits imprimés (**photo A**). Tout autre matériau fera l'affaire pourvu qu'il soit isolant (plexiglas, par exemple). Deux cosse sont introduites autour des vis lors de la fixation finale. Nous soudons deux fils de 1 mm² : rouge pour le (+) et noir pour le (-).

Le condensateur est introduit dans la



découpe ovale de la face supérieure du châssis. Les plaques, que nous avons préparées, sont positionnées de l'autre côté du châssis. Les vis sont mises en place (ainsi que les cosse) et le serrage de l'ensemble doit venir plaquer le condensateur contre le châssis.

S'assurer que le condensateur est bien centré et que son plot (+) ne touche pas le châssis, ce qui pourrait provoquer un court circuit immédiat.

De même, s'assurer que le condensateur ne bouge pas et que sa fixation est « solide ». Si ce n'est pas le cas, il convient d'introduire, entre la plaque de fixation inférieure et le châssis, une autre épaisseur pour mieux l'immobiliser.

Le condensateur ne devra jamais servir de « prise » pour la manipulation du Watson.

Ce condensateur fixé, mettre en place les transformateurs. Aucune difficulté dans cette phase du montage. Prendre simplement soin de positionner les transformateurs de sorties avec les secondaires orientés vers l'arrière du châssis. Pour le transformateur d'alimentation, tout dépend de la position du primaire 220 V que nous préférons positionner au plus près du socle secteur (vers l'arrière du châssis).

Après avoir fixé les entretoises du circuit imprimé, puis le circuit imprimé sur celles-ci, la plaque supérieure peut être positionnée et vissée à la ceinture du châssis.

Il est inutile de mettre en place les tubes EL84 et les OPA2604 avant de commencer le câblage.

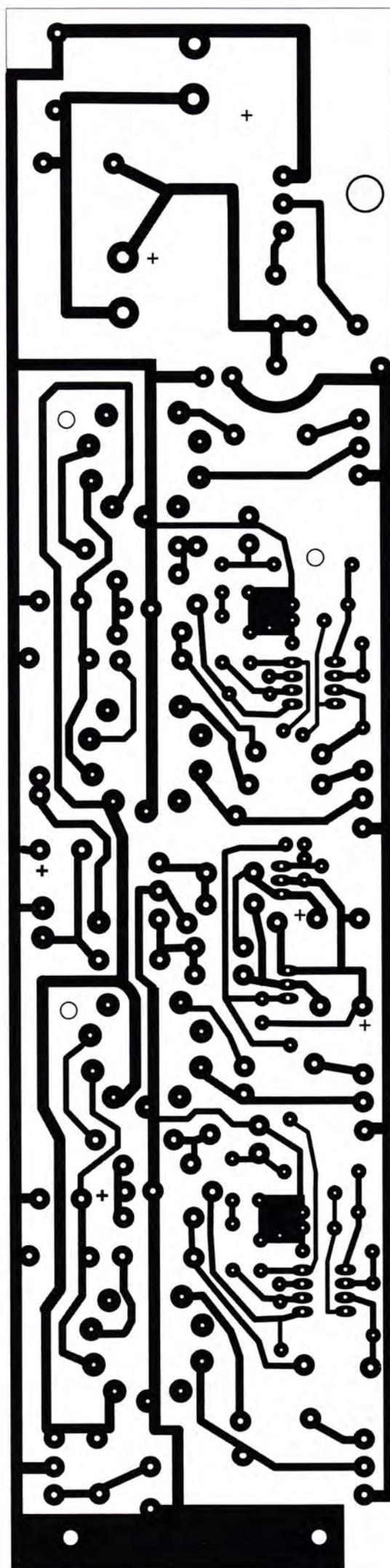
Le câblage

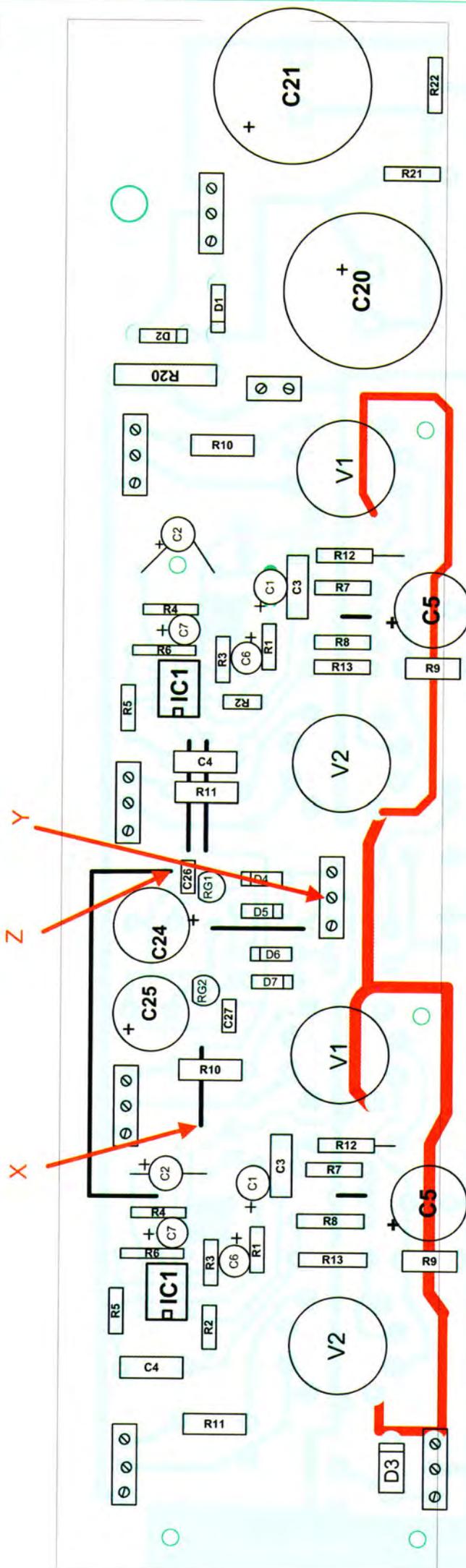
L'utilisation de borniers à vis sur le circuit imprimé présente un vrai confort pour le câblage. Il faut préciser que le serrage des vis doit être correct. **Nous conseillons d'ailleurs de revisser l'ensemble des borniers une semaine après le serrage initial.**

Nous vous recommandons, en outre, d'étamer les fils avant de les introduire dans les borniers à vis.

Le premier travail à effectuer est le raccordement du primaire du transformateur d'alimentation. L'une des cosse est reliée au porte-fusible, l'autre au fil « de retour » qui revient du poussoir se trouvant en face avant.

A ce stade, l'appui sur le bouton poussoir doit permettre de mettre sous tension ou de couper l'alimentation du transformateur. Pour le vérifier, il suffit de tester la tension alternative de 6 V par exemple (s'assurer de la présence d'un fusible dans le porte-fusible).





Push-pull

Nomenclature

COMPOSANTS SUR CI

Résistances

R1, R4, R5 : 22 k Ω /1 %
 R2 : 475 k Ω /1 %
 R3 : 220 k Ω
 R6 : 1,07 k Ω /1 %
 R7, R8 : 470 k Ω
 R9 : 150 Ω /2 W
 R10, R11 : 470 Ω /1 W
 R12, R13 : 1 k Ω
 R20 : 68 Ω /6 W
 R21, R22 : 220 k Ω
 P1 : Pot. 2 x 47 k Ω log

Condensateurs

C1, C2 : 4,7 μ F/25 V
 C3, C4 : 0,22 μ F/100 V
 C5 : 100 μ F/25 V
 C6, C7 : 1 μ F/63 V
 C20, C21 : 1 000 μ F/200 V
 C24, C25 : 1 000 μ F/25 V
 C26, C27 : 10 nF/63 V

Semiconducteurs

D1, D2 : BYW96E (commutation rapide)
 D3 : BY550-50 ou équivalent
 D4, D5, D6, D7 : 1N4001
 RG1 : 78L15
 RG2 : 79L15
 C11 : OPA2604

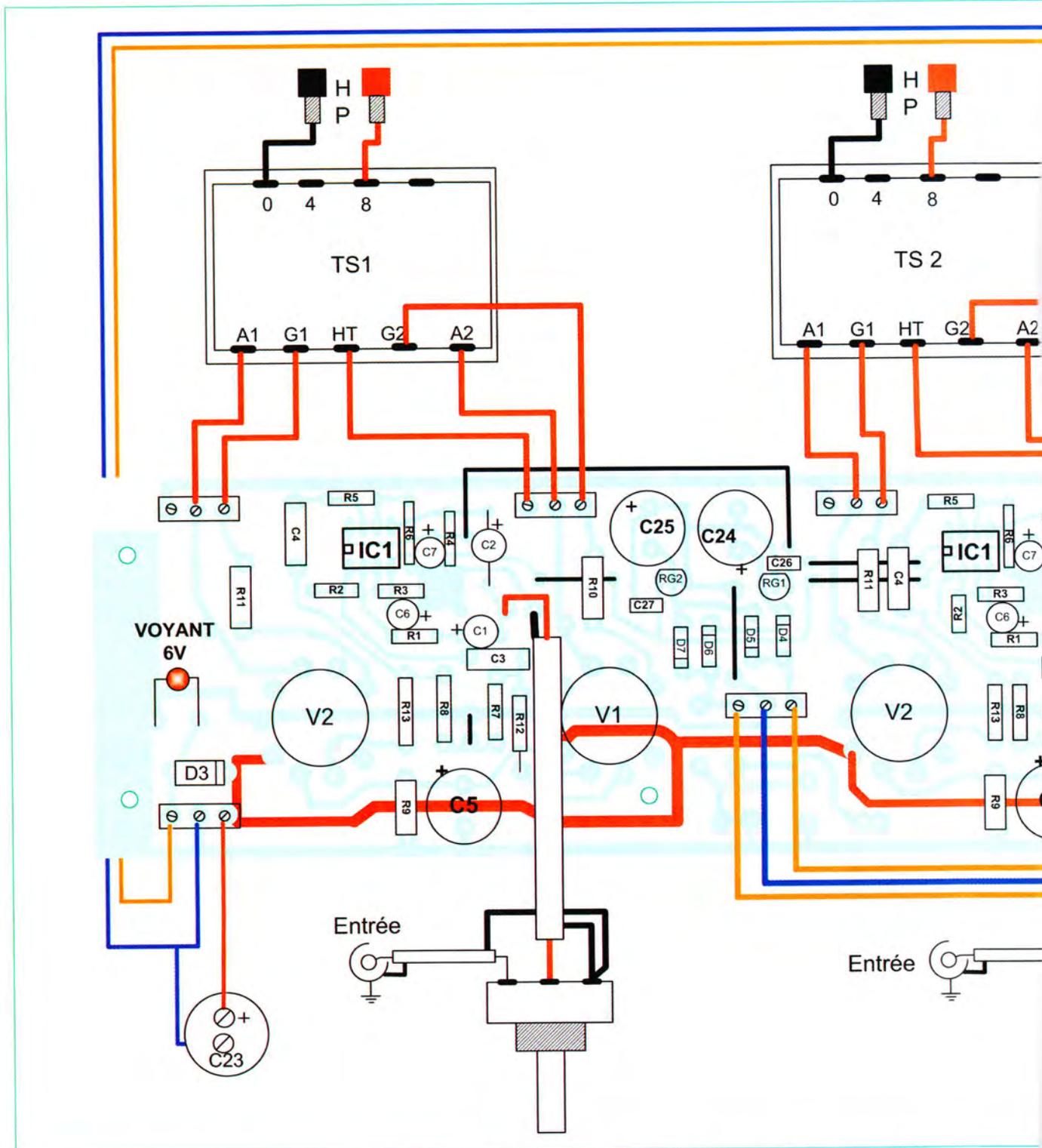
Divers

V1, V2 : EL84, 6BQ5, 7189
 2 supports Noval 9 broches CI
 7 dominos, 3 points pour CI
 1 domino, 2 points pour CI
 2 supports 2 x 4 broches Dual in line

Nomenclature

COMPOSANTS HORS CI

1 embase secteur 3 broches
 2 douilles « banane » rouges \varnothing 4 mm
 2 douilles « banane » noires \varnothing 4 mm
 Interrupteur-poussoir 250 V/2A
 Porte-fusible + fusible 2 A retardé
 C22 : 1 500 μ F/350 V
 C23 : 22 000 μ F/10 V
 Transformateur d'alimentation
 Primaire : 220 V
 Secondaires : 2 x 250 V/150 mA
 1 x 6,3 V/3 A
 2 x 15 V/100 mA
 Transformateur de sortie
 Primaire : 8 000 Ω plaque à plaque
 Secondaires : 4 Ω , 8 Ω , 16 Ω
 Bouton pour axe de 6 mm
 1 châssis Tubox



Après avoir débranché le câble secteur, câbler l'alimentation ± 15 V. Trois fils de 1 mm² sont soudés au transformateur d'alimentation. Le point milieu est le fil qui est connecté au 0 V, côté circuit imprimé. Un fil de couleur bleue (pour le 0 V) et deux fils de couleur orange sont utilisés. Nous préférons réserver la couleur rouge pour la haute tension redressée. Les trois fils sont vissés côté circuit

imprimé (figure 6) sur le bornier de l'alimentation 2 x 15 V, le fil bleu au milieu.

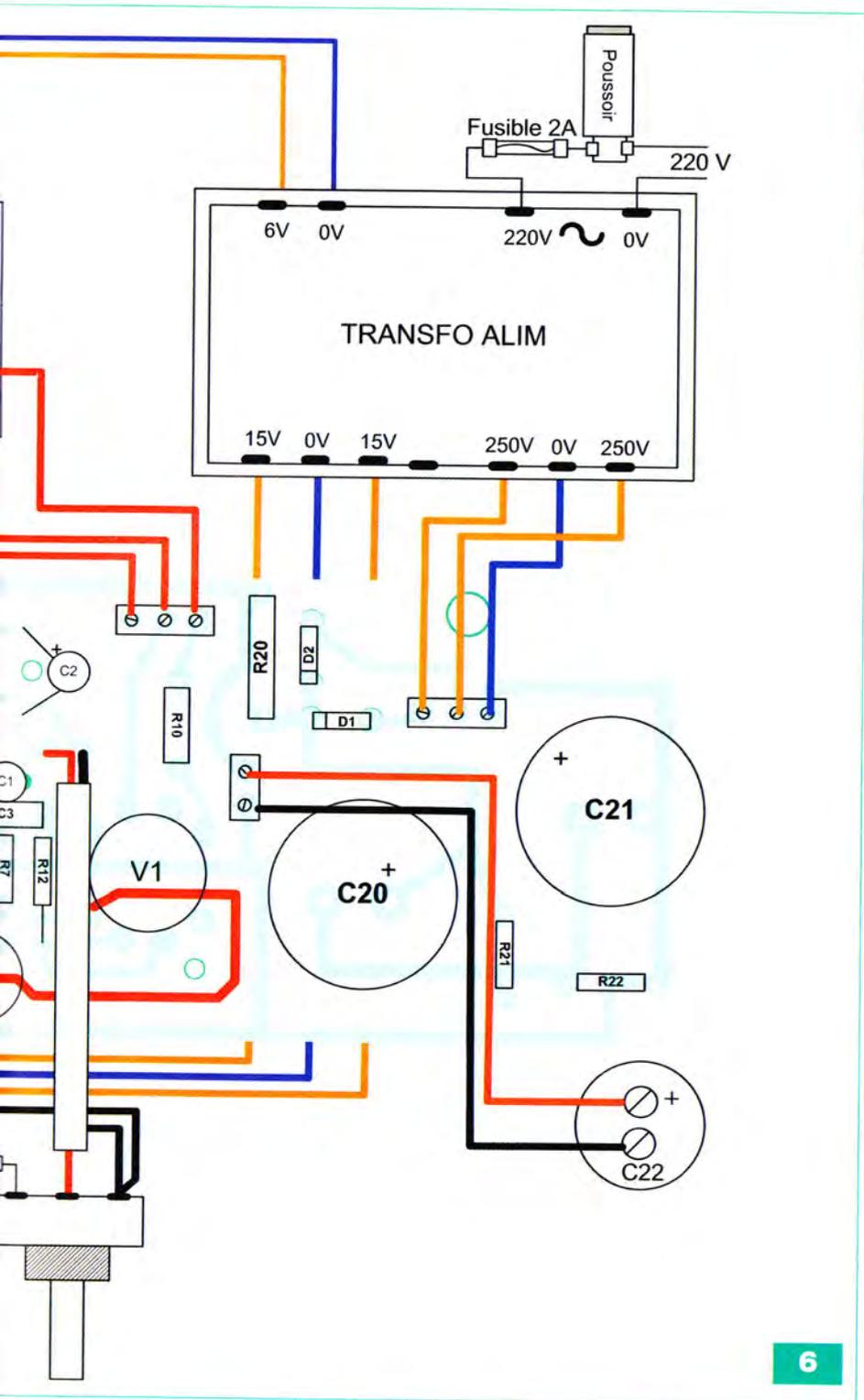
Nous allons pouvoir tester l'alimentation ± 15 V. Il suffit pour cela de mesurer la tension entre les points X et Y pour le -15 V (le 0 V étant en Y), puis celle entre les points Y et Z pour le +15 V.

Si le positionnement des régulateurs 78L15 et 79L15 a été respecté, l'alimentation

doit fonctionner dès la mise sous tension.

Passons à l'alimentation de 6,3 V. Deux fils vont connecter le secondaire 6,3 V du transformateur d'alimentation au bornier 6,3 V qui se trouve à gauche, en bas du circuit imprimé. On utilise, comme précédemment, un fil bleu et un fil orange d'une section minimale de 1 mm².

Dans la borne reliée au 0 V (borne



6

centrale), introduire le fil bleu. Le fil orange du 6,3 V alternatif est relié à la borne de gauche. Le condensateur de filtrage de 22 000 μ F/10 V est fixé au fond du châssis à l'aide d'un collier. Il est relié au bornier du 6 V à l'aide d'un fil bleu et d'un fil rouge de section 1 mm². Le fil bleu est vissé dans la borne du milieu, le fil rouge dans la borne de droite.

Nous allons tester le 6,3 V en mesu-

rant la tension aux bornes de C23. Ensuite, nous enfichons dans leurs supports les quatre EL84 pour vérifier que les filaments chauffent correctement.

Une fois ce contrôle réalisé, retirer les EL84 pour continuer les interconnexions. Passons maintenant au câblage des transformateurs de sorties. Le schéma d'implantation générale indique les diverses connexions.

Utilisons du fil rouge de 1 mm² de section pour le primaire. Les fils provenant des bornes haut-parleurs sont soudés entre le 0 et l'impédance souhaitée (celle des enceintes).

Le câblage des potentiomètres (ou du potentiomètre double) vient ensuite. Utiliser du câble blindé de bonne qualité pour relier les fiches RCA au potentiomètre, puis le potentiomètre aux entrées prévues sur le circuit imprimé. À ce niveau, nous avons préféré souder les câbles, l'utilisation de borniers n'étant pas indiquée pour le signal « source ».

Il ne reste plus qu'à raccorder la haute tension. Comme pour le 15 V, un fil bleu relie le point milieu de l'enroulement haute tension au bornier (borne de droite).

Ce même point milieu est relié à la masse du châssis par une cosse à « œil » vissée à l'une des vis de fixation du transformateur d'alimentation. Deux fils de couleur orange véhiculent les tensions alternatives de 250 V aux deux autres plots du bornier haute tension. Le condensateur C22 est relié à un bornier à deux plots spécialement prévu à cet effet (voir schéma d'implantation). **Attention aux polarités !**

Le câblage est terminé, nous pouvons contrôler au multimètre la haute tension en mesurant le potentiel aux bornes de C22. Nous devons y lire une tension proche de 350 V. Si ces contrôles sont corrects, il ne reste plus qu'à mettre en place les circuits intégrés OPA2604 et les pentodes EL84.

Les sorties haut-parleurs sont reliées aux enceintes, la source (lecteur de CD) aux prises Cinch. Le Watson est mis sous tension.

Après un temps de chauffe des tubes, l'amplificateur doit fonctionner immédiatement. On ne doit pas constater de bruit de fond dans les haut-parleurs.

R. ARBELLOT

Nota. L'amplificateur est doté d'un sélecteur à quatre entrées que nous n'avons pas développé dans cet article parce qu'il est identique à celui équipant le Singlemos/classe A publié dans notre premier numéro hors-série (novembre 2006).

Caisson de grave...

Si vous disposez de petites enceintes, vous aurez besoin d'un « caisson de grave ». Pas pour faire du « boum boum », mais pour prolonger le bas du spectre de façon sensible. Le caisson renforce le grave sans en ajouter et, surtout, en conservant une certaine neutralité. Nous avons opté pour un caisson peu encombrant mais non miniaturisé à l'extrême, contrairement à ce que l'on rencontre dans le secteur du multimédia où les caissons ont en général un accord de type passe-bande, ce qui a le gros inconvénient de colorer leur réponse.

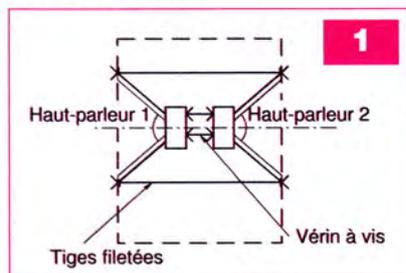


Vous n'aurez pas droit ici à un litre de volume, mais à plus d'une centaine, avec une puissance admissible qui sera loin d'être négligeable et un niveau sonore lui aussi imposant, sans parler de la qualité de restitution. Rien à voir, vous l'aurez compris, avec les petits caissons livrés conjointement aux systèmes 5.1 pour informatique !

Le concept

L'idée de base de ce projet nous a été donnée par Philippe Lesage, directeur technique de PHL Audio, fabricant français de haut-parleurs professionnels de réputation internationale.

Après y avoir ajouté notre « grain de sel »,



nous proposons de vous conduire jusqu'à sa concrétisation.

Le principe expérimenté ici vise à éliminer totalement, voire à réduire fortement, le rayonnement dû à la vibration de l'ébénisterie de l'enceinte.

Traditionnellement, le haut-parleur de grave est monté sur une façade de bois. Lorsque l'énergie envoyée dans la bobine tend à faire avancer la membrane, l'effort de déplacement est aussi appliqué, mais dans le sens inverse au châssis du haut-parleur, donc à l'avant du saladier. Principe connu de l'action et de la réaction.

Comme le haut-parleur est fixé sur une face avant pas toujours rigide, cette dernière récupère les mouvements du saladier et rayonne une partie de l'énergie pour la combiner avec celle rayonnée par la membrane. En prime, cette façade « joue » la peau de tambour et ajoute sa propre coloration.

La technique proposée ici consiste à utiliser deux haut-parleurs montés dos à dos et mécaniquement solidaires (**figure 1**).

Les haut-parleurs ne seront pas simplement vissés sur les façades, mais

réunis entre eux par des tiges filetées, tandis que des vérins à vis se chargeront de la solidarité des deux aimants. Au passage, on remarquera que l'orientation des deux aimants est telle que le rayonnement magnétique a tendance à s'annuler, ceci pour le plus grand plaisir d'un moniteur ou d'un téléviseur à tube cathodique placé à proximité du caisson.

Cette disposition ne doit pas être confondue avec le « push-pull », formule dans laquelle l'une des membranes « sort » du haut-parleur, tandis que l'autre y « entre »... Cette dernière technique réduit la distorsion par harmoniques pairs due aux non-linéarités des suspensions.

Les deux transducteurs sont câblés en parallèle et alimentés en phase de telle manière que les deux membranes se déplacent dans la direction opposée. Comme les deux saladiers sont solidaires, les forces de réaction s'annulent et les façades ne bougent plus. Elles seront uniquement soumises aux variations de pression interne. Ces vibrations ne pourront être compensées que par la masse et/ou la rigidité des panneaux.

Nous avons réalisé notre prototype dont le plan général est donné **figure 2** puis vérifié que les haut-parleurs ne transmettent pas des vibrations aux panneaux auxquels ils sont fixés. C'est assez étonnant (surtout à fort volume).

Nous avons, par contre, constaté que d'autres panneaux vibraient, c'est pourquoi nous nous sommes lancés dans leur renforcement, « histoire » d'améliorer l'ensemble.

Comme les haut-parleurs ne vibrent plus, c'est bien la pression de l'air qui produit ces vibrations, ce qui permet d'imaginer la dose d'énergie fournie par les transducteurs. La conception permet une réalisation sans outillage trop complexe, donc sans machine à bois, à condition toutefois de **faire découper ses panneaux chez un distributeur de bois**.

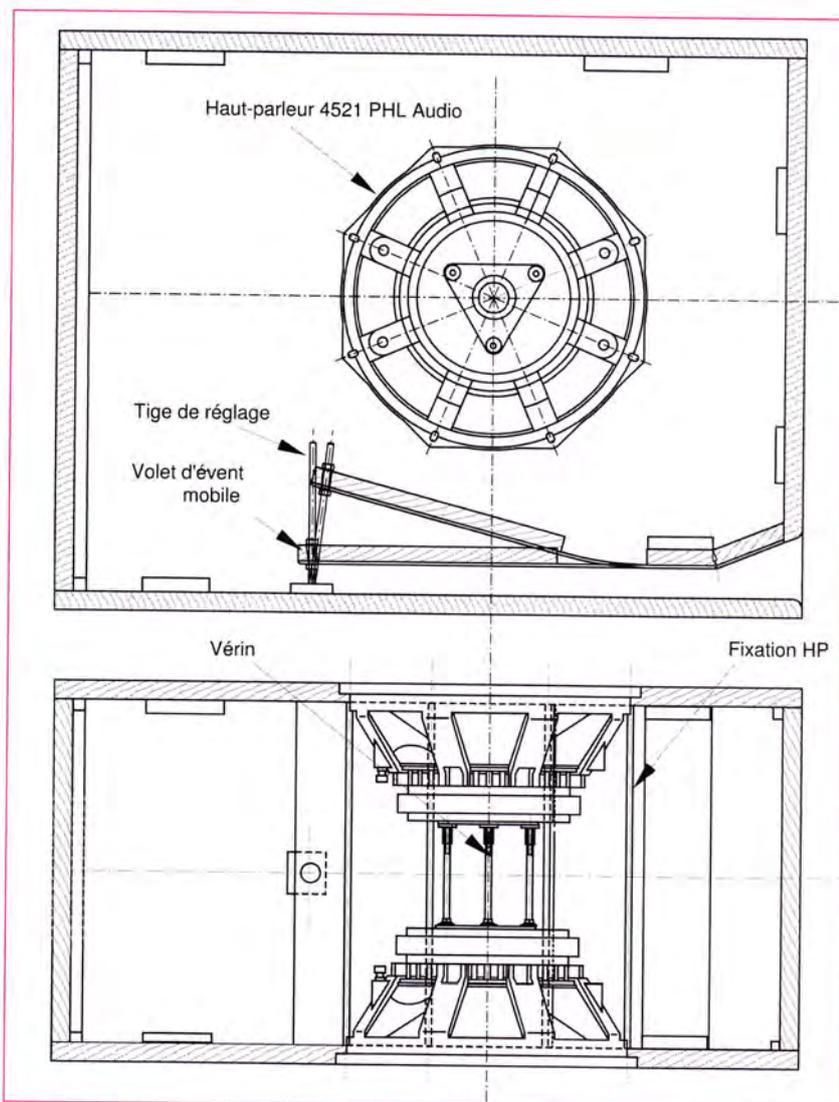
S'agissant du rayonnement, ce couple de transducteurs travaille à très basse fréquence, donc avec une directivité limitée. Nous avons là une source pratiquement omnidirectionnelle qui forme un « 8 » lorsque la fréquence augmente. Cette source est « compliquée » par le fonctionnement en bass-reflex, l'évent se chargeant de l'essentiel du rayonnement de l'énergie acoustique dans le bas du spectre.

L'évent utilise un système original permettant de l'accorder. Cet exercice n'est pas trop compliqué à réaliser, il suffit d'y apporter un peu de soin. Nous lui avons donné une section progressive, continûment variable et réglable. Cette technique améliore le couplage acoustique entre l'air ambiant et l'intérieur de l'enceinte, ce qui réduit la vitesse de l'air en sortie d'évent. Le profilage de l'évent réduit les bruits d'écoulement, sans avoir toutefois à obtenir des surfaces courbes délicates à réaliser.

Lors de cette étude, nous avons gardé à l'esprit la possibilité de fabrication sans machine à bois à commande numérique !

La souplesse des deux transducteurs

Outre le fait de disposer d'un bloc moteur sans vibration, les deux transducteurs s'adaptent parfaitement à



2 Nous montrons ici le système inédit d'évent à accord variable

diverses utilisations.

L'utilisation de deux transducteurs permet l'emploi de haut-parleurs standards de 8 Ω d'impédance, valeur la plus courante en hi-fi. L'impédance de 4 Ω résultant de la mise en parallèle sera acceptée par la plupart des amplificateurs. De nombreux amplificateurs « audio » délivrent d'ailleurs leur maximum de puissance avec cette charge.

Notre prototype est actionné par un amplificateur pour caisson de basses équipé d'un processeur assez complet que l'on peut se procurer aisément dans le commerce ou le commander à son distributeur de composants.

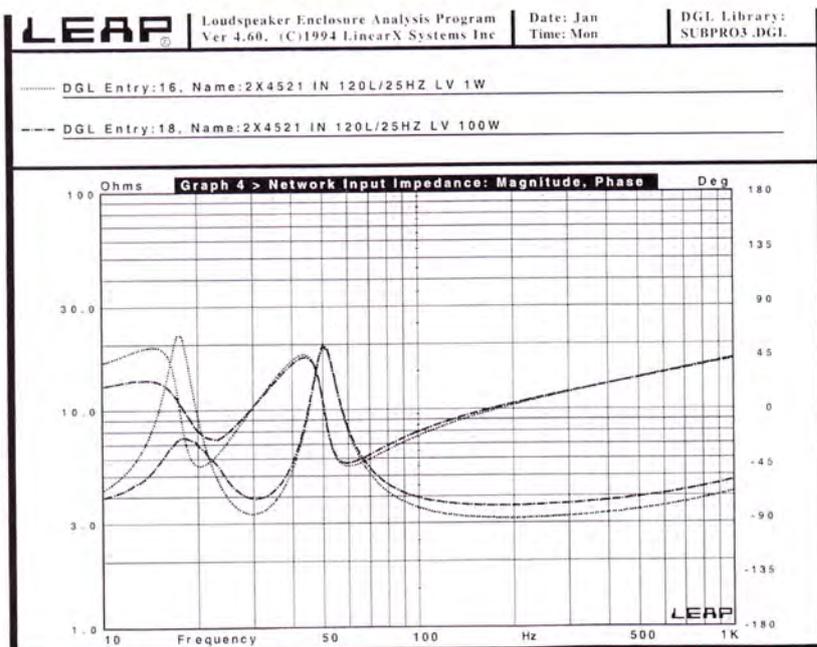
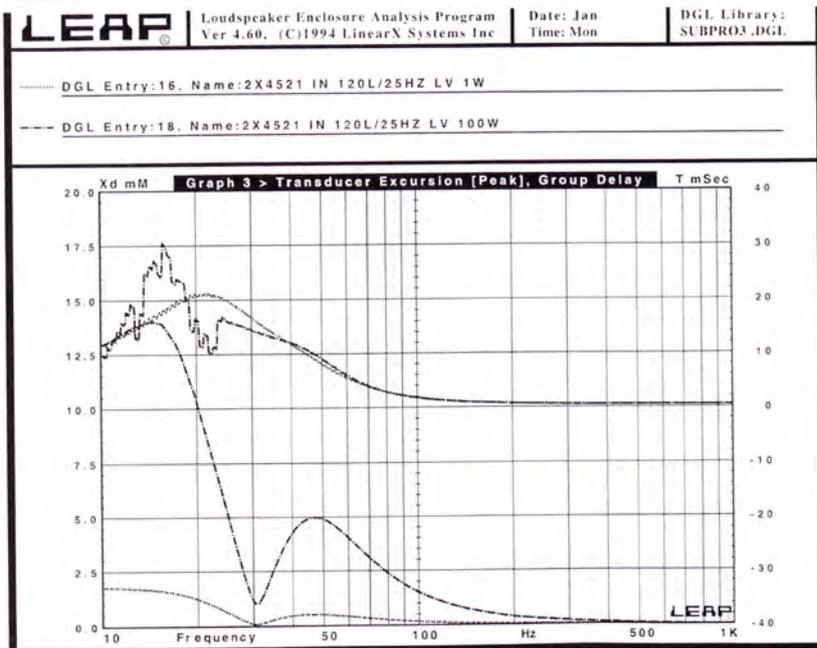
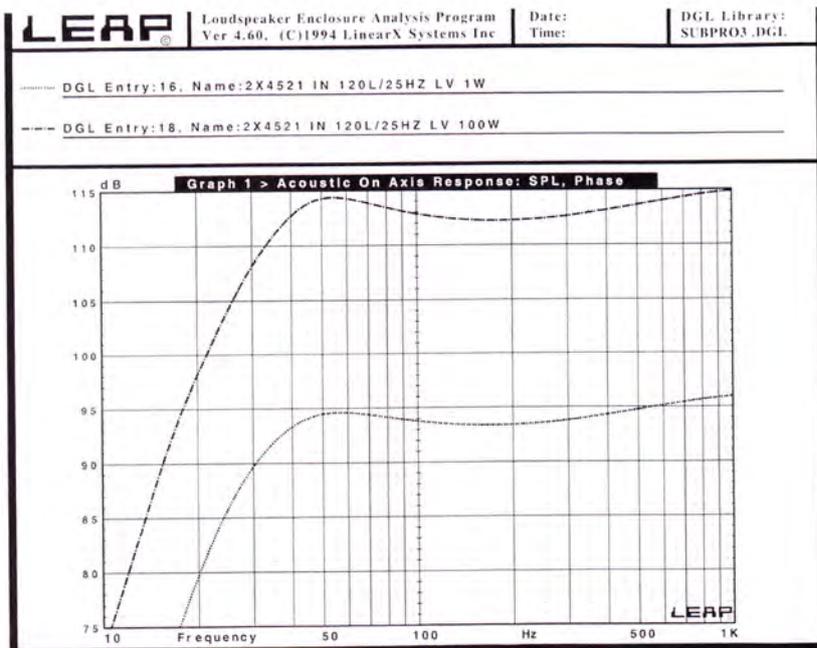
D'autres formules sont néanmoins possibles (amplis à découpage, etc.), mais elles demanderont l'étude d'un processeur qui se chargera du filtrage du spectre à transmettre et, éventuel-

lement, d'une compensation qui prolongera la réponse en fréquence dans le grave.

Chaque haut-parleur peut également fonctionner de façon indépendante en étant raccordé à un amplificateur stéréophonique. Le grave étant omnidirectionnel, les deux canaux ont un contenu pratiquement identique dans le bas du spectre.

Le projet

Le projet a été réalisé avec l'assistance du logiciel de conception d'enceintes « Leap de Linear X* », malheureusement plutôt onéreux et non distribué en France sinon via Internet. Nous avons également utilisé « Eminence Designer », logiciel américain conçu par Harris Technologies, davantage accessible puisque commercialisé en France par Algam.



Ce logiciel permet aussi de dessiner l'enceinte, en tenant compte de son volume intérieur (ou extérieur). Il vous donne la taille des panneaux en tenant compte de l'épaisseur du bois. Ces logiciels supposent connus les paramètres de Thiele et Small donnés par tous les fabricants de haut-parleurs. On les introduit dans le programme et ils donnent l'accord de l'évent, la taille, la réponse en fréquence, en phase, en temps de groupe, l'excursion maximale (impressionnante dans l'extrême-grave) et la puissance à ne pas dépasser pour conserver une certaine linéarité du fonctionnement.

La plage d'accord autorisée par son évent ajustable est située entre 25 Hz et 30 Hz, fréquences mesurées une fois le « prototype » terminé.

Ce type d'évent à volet mobile ne se modélise pas dans ces logiciels. En partant d'un évent rectangulaire, on peut en connaître la fréquence d'accord minimale, les tests font le reste. L'enceinte est équipée de deux transducteurs PHL Audio de type 4521 B302-8 appartenant à la série « Studio Monitoring ». Conçus pour la reproduction du grave, leur membrane est alourdie par une bague en cuivre. La directive RoHS vise à éliminer les substances toxiques des produits (dont le plomb fait partie).

PHL Audio a travaillé sur une élimination complète de ces substances. Il a donc changé le matériau de la bague pour y satisfaire. Ces deux transducteurs ont un diamètre de 30 cm « à la PHL », autrement dit ils ont un saladier octogonal permettant d'obtenir une surface de membrane plus importante qu'avec un saladier circulaire. Ces haut-parleurs admettent une puissance (AES) de 300 W.

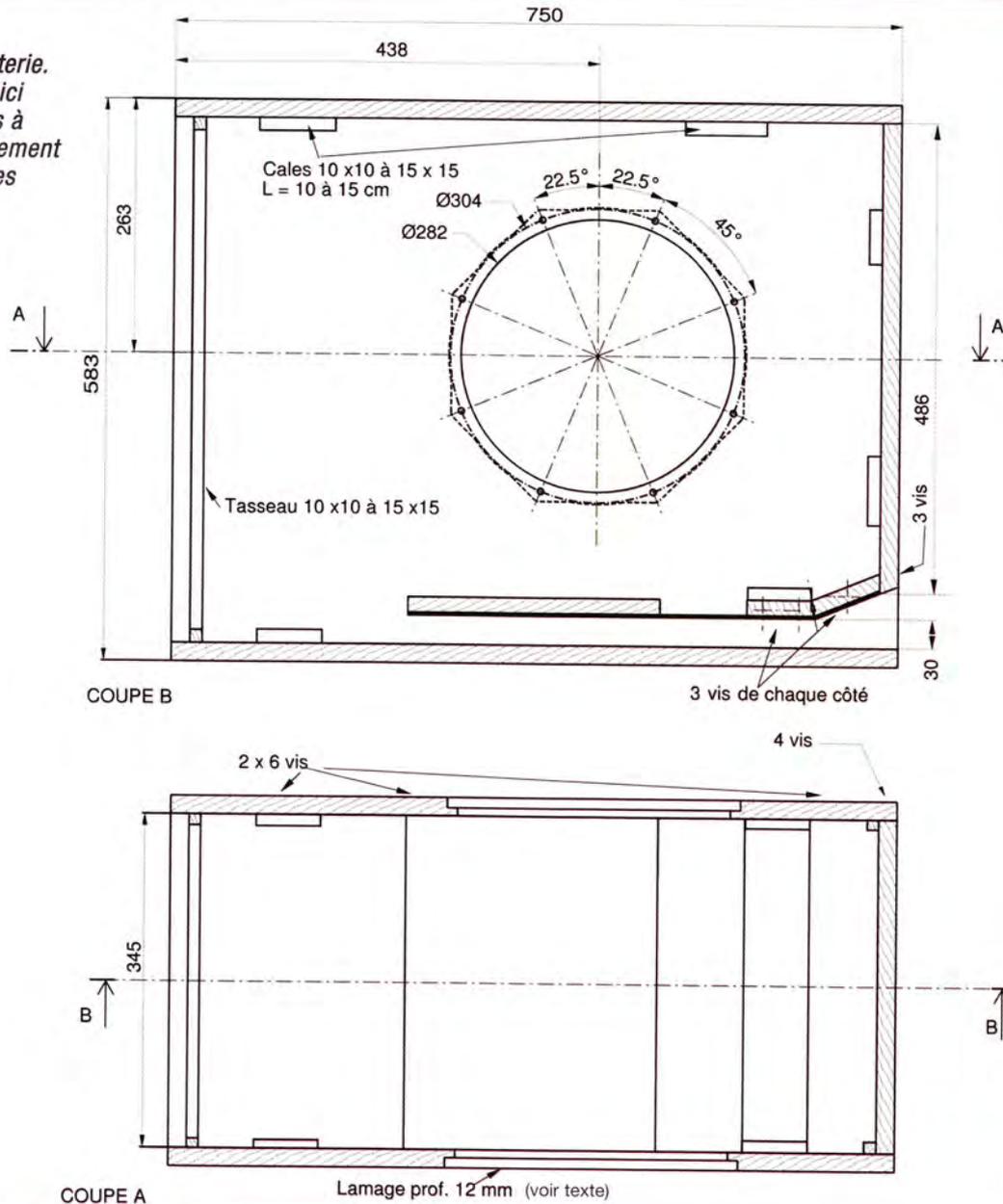
Ce « sub » est capable de délivrer un haut niveau sonore, mais il ne se destine tout de même pas à la discothèque...

Les transducteurs sont placés asymétriquement par rapport aux faces de l'enceinte. Cette mesure dissémine les modes vibratoires des panneaux et réduit l'amplitude des pointes de résonance d'un panneau qui n'est jamais totalement inerte...

Le haut-parleur est prévu pour un volume d'enceinte conseillé de

3

Plan de l'ébénisterie.
Nous indiquons ici le nombre de vis à répartir régulièrement le long des arêtes



soixante litres (ou dm^3). Comme il y en a deux, le caisson aura un volume interne double, soit cent vingt litres. Celui-ci sera un peu supérieur puisqu'il convient de tenir compte du volume occupé par l'évent et les haut-parleurs.

La simulation par LEAP a été menée avec une fréquence d'accord de l'enceinte de 25 Hz. Le **graphique 1** montre les réponses prévues à 1 W et à 100 W. Nous appliquerons une puissance un peu supérieure. La sensibilité attendue est de 95 dB/1W/1m. Le **graphique 3** montre que l'excursion de la membrane peut atteindre 10 mm à 20 Hz avec une puissance de 100 W.

Le **graphique 4** donne la courbe

d'impédance en amplitude et en phase en fonction de la puissance. On constate une baisse d'impédance un peu au-dessous de 20 Hz, dans une région où la musique contient très peu d'énergie et où les haut-parleurs sont faiblement chargés.

Le déplacement de la membrane devient très important et des non-linéarités apparaissent.

On constate, par ailleurs, une légère montée due à l'échauffement du cuivre de la bobine mobile.

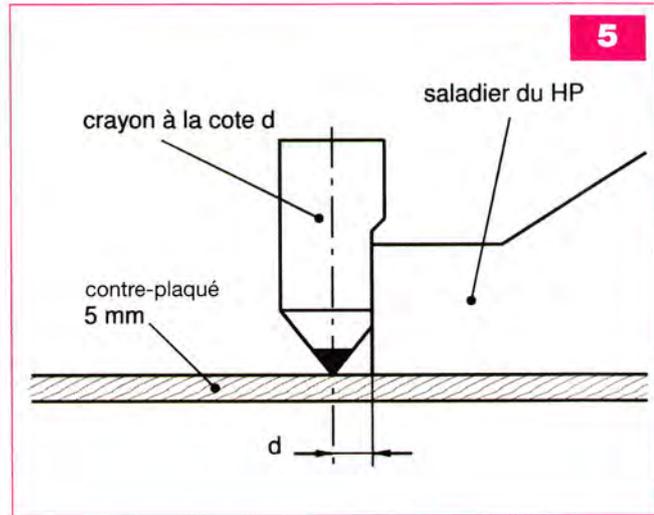
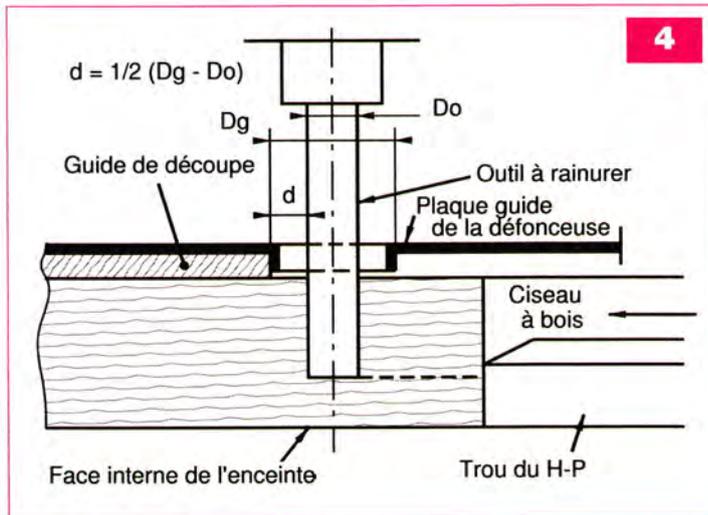
La concrétisation

L'enceinte est réalisée dans un aggloméré, matériau relativement simple à trouver et à faire découper.

Nous avons utilisé une variété réservée pour l'extérieur, du CTBH.

Cet aggloméré présente l'avantage non seulement d'être résistant à l'humidité, mais aussi d'être plus rigide qu'un « aggro » ordinaire. Ce matériau n'est pas toujours disponible à la coupe, vous devrez donc en acheter un panneau, le faire découper et garder le reste pour construire les enceintes satellites, par exemple...

Nous avons préparé une liste des éléments nécessaires à la réalisation (**voir nomenclature**). L'enceinte est constituée d'une ceinture de 345 mm de hauteur, encadrée des deux faces recevant les haut-parleurs (**figure 3**). Le responsable de la découpe du bois pourra donc conserver le même



réglage de sa machine pour toutes les pièces de la ceinture.

Une fois les panneaux découpés, l'opération suivante sera celle du travail des ouvertures qui recevront les haut-parleurs. **Pour les centrer, plaquer les deux panneaux l'un contre l'autre et percer un trou de \varnothing 2,5 mm ou \varnothing 3 mm dans l'axe du haut-parleur.** On obtient ainsi, au point de contact des deux panneaux, deux trous parfaitement coïncidents, même si le perçage n'a pas été fait parfaitement perpendiculairement à la surface des panneaux...

Tracer, à partir de ces centres, les axes des perçages des trous de fixations du haut-parleur. Le tracé s'effectue au compas (\varnothing 304 mm).

Commencer par tracer les axes parallèles aux côtés du rectangle, puis les bissectrices qui donnent des droites à 45°, puis de nouvelles bissectrices qui permettent d'obtenir des droites tous les 22,5° (figure 3, coupe B).

Vous aurez donc ainsi tous les axes que vous tracerez sur la face externe de l'enceinte au crayon (pour pouvoir les gommer ultérieurement).

Seul le tracé de part et d'autre des trous de fixations des haut-parleurs est nécessaire.

Tracer ensuite le dessin de la découpe circulaire du haut-parleur (\varnothing 282 mm). **Pour ces tracés, recouvrir le trou central d'un adhésif transparent (plusieurs couches) pour pouvoir y planter la pointe du compas.**

Le trou est découpé à la scie sauteuse, une éventuelle finition à la rape à bois ou, mieux encore, avec un abra-

sif « grossier » collé sur une chute de la découpe circulaire régularisera celui-ci.

Présenter le haut-parleur pour rectifier la découpe si nécessaire. Le second trou sera en principe mieux réussi que le premier, fait généralement sans expérience...

Nous avons personnellement encastré les haut-parleurs dans un lamage pratiqué sur les faces externes (figure 3, coupe A).

Cet encastrement n'a aucune justification acoustique compte tenu des fréquences traitées par un « sub ».

Ce sont plus des raisons esthétiques qui ont dicté ce choix (et nous aimons travailler le bois !). L'encastrement facilitera par la suite la pose ultérieure et facultative des grilles de protections pour les haut-parleurs.

L'amincissement du panneau avant au niveau de la zone d'appui des haut-parleurs affaiblit mécaniquement cette fixation. Nous l'avons adoptée sans souci car la technique d'assemblage « anti-vibratoire » des transducteurs minimise toute transmission de vibrations à la surface des panneaux. Cette fixation, associée à l'encastrement, n'a à supporter que la masse des transducteurs.

Attention à ne pas se tromper de face lors du tracé, l'asymétrie de l'axe des HP vous obligerait à tout recommencer, d'où l'intérêt du tracé des trous.

Un HP se place du côté de l'entrée du forêt et l'autre à sa sortie (les deux panneaux étant superposés).

Le lamage s'effectue à la défonceuse en utilisant une fraise à rainurer. Ce

travail demande un gabarit. Il est réalisé dans du contre-plaqué de 5 mm d'épaisseur.

Tracer les axes des trous comme précédemment pour les panneaux (compas pour tracer les bissectrices). Poser ensuite le haut-parleur sur la plaque et le centrer en visant au travers des trous de fixations du haut-parleur pour aligner tous les axes.

La défonceuse dispose d'une plaque de guidage qui impose de suivre un tracé à une distance (d) du contour du haut-parleur (figures 4 et 5). Cette distance se calcule en fonction du diamètre de la fraise et de celui du guide de découpe.

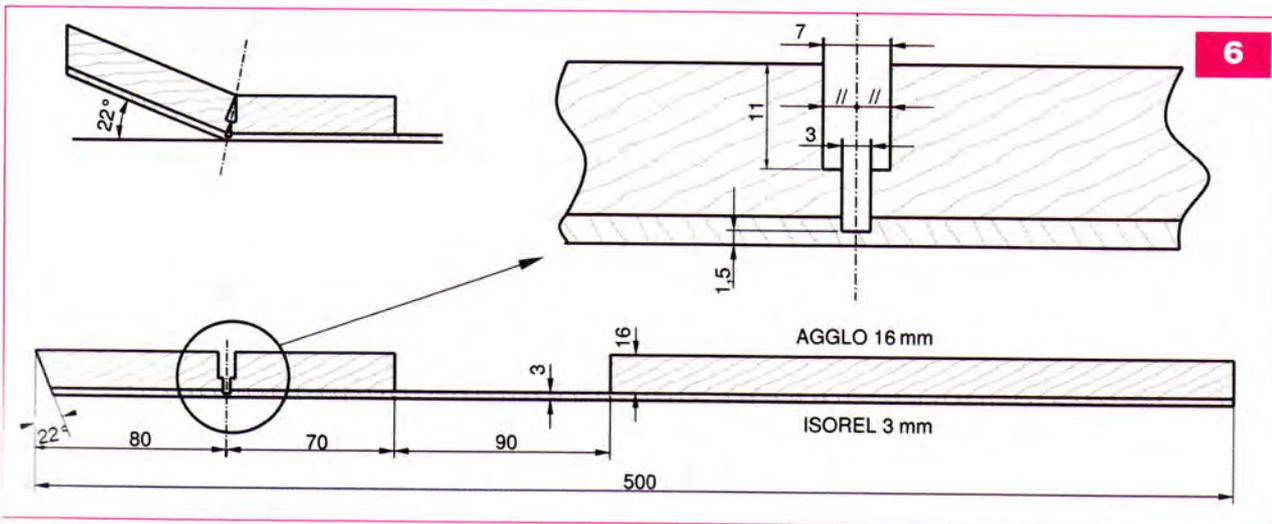
La figure 4 donne la méthode de calcul. Pour dessiner le contour à cette distance, prendre un gros crayon taillé pour que la mine (pas trop épaisse mais assez solide) soit à la distance calculée. Il ne reste plus qu'à suivre le contour du haut-parleur (figure 5).

Découper ensuite le plus précisément possible ce gabarit. **De cette précision dépend la qualité de l'encastrement.**

Il est alors fixé sur les faces avant par quatre petites pointes placées aux quatre coins. Les axes dessinés sont soigneusement alignés.

Usiner une rainure. L'excédent du bois situé entre l'ouverture circulaire et le contour du haut-parleur est enlevé, pour dégrossissage, au ciseau à bois. Travailler ensuite avec la défonceuse pour lisser la face d'appui du transducteur.

Le surfacage de la zone d'appui du haut-parleur s'effectue en « installant »



la chute de bois de la découpe du trou du haut-parleur.

Elle évite de laisser la défonceuse en « porte-à-faux » lors des opérations. Le haut-parleur est présenté sur la façade. Rectifier éventuellement le gabarit à la râpe à bois moyenne, au papier de verre ou au cutter (à manipuler avec précaution) pour que le haut-parleur s'encastre sans forcer. Une fois remis en place, le gabarit rectifié permet de terminer à la défonceuse.

Cette rectification permet d'obtenir directement un lamage parfait pour le second haut-parleur...

Les trous de fixations sont percés à $\varnothing 6,5$ mm, après avoir pointé les emplacements au travers des trous du haut-parleur.

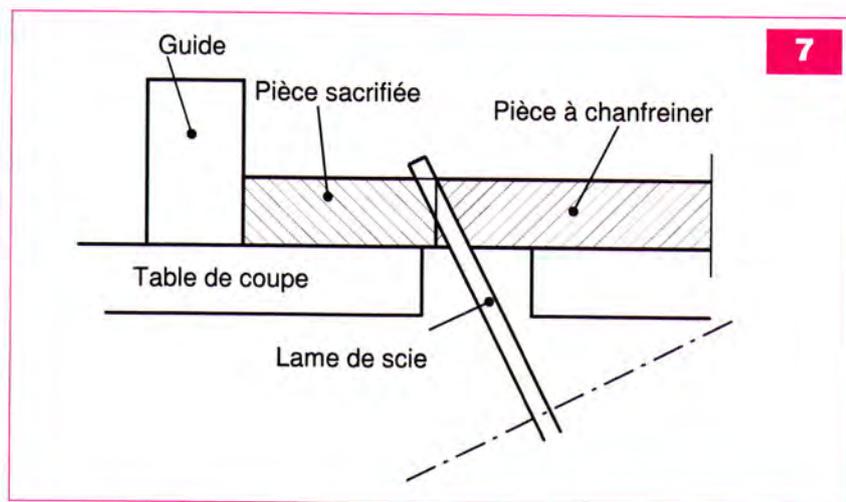
Si cette opération de lamage n'est pas possible faute de matériel, utiliser la méthode simple de deux panneaux contre-collés : l'un découpé d'un cercle et l'autre de la forme très particulière du saladier. Bien presser les panneaux.

L'évent

L'évent accordable peut se réaliser de deux façons. L'idée, à l'origine, était de réaliser un évent à « accord variable » permettant une éventuelle adaptation du comportement de l'enceinte.

En même temps, l'évent était profilé pour réduire la vitesse et la pression de chaque côté de celui-ci de façon à atténuer les bruits dus à l'écoulement de l'air.

Après quelques déboires avec un



panneau de CTBH aminci et devenu cassant, nous avons utilisé une technique plus sûre.

Il s'agit de contrecoller (colle vinylique ou aliphatique) un panneau d'isorel dur de 3 mm sur de l'aggloméré de 16 mm, ce qui donne 19 mm d'épaisseur (figure 6).

Une fois le collage séché, réaliser le chanfrein de 22° du placage contre la face avant (figure 7) et les traits de scie pour le pliage frontal (toujours avec renfort de papier gommé).

Enlever la zone de courbure qui n'a pas été contrecollée. Pour ce faire, usiner deux traits de scie de 15 mm de profondeur.

L'aggloméré part ensuite facilement. Cette technique de fabrication (on aurait aussi pu coller plusieurs panneaux) permet d'avoir des traits de scie bien parallèles et surtout les côtés des panneaux bien droits.

Le panneau d'isorel permet d'avoir une bonne souplesse et un débattement d'une vingtaine de centimètres.

Il n'y a pas ici de fragilisation d'une ligne particulière.

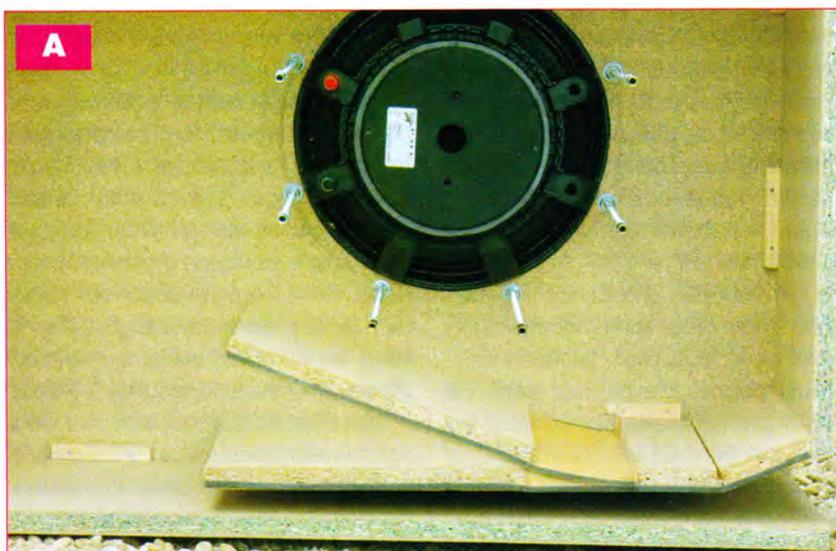
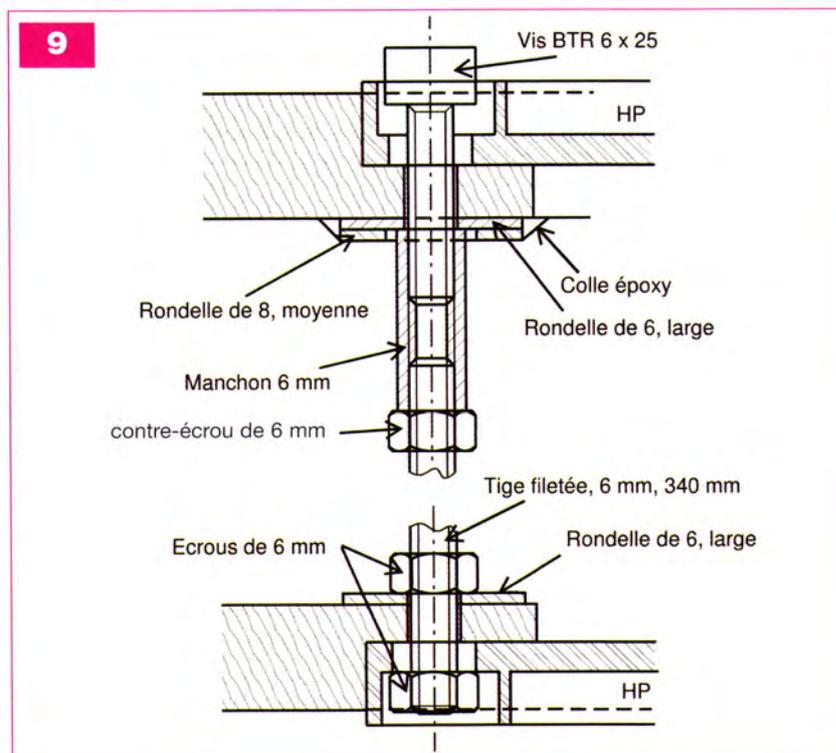
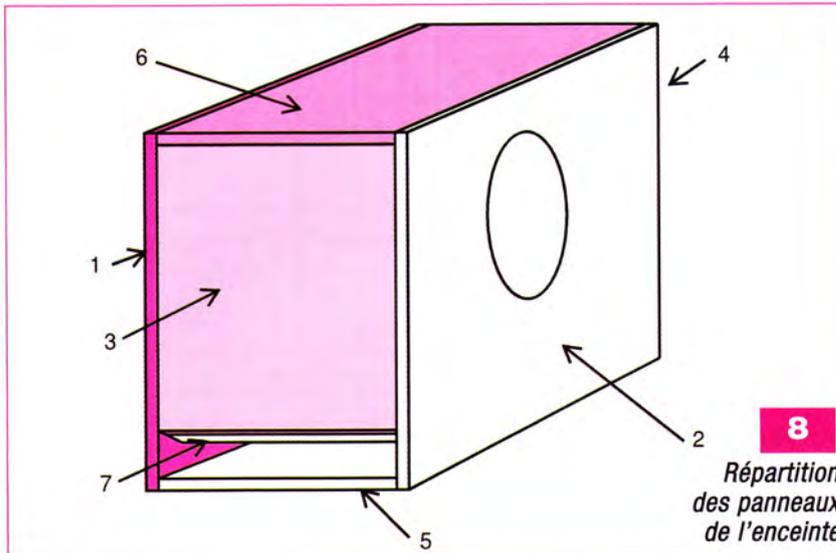
Si vous craignez les vibrations de la partie amincie, pas de problème.

La courbure du panneau augmente naturellement sa rigidité...

Le pli « avant » est réalisé en laissant 1,5 mm d'isorel. Les rainures permettent le pliage. Elles seront collées une fois l'évent mis en place dans l'enceinte.

Et les fuites latérales ? Si vous êtes un excellent menuisier, votre ajustement est parfait et les fuites minimales... Vous pouvez aussi utiliser un panneau dont la largeur n'est que de 344 mm (pour une dimension intérieure de 345 mm) et coller des joints de part et d'autre de celui-ci.

Nous avons personnellement mis en place des joints Monacor MDM-5 de 2 mm d'épaisseur qui peuvent être comprimés jusqu'à 0,3 mm. La colle adhère bien sur le bois et la mousse de polyéthylène à structure fermée glisse facilement sur celui-ci.



Nomenclature

Panneau aggloméré extérieur CTBH
19 mm (Hydrelite, par exemple)
Panneau de 3,05 m x 1,85 m
(40 € TTC environ)
2 x {750 x 583 mm}
(façade haut-parleurs, 1 et 2)
2 x {750 x 345 mm}
(grands côtés, 5 et 6)
1 x {545 x 345 mm} (fond, 4)
1 x {486 x 345 mm} (façade événement) ou
545 x 345, recoupé à 486 mm avec
angle de 22°

Event

Panneau isorel de 3 mm : 345 x 500 mm
Panneau aggloméré de 16 mm :
345 x 500 mm
Tasseau carré 12 ou 15 mm : 3 m
100 vis pour aggloméré 4 x 40

Fixation des haut-parleurs

8 tiges filetées M 6, longueur 340 mm
8 manchons filetés M 6
24 écrous H, M6
16 rondelles L 6
8 rondelles M 8
8 vis C HC M6

Vérin

3 boulons à collet carré 90 mm, M6
3 manchons de 6 mm
3 rondelles M 6
3 rondelles M 8
2 plaques de verre époxy 10 x 10 cm

Vis de réglage et immobilisation de l'évent

Tige filetée de 6 mm, L = 160 mm
Manchon de 6 mm
Boulon à tête ronde et collet carré
M 6 x 15
Joint torique de 12 mm, écrous de 6 mm
4 vis à aggloméré de 3,5 x 25

Raidisseurs

2,2 m de lattes d'aggloméré CTDH
de 19 mm, 43 mm de large



Le montage des panneaux

Nous avons opté pour un montage par vissages et collage généreux (**photo d'entrée**).

Il est intéressant d'installer, le long de la zone de collage, des cales qui, fixées à 19 mm du bord des panneaux, permettront un alignement aussi parfait que possible du bord et des panneaux (figure 3).

Avec des chutes d'aggloméré, réaliser un gabarit de positionnement des cales. Elles seront clouées et collées avant le montage définitif de l'enceinte et serviront pour mettre les éléments face à face afin de préparer les perçages des avant-trous des vis.

Les vissages s'effectuent à l'aide de vis à « tête fraisée » pour aggloméré de 4 x 40.

Des avant-trous à \varnothing 2 mm sont pratiqués dans l'épaisseur des panneaux. Ils éviteront un éclatement du bois, phénomène classique avec de l'aggloméré.

Une fois les trous à \varnothing 2 mm effectués sur 40 mm de profondeur (une épaisseur de panneau + la traversée de la tranche du panneau), forer le panneau seul à \varnothing 4 mm de diamètre, puis fraiser à 90° à une profondeur suffisante pour que les têtes des vis soient totalement encastrées. Ces fraisages sont indispensables, les fibres de l'aggloméré ne résistant pas à une force trop importante.

La surface des panneaux est dure et la force de vissage ne permet par une pénétration complète de la tête.

Une fois tous les trous préparés, poncer la surface de collage pour enlever une éventuelle cire. **Avant tout collage**, mettre les panneaux en place avec les vis et vérifier que tous se raccordent correctement. Prémonter plusieurs panneaux afin de garantir la perpendicularité.

Le panneau arrière reste amovible, il donne accès au système de vérin des haut-parleurs et au réglage de l'évent.

Assembler d'abord les panneaux (1), (3) et (6) comme indiqué en **figure 8**. Ils forment ainsi une structure rigide. Présenter l'évent pour lequel on a prévu des tasseaux internes de positionnement. Le chant en biseau se plaque contre l'arrière de la face

avant (3) dont le bas est, lui aussi, usiné en biseau. L'évent est fixé par trois vis contre la face avant : deux vis au niveau des tasseaux et une au centre de la zone inclinée (figure 3, coupe B et photo d'entrée).

Une fois l'évent mis en place, installer le panneau (2), visser les trois vis de l'évent, puis mettre en place le panneau inférieur (5).

Lorsque la face arrière (4) et le panneau (2) ne sont pas mis en place, **le panneau (5) n'est fixé que par ses vis**. Tout effort sur ce panneau risque d'arracher les filets de l'aggloméré. Attention lors d'un démontage, par exemple.

Si tout se passe correctement, vous pouvez tout démonter, puis passer à la phase du collage (colle vinylique) en suivant l'ordre précédent. Passer le doigt sur la colle en excès à l'intérieur de l'enceinte pour obtenir un joint d'étanchéité.

Après une bonne nuit de séchage, passer au montage des deux haut-parleurs.

Le montage mécanique

Les haut-parleurs sont fixés par huit tiges filetées (**figure 9**).

Compte tenu de l'accès « quasi impossible » d'une clef pour le serrage des écrous qui s'encastrant dans le moulage du saladier, nous avons vissé un haut-parleur sur l'une des deux faces en utilisant deux écrous positionnés l'un à l'extérieur, l'autre à l'intérieur de l'enceinte. L'écrou « intérieur » reste accessible pour le serrage du premier haut-parleur. Une rondelle plate de 6, large, s'appuie sur la surface du bois (**photo A**).

Le second haut-parleur, muni de son joint, est fixé par des vis BTR à six pans creux. Ces vis vont pénétrer dans des manchons vissés aux autres extrémités des tiges filetées (**photo B**). Des rondelles plates de 6 mm et 8 mm, collées ensemble et sur la face interne de l'enceinte (colle époxyde), vont centrer les extrémités des manchons sur les trous de fixations du second haut-parleur (**photo C**). Le premier haut-parleur fixé, placer les huit manchons dans leurs cuvettes. Une fois le jeu éliminé, bloquer les contre-écrous en tenant les



manchons à l'aide d'une pince « étau » et en serrant les contre-écrous avec une clef.

Il reste à mettre le second haut-parleur en place et à le serrer à bloc. Pour ce serrage, travailler progressivement en passant d'une vis à la suivante et en tournant autour du haut-parleur pour comprimer son joint.

Le dispositif de mise en précontrainte des HP (vérin)

Le vérin se réalise sans outillage complexe. Il utilise deux plaques de verre époxy de 1,6 mm d'épaisseur. Nous avons utilisé une plaque de circuit imprimé « raté » nettoyé de son cuivre.

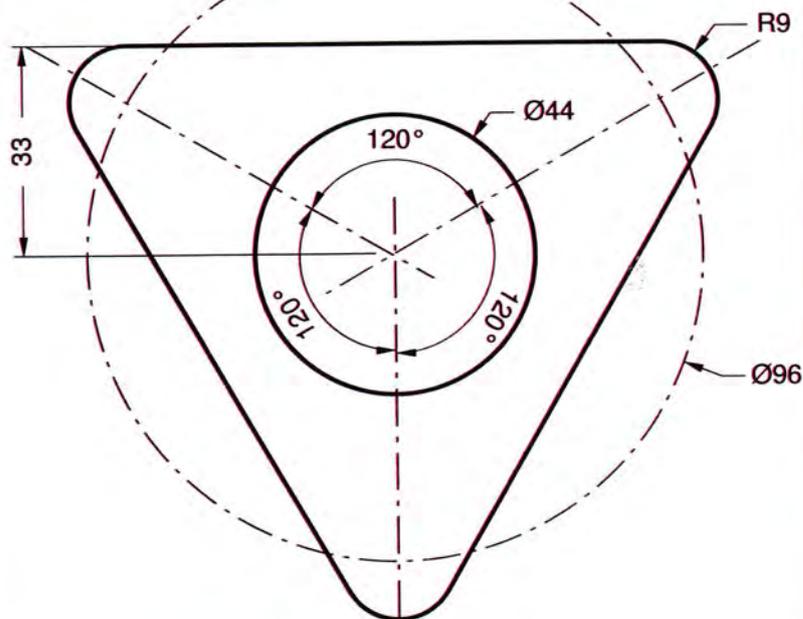
La **figure 10** donne les dimensions de chacune des deux plaques, en forme de triangle équilatéral et aux angles arrondis. Le trou central dégage l'ouverture arrière de ventilation du haut-parleur (**photo D**).

Les trois vérins sont constitués de vis à « collet carré » de 6 x 90 mm. Les têtes des vis reposent sur des rondelles plates, moyennes, de 8 mm collées aux angles de l'une des plaques (**photo E**).

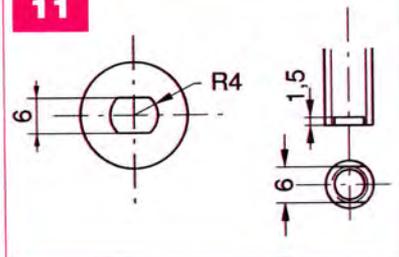
La plaque opposée reçoit des manchons de 6 mm collés. Deux méplats sont usinés à une extrémité de ces manchons (**photo F**), pour leur permettre d'entrer dans l'ouverture d'une rondelle usinée suivant la **figure 11**.

Le couple de la vis sera transmis à la rondelle. Cette dernière permettra de disposer d'un couple de blocage très

10



11



supérieur à celui que l'on aurait eu en collant directement l'extrémité du manchon sur l'époxy. Une seconde rondelle de 8 mm, entoure le manchon et complète son centrage.

Le tout est collé à l'époxy (figure 12). Le vérin sera prémonté de façon à ce que le durcissement total ait lieu avec les vis bien perpendiculaires à la surface d'époxy.

Le vérin monté passe entre les tiges de fixations des haut-parleurs. On le centre sur les trous de ventilation et on desserre les vis pour écarter les deux plaques (photo G).

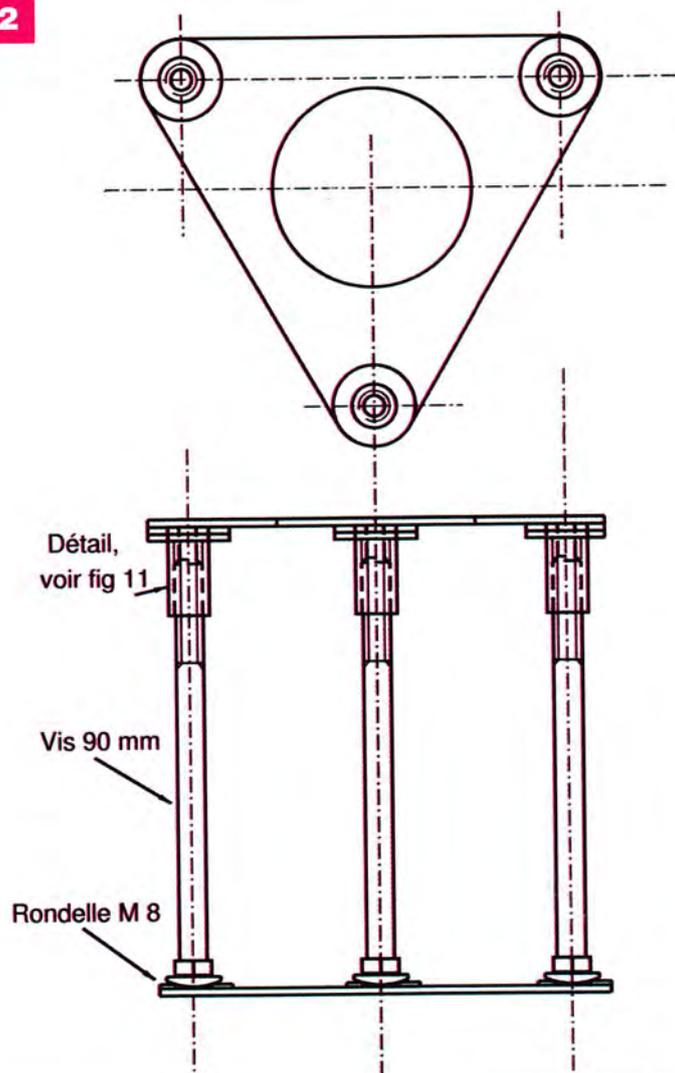
Un tour de clé sur chaque vis à « collet carré » et c'est « arc-bouté ».

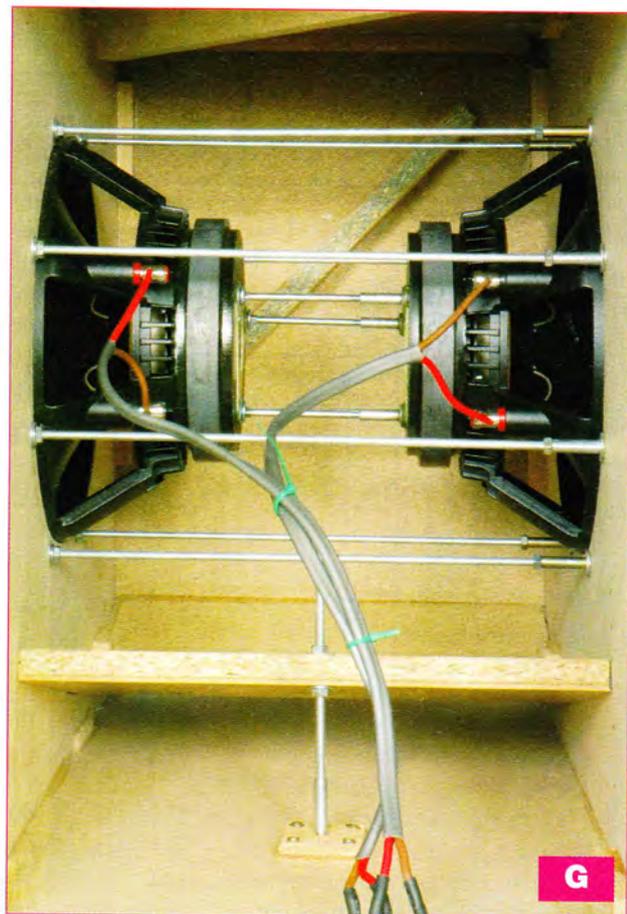
La longueur du filetage des vis de 90 mm permet éventuellement d'insérer un écrou bas (Hm) ou un écrou élastique PAL plus mince qu'un écrou H. Ils serviront de contre-écrou.

On peut aussi glisser un peu de colle contact ou de vernis de blocage sous les têtes des vis à « collet-carré » pour éviter un desserrage accidentel, tout en autorisant un démontage ultérieur. Le serrage de l'assemblage est une opération assez délicate. Si les vérins sont trop tendus, il y a risque de « cassures » des branches du saladier. Rassurez-vous, ce dernier est robuste et les branches travaillent en compression, mode pour lequel la résistance mécanique est importante. Les tiges périphériques travaillent en « extension » et celles du vérin en « compression ».

Lors du collage des rondelles concentriques, côté manchons des huit tiges, vous avez évité la présence de colle « époxyde » à l'intérieur des trous. Les manchons « portent » ainsi uniquement sur les rondelles (ils ont été mis en contact avec les rondelles et très légèrement serrés pour éliminer tout jeu, photo C). Les contre-écrous seront serrés en maintenant immobiles les manchons (pince-

12





étau). Toutes les tiges filetées auront alors la même longueur.

Nous allons fixer définitivement le deuxième haut-parleur qui sera maintenu par la pression exercée par les têtes des huit vis BTR sur le saladier. Ces vis presseront le joint et le bois de l'enceinte. Nous obtiendrons ainsi une compression du bois, mais sans déformation de la face de l'enceinte acoustique.

Le réglage du vérin n'est pas évident, les tiges présentent une fréquence de

résonance d'environ 175 Hz avant « contrainte » par le vérin. En tournant les collets carrés d'un peu plus d'un demi-tour, une fois le jeu éliminé, on fait « monter » la fréquence d'accord des tiges d'une quinzaine de hertz soit, un peu plus d'un demi-ton... (de « fa » à un peu plus de « fa dièse » !). Nous avons fabriqué un petit clé en époxy, matériau amagnétique contrairement à la clé anglaise fortement attirée par les aimants des H-P..

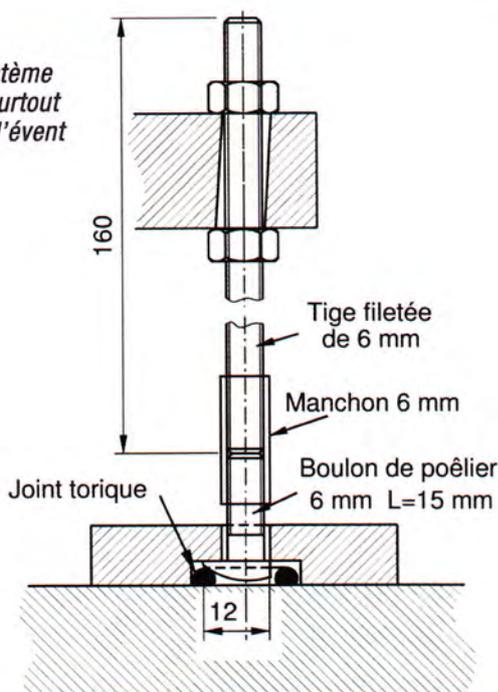
Si vous désirez faire de même, utili-

sez une double épaisseur d'époxy et serrez à fond (photo E)...

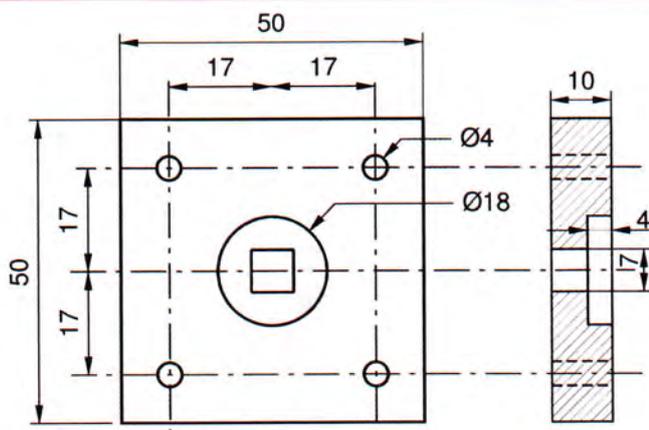
Le graissage des filets réduit les frottements du filetage. En principe, il n'est pas nécessaire d'utiliser des contre-écrous, la pression et l'angle de frottement entre les filets maintiennent le système en place. Vous pouvez néanmoins déposer du vernis au niveau des têtes des vis, histoire de sécuriser « le tout », uniquement si vous faites travailler le caisson à fort niveau.

13

Principe du système de réglage et surtout du blocage de l'évent



14



En équilibrant le serrage des trois vis, toutes les tiges sont accordées sur une fréquence très proche... Sans contrainte, chaque tige vibre aux environs de 175 Hz, nous ne sommes pas exactement dans la situation d'une corde d'instrument... Si vous craignez des vibrations dont la fondamentale se situe au-dessus de la fréquence maximale d'utilisation, vous pouvez enrober les tiges de gaines en « plastique ».

Une fois la pression assurée, il sera éventuellement possible d'agir sur la fixation des transducteurs pour « rattraper » certains écarts de fréquence trop importants. Il est toutefois préférable de répartir les fréquences de chaque tige pour éviter un risque de coloration du son...

Réglage de l'évent

Le système du réglage de l'évent demande une tige orientable. Nous aurions pu « mieux faire » avec un accès par l'extérieur de l'enceinte et, pourquoi pas, une aiguille indiquant la fréquence d'accord !

Nous avons (figure 13) emprisonné une tête de « boulon de poêlier », (c'est-à-dire une tête ronde à collet carré) dans une cage située au fond de l'enceinte.

La plaque (figure 14) maintient la tête contre un joint torique de néoprène (article de plomberie). Pour permettre son inclinaison, un méplat a été pratiqué en quelques coups de lime sur la tête pour éviter de trop écraser le joint. Une tige filetée, fixée par man-

H



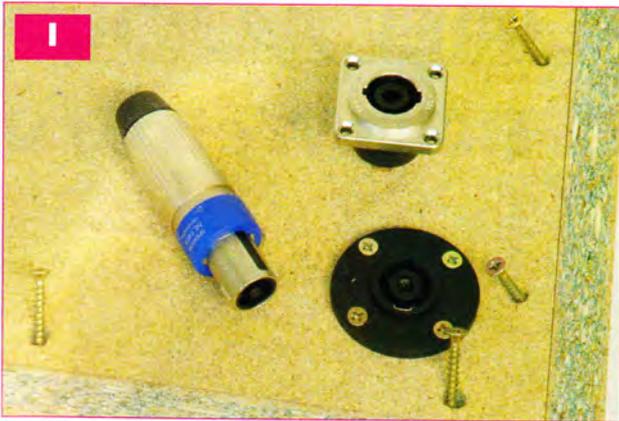
chon, prolonge le boulon. L'évent est maintenu entre deux écrous. On peut également interposer une rondelle associée à un autre joint torique compte tenu de l'appui de la surface de l'écrou sur une surface non perpendiculaire à l'axe de la tige filetée. En « montant » ou en « descendant » les écrous, il nous sera possible d'ajuster l'évent (photo H).

Version passive

Chaque haut-parleur est équipé d'un câble « arrivant » directement sur le connecteur d'entrée (photo G). Les haut-parleurs pourront être connectés en parallèle ou reliés séparément à ce connecteur à quatre contacts, telle l'embase « type » Speakon de Neutrik (photo I). La mise en parallèle peut se faire directement au niveau du connecteur. L'amplificateur verra alors une charge nominale de 4 Ω.

Il sera également possible de relier les deux transducteurs en série pour obtenir une impédance de 16 Ω, voire de doter chaque transducteur d'un amplificateur séparé qui verra alors une charge de 8 Ω par canal.

Nous préconisons le « must » du connecteur Speakon, autrement dit la version métallique NL4MP à associer de préférence à un NKT4FX, connecteur particulièrement robuste et agréable à manipuler comme une



porte de Rolls Royce...

Utiliser un câble de section confortable, au minimum du 1,5 mm². Ce câble n'a pas besoin de véhiculer des fréquences élevées, inutile d'utiliser du fil de Litz...

Le connecteur se raccorde par cosse ou par soudures, les bornes des haut-parleurs sont des modèles à « serrage élastique ». Attention, certaines ont du mal à recevoir un câble de trop forte section.

La face arrière sera vissée après interposition d'un joint d'étanchéité en mousse.

Bien sûr, cette enceinte sera associée à un filtre qui limitera sa bande passante et à un amplificateur à large bande.

Amélioration, lutte contre les vibrations

Sur la face supérieure, nous avons collé (et vissé) sur « chant » une latte de 45 mm de largeur et 53 cm de longueur décalée vers l'arrière (photo G). Pour la base, la **photo J** donne une idée. Cette fois, la hauteur n'est que de 40 mm (les lattes ne peuvent

prendre place à l'intérieur en raison de la présence de l'évent) et nous n'avons pas désiré monter le caisson sur un piédestal. Il y a juste de quoi passer l'embout de l'aspirateur...

Une autre renfort peut être collé sur les panneaux avant et arrière (photo G).

E. LÉMERY

Le haut-parleur PHL Audio de type 4521 B302-8 est distribué en France par la société HP Systèmes 35, rue Guy Môquet 75017 Paris
Tél. : 01 42 26 38 45
infos@hautparleursystemes.com

PCB-POOL®
Prix très concurrentiels pour les PCBs prototypes

1 EUROCARD
+ **Outils**
+ **Photoplots**
+ **TVA**

€49
*Ce prix ne comprend pas les frais de port.

Appel Gratuit
0800-903 330

Calculez votre devis immédiatement en ligne
Outils /Set-up inclus
Aucun montant minimum
Livraison ponctuelle garantie
Garantie de qualité ISO 9001

WWW.PCB-POOL.COM

Qualité Industrielle
Sans Plomb
FSA, OS, PTH, NPL

Beta
LAYOUT

HAUT-PARLEURS SYSTEMES
35 rue Guy Moquet 75017 PARIS
Tél: 01 42 26 38 45
www.hautparleursystemes.com
infos@hautparleursystemes.com

Nos nouveaux kits:
PRISME ATHOM
CB10 et CB20 Diablo

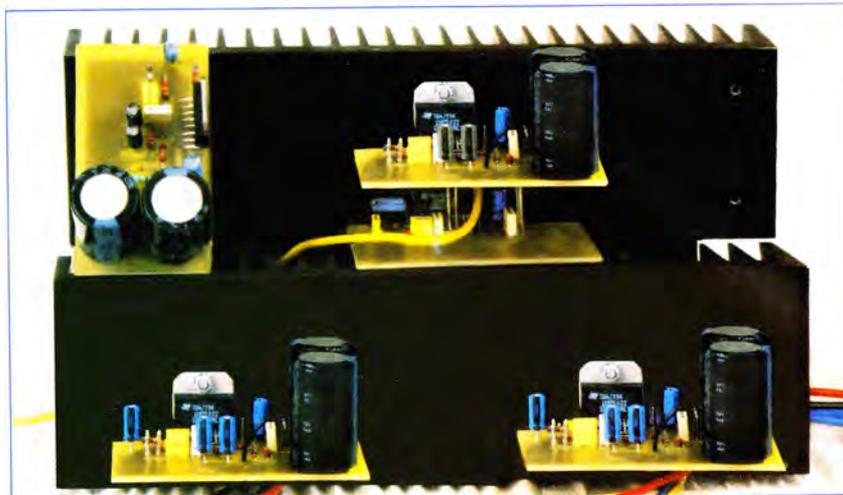
A écouter sans plus attendre...

Dernière minute:
Audax est de retour !

AMPLIFICATEURS AUDIO

2 x 65 W_{eff}/8 Ω & 200 W_{eff}/8 Ω

Ce projet constitue un bon complément au caisson d'extrême grave et au filtre traités, par ailleurs, dans ce même hors-série audio. Il met en œuvre des circuits intégrés de puissance TDA7294 réputés pour leur robustesse, leur fiabilité et leurs qualités d'écoute en haute-fidélité.



Le TDA 7294 est capable de fournir, à lui seul, des puissances importantes lorsque sa sortie est chargée par des impédances de 4 Ω ou 8 Ω. Même si l'alimentation n'est pas très généreuse en filtrage, la « ronflette » résiduelle reste très faible. La présence d'une fonction « muting », avec constante de temps R.C ajustable, permet de s'affranchir de tout « clic » à la mise sous tension de l'amplificateur.

Caractéristiques du TDA7294

- Tension d'alimentation élevée (± 40 V)
- Étage de sortie en technologie DMOS
- Puissance de sortie élevée (elle atteint les 100 W musicaux)
- Présence des fonctions « muting » et « stand-by »
- Pas de bruit de mise « en » ou « hors » service de l'amplificateur
- Pas de cellule de Boucherot
- Très faible distorsion
- Très faible bruit résiduel
- Protection contre les courts-circuits
- Protection thermique
- Courant de sortie crête : 10 A
- Courant de repos : 30 mA typique
- Gain en boucle fermée : 24 dB à 40 dB (30 dB typique)

- Réponse en fréquence à - 3 dB avec 1 W en sortie : 20 Hz à 20 kHz
- Résistance d'entrée : 100 kΩ minimum
- Slew Rate : 7 à 10 V/μs

Après avoir pris connaissance de ces chiffres excellents, nous allons étudier l'implantation d'un circuit imprimé qui nous permettra quelques manipulations. Ceci, en vue de réaliser un amplificateur stéréophonique, puis une version pontée beaucoup plus puissante.

Le schéma type d'application

Il vous est proposé en **figure 1**. Si l'on retire les composants des commandes de « muting » et « stand-by », il ne reste pas grand-chose à ajouter pour faire fonctionner le TDA7294 dans de bonnes conditions. Le signal audio est appliqué à l'entrée non-inverseuse par C1. Il bloque également toute composante continue indésirable pour le TDA7294. Cette entrée IN+ est chargée par la résistance R1.

Le réseau R1.C1 forme un filtre passe-haut qui limite la réponse du TDA7294 aux très basses fréquences. « Très basse » effectivement car, en sélectionnant un condensateur de 470 nF et une résistance de 20 kΩ, cette fréquence d'intervention f_0 se manifeste à :

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi R \cdot C}$$

$$\text{avec } R = 20 \text{ k}\Omega = 20 \cdot 10^3 \Omega$$

$$C = 470 \text{ nF} = 470 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$\pi = 3,14$$

$$f_0 = \frac{1}{6,28 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 470 \cdot 10^{-9}}$$

$$f_0 = \frac{1}{59\,032 \cdot 10^{-6}}$$

$$f_0 = \frac{1 \cdot 10^6}{59\,032}$$

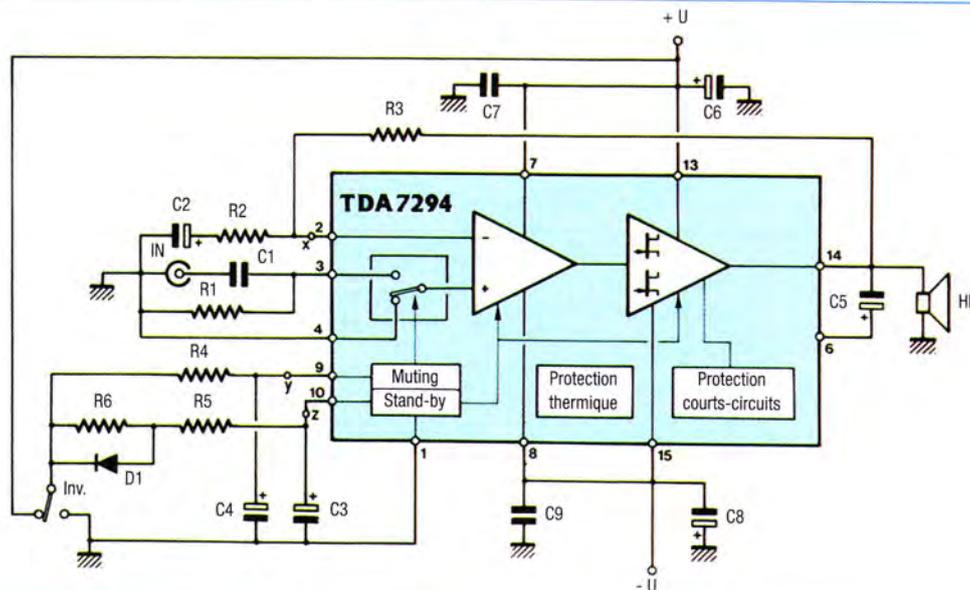
$$f_0 \approx 17 \text{ Hz}$$

Une limitation aux basses fréquences est également imposée par le réseau R2.C2 relié à l'entrée inverseuse. Les calculs menés comme ci-dessus font apparaître une fréquence d'intervention à -3 dB, située à 10,6 Hz.

Le rapport des résistances R3/R2 détermine le gain en tension du TDA7294. Avec R2 de 680 Ω et R3 de 22 kΩ, il est donc de 32.

Le fait d'augmenter ou de diminuer la valeur de la résistance R3 permet de modifier la sensibilité d'entrée du TDA7294, donc de l'adapter à ses besoins. Entre les broches (6) et (14), est inséré le condensateur « Bootstrap ».

1



Les tensions d'alimentations sont appliquées aux broches (7) et (13) pour la polarité positive et (8) et (15) pour la polarité négative. Des découplages permettent de s'affranchir de la « ronflette » et des dangers d'oscillations.

Le fait d'alimenter le TDA7294 en tensions symétriques nous dispense du condensateur de liaison en sortie HP. La tension continue apparaissant aux bornes de la charge est infime, nous verrons cela lors des mesures.

Le TDA7294 ne peut pas démontrer ses capacités d'amplificateur dynamique aux oreilles des audiophiles sans intervention sur la commande « muting ». Laquelle est actionnée en appliquant sur la broche (10) une tension positive prélevée sur le +V par le réseau R6/D1-R5. Avec le condensateur C3, nous obtenons une temporisation à la mise sous tension qui est due à la charge de la capacité, vidée au temps t_0 . On évite ainsi le « cloc » à la mise sous tension de l'amplificateur.

La commande « stand-by » fonctionne de la même façon.

Nous avons jumelé les deux commandes, mais chacune d'elles, bien entendu, peut fonctionner séparément.

Le TDA7294 en stéréophonie

Nous venons de découvrir le TDA7294 en statique, voyons mainte-

nant, au moyen d'une réalisation, son régime dynamique. L'écoute stéréophonique se fera tout naturellement avec la réalisation de deux étages identiques.

Le circuit imprimé

Une étude est proposée à l'échelle 1 en figure 2.

Nous avons prévu de larges pistes pour alimenter les broches (13) et (15) car elles sont reliées aux MOS de puissance. De forts courants transients ici à puissance maximale.

Le circuit, bien que supportant les condensateurs de filtrage C6 et C8 de valeur honnête (4700 μ F/40 V), est de faibles dimensions : 82 x 44 mm. Rien de particulier à signaler dans la gravure de ce circuit imprimé, sauf peut-être de bien veiller à ce qu'il n'y ait pas de court-circuit avec la liaison qui passe au-dessus de la sortie HP, autrement ce sera le « muting » à la première mise sous tension (il n'est pas destructeur !).

Le câblage

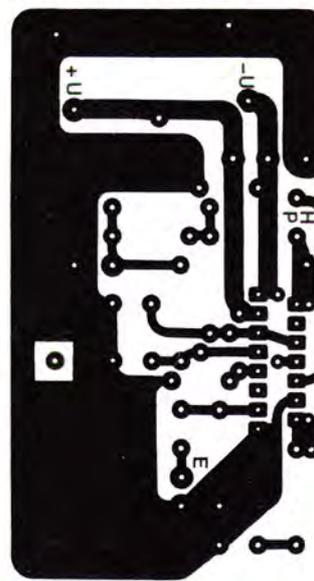
La mise en place des composants sur le circuit imprimé vous est communiquée en figure 3.

La résistance R3 se trouve sous le TDA7294, contre-réaction entre broches (2) et (14).

Ne pas oublier les straps qui alimentent les broches (7) et (8), commencer d'ailleurs le câblage par eux.

Nous avons vu, en début d'article, concernant le brochage du TDA7294,

AMPLI MOSFET TDA7294

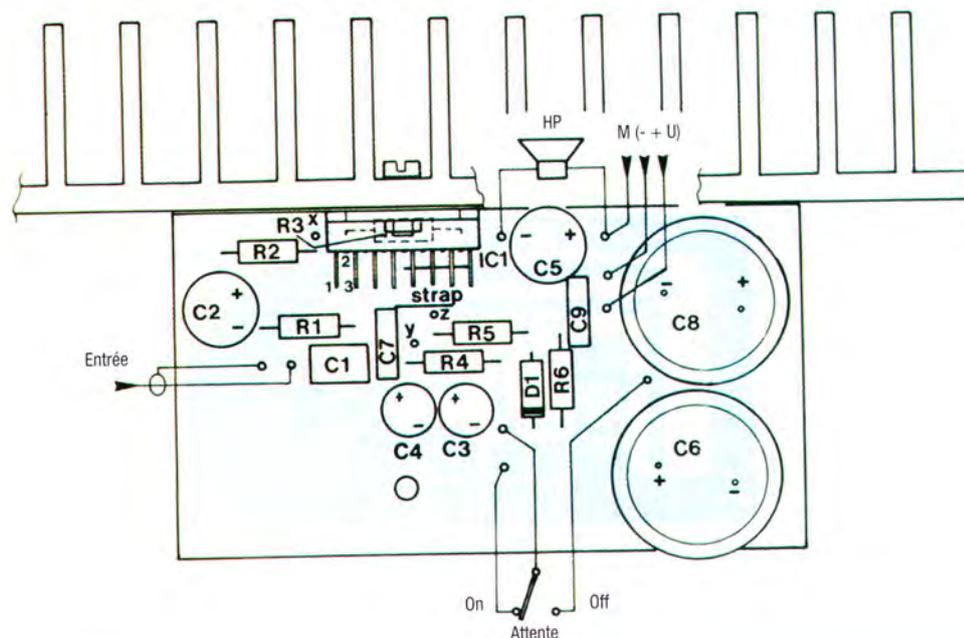


2

que la « pin » (11) n'est pas connectée. Par commodité, l'étude de notre circuit imprimé fait passer la liaison de la broche (10) vers R9 et C6 sur cette pastille (11). Toutefois, nous jugeons préférable de ne pas souder la broche (11) au circuit, mais plutôt de la couper pour qu'elle ne dépasse pas côté pistes cuivrées lors de l'insertion du boîtier Multiwatt 15. Sans cette précaution, le câblage de notre premier TDA7294 n'a jamais voulu fonctionner !

Le dernier composant à souder est le circuit intégré. Sa mise en place demande un peu de patience... Veiller à ce qu'il soit bien perpendiculaire au

3



Nomenclature

VERSION STÉRÉOPHONIQUE

Résistance à couche $\pm 5\%$ - 1/2 W

R1, R3, R4 : 22 k Ω
 R2 : 680 Ω
 R5 : 10 k Ω
 R6 : 33 k Ω

Condensateurs non polarisés

C1 : 470 nF (pas de 5,08)
 C7 : 100 nF (pas de 7,5)
 C9 : 100 nF (pas de 7,5)

Condensateurs électrochimiques radiaux

C2, C3, C4, C5 : 22 μ F/25 V
 C6, C8 : 4700 μ F/40 V

Semiconducteurs

IC1 : TDA7294
 D1 : 1N4148

Divers

Pont redresseur
 Dissipateur 1,2° C/W
 Inverseur
 Picots à souder
 Visserie de 3 mm

ALIMENTATION

Transformateur 220 V/2 x 25 V/225 VA
 Pont redresseur 8A/200 V à 600 V
 selon disponibilités

circuit imprimé. Attention à l'orientation des électrochimiques.

Le module câblé, dissoudre la résine de la soudure au trichloréthylène ou à l'acétone et vérifier qu'il n'y a pas de court-circuit, certains peuvent être destructeurs !

Le dissipateur

Un TDA7294 sans dissipateur est un TDA7294 condamné. Sa semelle métallique ne peut que transférer la chaleur, mais en aucun cas la dissiper. Deux possibilités vous sont offertes. Solution la plus efficace : visser directement le TDA7294 au dissipateur, sans l'isoler. Vous pouvez aussi visser le TDA7294 au dissipateur en l'isolant de celui-ci au moyen d'un mica enduit de graisse au silicone, tout en faisant passer la vis de fixation dans un canon plastique, lui aussi d'isolation.

Attention, la semelle métallique est reliée au (-) de l'alimentation.

Dans notre premier cas, c'est donc le dissipateur qu'il convient d'isoler du châssis.

L'alimentation

Le fonctionnement de notre TDA7294 est assuré dans une large plage de tensions : ± 10 V à ± 40 V.

Notre choix s'est porté sur un transformateur de 225 VA, pouvant fournir au secondaire 2 x 25 V ~.

Après redressement et filtrage par C6 et C8, nous disposons d'une tension continue symétrique de ± 35 V.

Les mesures

- Relier un générateur BF à l'entrée du module, centré sur la fréquence 1 kHz et en position sinus

- Charger la sortie HP par une résistance de puissance 8 Ω (ou 8,2 Ω)

- Relier la sonde d'un oscilloscope aux bornes de cette charge

- Mettre sous tension le module amplificateur (le « muting » est hors-service, position « off » de l'inverseur) Un signal apparaît sur l'écran de l'oscilloscope.

Augmenter le signal d'entrée jusqu'à l'écrêtage de la sinusoïde.

- Mesurer au multimètre la tension alternative présente aux bornes de la charge.

La puissance efficace se déduit du rapport : $P_{eff} = U^2/R$

Nos mesures

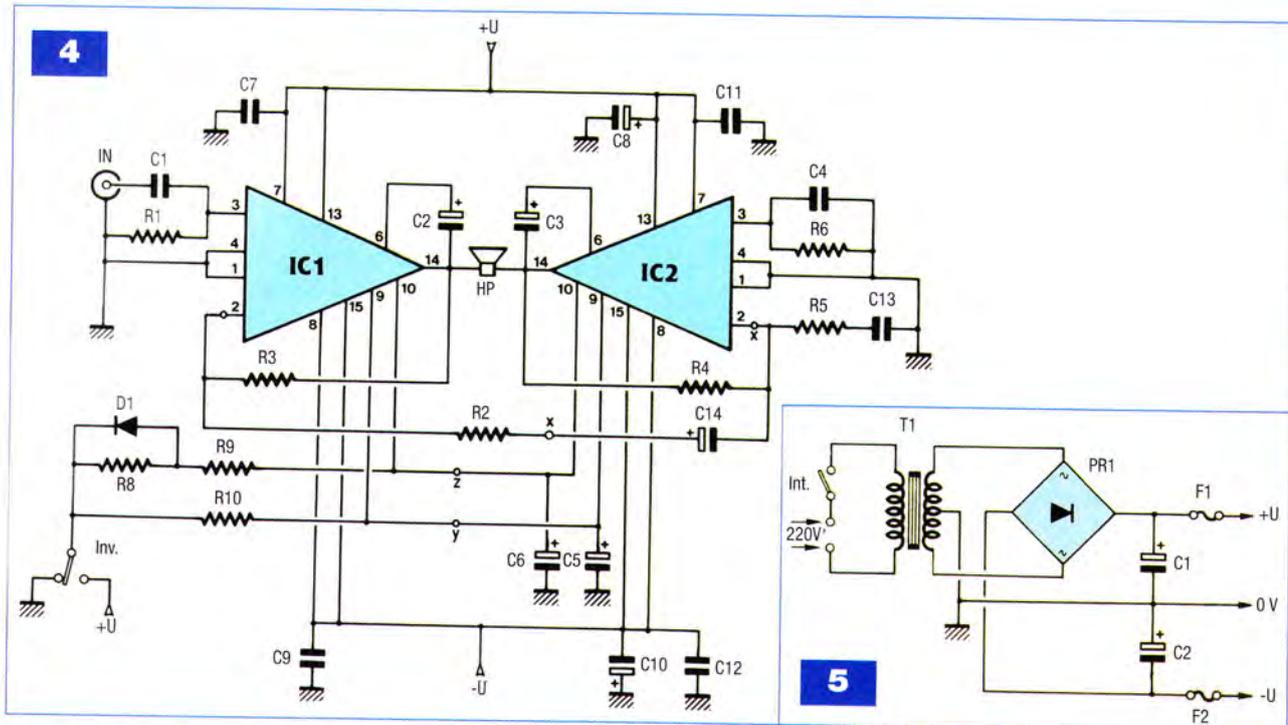
Nous les avons effectuées en version stéréophonique, en alimentant deux modules amplificateurs.

Nous avons trouvé :

- tension d'alimentation au repos : ± 37 V
- tension d'alimentation à Pmax : ± 35 V
- résistances de charges : 8,1 Ω
- puissance maximale à l'écrêtage et à 1 kHz : 68 W_{eff} par module
- sensibilité d'entrée à Pmax : 610 mV_{eff}
- tension continue aux bornes de la charge : - 5 mV.

L'écoute

Étonnante ! Nous écoutons un circuit intégré de puissance qui ne nous agresse pas les oreilles, ne nous pro-



jette pas à la face une musique sèche, métallique, une musique fatigante à écouter vous donnant vite une sensation de malaise. Au contraire, l'écoute de divers CD est ici agréable, elle nous donne envie de rester devant les enceintes.

Le médium est impressionnant de précision, l'aigu sort sans agressivité, il scintille.

Le grave est bien contrôlé, ferme.

Un circuit intégré qui « sonne » comme une réalisation qui serait conçue à partir de transistors discrets, cela s'appelle une réussite !

Le TDA7294 est proposé au prix d'une paire de transistors de puissance du type MJ15024/MJ15025... sans commentaire !

Le TDA7294 en mode ponté

Impressionnés par les performances obtenues : puissance, prix de revient très bas et résultats d'écoutes plus que positifs - nous avons voulu aller plus loin en soumettant deux TDA7294 en « mode ponté » afin de tirer encore plus de puissance. À ce prix, il ne faut pas s'en priver ! Du délire ! Nous avons obtenu de nos deux TDA7294 chargés par une résistance de 8,1 Ω une puissance de 202,5 Weff !

Il est évident que cette puissance ne

peut pas être fournie en continu, mais avec un dissipateur porté à température ambiante (25°C environ), c'est ce que nous pouvons mesurer, à la mise sous tension avant l'échauffement des puces.

Le fonctionnement de ces amplificateurs s'effectuant en classe A.B et la musique (moderne ou classique) étant une succession de fortissimos et de pianissimos avec une puissance moyenne qui reste modérée, le pontage de deux TDA7294 peut ainsi fournir une écoute avec une puissance impressionnante.

Le schéma

Il fait l'objet de la figure 4.

Nous voyons que le pontage de deux TDA7294 est une opération relativement simple à réaliser et qui ne nécessite pas de déphaseur complémentaire. Nous avons obtenu avec ce schéma un fonctionnement irréprochable du bloc de puissance, avec un écrêtage parfaitement symétrique. L'étage de gauche, avec IC1, est pratiquement identique à celui de la figure 1. Néanmoins, le haut-parleur n'est plus connecté entre la broche (14) et la masse, mais en « flottant » entre les deux sorties des TDA7294.

La broche (2) de IC1 (entrée inverseuse du TDA7294) n'est plus reliée à un réseau RC dérivé à la masse, mais raccordée à la broche (2) de IC2.

Ce même réseau RC sur la broche (2) de IC2 demeure, en sélectionnant toutefois une valeur différente pour le condensateur qui passe de 22 μF à 1 nF (ou 470 pF).

Il ne s'agit plus ici de descendre vers les basses fréquences, mais de lutter contre les accrochages HF, lesquels se manifestent bien en l'absence de R5-C13.

L'accrochage ne perturbe pas le fonctionnement de l'amplificateur « ponté », mais fait tiédir rapidement et inutilement le dissipateur, même au repos en l'absence de modulation.

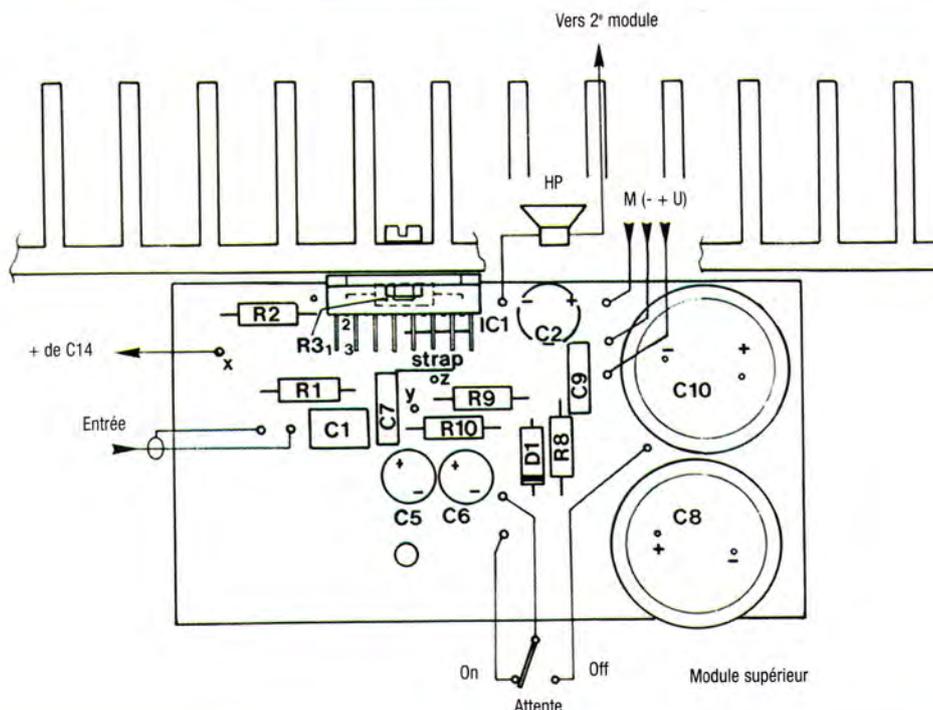
Le signal est appliqué à l'entrée non-inverseuse de IC1, broche (3), par le condensateur C1, tandis que son homologue C4 est relié à la masse. Les composants nécessaires à l'activation du « muting » et du « stand-by » sont uniques pour IC1 et IC2, les broches (9) et (10) de chaque TDA7294 étant connectées entre elles.

Le fonctionnement de ce bloc compact de forte puissance demande du courant.

Il est donc utile de renforcer le filtrage effectué par C8 et C10 par deux condensateurs complémentaires de 22000 $\mu\text{F}/40\text{V}/\text{C039}$, ce qu'indique la figure 5.

Ainsi, même à puissance maximale, à 200 Weff, la « ronflette » est inexistante.

6



La réalisation

Comme nous venons de le constater, il n'y a pas de grande différence entre réaliser deux modules pour une écoute stéréophonique et un module pour faire fonctionner une version pontée. Aussi n'avons-nous pas étudié un autre circuit imprimé pour passer de 2 x 68 Weff à 1 x 200 Weff, mais utilisé deux circuits imprimés identiques, câblés différemment.

Le câblage

Deux plans de câblage vous sont proposés aux figures 6 et 7.

Les éléments qui apparaissent sur le schéma de principe de la figure 4 sont disposés sur deux plaques imprimées. N'oubliez pas les straps ! Comme pour le câblage du TDA7294 du module précédent, la patte (11) est coupée afin qu'il ne soit pas possible de la souder. Les points repérés « x », « y » et « z » sont destinés à être reliés entre eux, « y » et « z » par du fil de cuivre étamé et « x » par le condensateur C14 qui sera, de préférence, à sorties axiales.

Il convient de procéder de même pour les trois pastilles d'alimentation. Nous avons utilisé du fil de cuivre étamé de 10/10, l'espace qui sépare les deux modules étant au minimum de 27 mm, des queues de compo-

sant ne sont pas assez longues.

Souder ensuite ces cinq straps au module de la figure 6 (le plus dense en composants).

Les interconnexions

Elles se font en s'aidant du dissipateur. Là encore, isoler ou ne pas isoler les semelles des TDA7294, à vous de choisir ! Pour nos essais, nous avons utilisé un dissipateur du type « peigne » de référence K300 (300 x 70 x 40 mm) et de résistance thermique R_{th} de 0,5 °/W.

Le module de commande, celui qui reçoit la modulation, se situe sur le dessus.

Reste à repérer le trou de fixation du TDA7294 sur le dissipateur. Il semble judicieux de le centrer par rapport aux extrémités, soit à 150 mm (entre deux ailettes).

Quant à l'ordonnée de ce point, il faut agir de sorte que les condensateurs de filtrage C8 et C10 affluent le haut du dissipateur.

- Tracer, avec un crayon, le cercle du trou de fixation du boîtier multiwatt et percer à \varnothing 3 mm.
- Immobiliser le module contre le dissipateur.
- Enfiler le deuxième module et repérer le trou de fixation de IC2.
- Enlever le module supérieur afin de

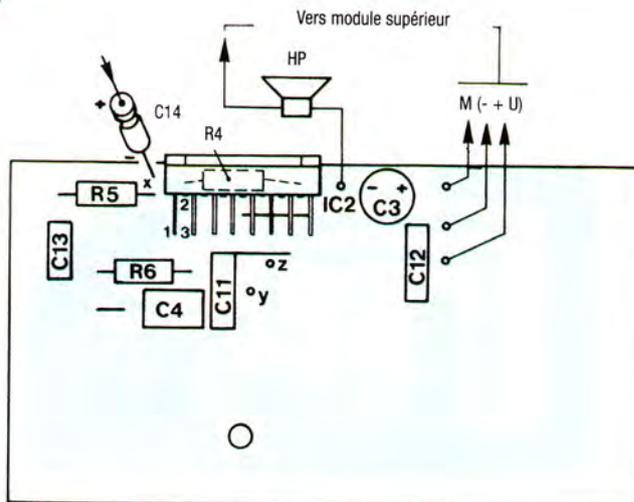
ne pas risquer de l'abîmer lors du perçage du deuxième trou à \varnothing 3 mm.

- Visser le module supérieur énergiquement afin que la semelle de refroidissement du TDA7294 soit bien plaquée contre le dissipateur.
 - Enfiler le module inférieur sans oublier C14 (point « x ») et visser IC2.
 - Souder maintenant les cinq interconnexions en cuivre étamé de 10/10 et le (+) de C14.
 - Relier les trois fils du « muting » à un inverseur ou effectuer un strap entre R8 et +U. Pour plus de commodité, l'alimentation des modules se fera sous le circuit imprimé inférieur.
 - Relier les sorties HP à une charge de 8 Ω .
- Le module est prêt à être testé.

Les mesures

- Transformateur : 2 x 25 V ~/500 VA
 - Alimentation renforcée de la figure 5 : 2 x 22 000 μ F + 2 x 4 700 μ F sur le module supérieur
 - Tensions d'alimentation au repos: \pm 37 V
 - Tensions d'alimentation à Pmax: \pm 33,8V
 - Puissance maximale obtenue à l'écrêtage à 1 kHz sur charge de 8,1 Ω : 202,5 Weff
 - Sensibilité d'entrée à Pmax : 1,2 Veff.
- Nous ne constatons pas de dispersion sur les deux TDA7294. L'écrêtage est parfaitement symétrique, il inter-

7



Nomenclature

VERSION PONTÉE

Résistance à couche $\pm 5\%$ - 1/2 W

R1, R3, R4, R6, R10 : 22 k Ω

R2 : 1,3 k Ω

R5 : 680 Ω

R7 : supprimée

R8 : 33 k Ω

R9 : 10 k Ω

Condensateurs non polarisés

C1, C4 : 1 μ F (pas de 5,08)

C7, C9, C11, C12 : 100 nF (pas de 7,5)

C13 : 1 nF ou 470 pF (pas de 5,08)

Condensateurs électrochimiques

C2, C3, C5, C6 : 22 μ F/25 V

C8, C10 : 4700 μ F/40 V

Semiconducteurs

IC1, IC2 : TDA7294

D1 : 1N4148

Divers

Dissipateur K300 ou autre 0,5°/W de R.th

Visserie de 3 mm

Fil de câblage

Picots à souder

Inverseur

ALIMENTATION

Pont redresseur 8 A ou 25 A/200 V à 600 V selon disponibilité

Transformateur 220 V/2 x 35 V/500 VA

2 condensateurs de filtrage de

22000 μ F/40 V

Quant au prix de revient, l'électronique est moins onéreuse que le seul transformateur d'alimentation !

B. DUVAL

vient en même temps sur les alternances positives et négatives.

Le signal est superbe : pas d'accrochage, pas de « ronflette », 113 V crête à crête sur l'écran du scope !

Fonctionnement en 4 Ω

Tout au long de cet article, nous n'avons parlé que d'impédance de charge de 8 Ω . On peut évidemment, sans aucune modification, faire fonctionner les TDA7294 avec des haut-parleurs de 4, 6, 8 ou 16 Ω .

Plus la charge diminue et plus la puissance augmente (si l'alimentation est surdimensionnée). Mais, attention, les puces s'échauffent rapidement et la protection thermique intervient vite.

Il ne faut pas espérer pouvoir obtenir 450 Weff sur une charge de 4 Ω !

Pour conclure

Le TDA7294 est un circuit intégré de puissance remarquable pour au moins deux raisons :

- il fournit une puissance importante dans un volume très réduit et à un prix dérisoire,

- il permet une écoute stéréophonique dépourvue d'agressivité, précise, avec un excellent médium.

Quatre TDA7294 suffisent pour mettre au point un amplificateur triphonique d'excellente qualité, avec 200 Weff pour le caisson grave et 2 x 68 Weff pour les satellites.

L'offre pertinente pour vos Circuits Imprimés professionnels

EURO
CIRCUITS

On-line: calculez vos prix
On-line: passez vos commandes
On-line: suivez vos commandes
On-line: 24H/24 & 7J/7

**Pas de minimum de commande !
Pas de frais d'outillages !**

Une équipe novatrice à votre écoute: +33 (0)3 86 87 07 85

www.eurocircuits.com

Verified

- "Standard pooling" à prix très attractifs
- de 1 à 6 couches
- de 1 à 1000 pièces
- délais à partir de 3 jours ouvrés

A la carte

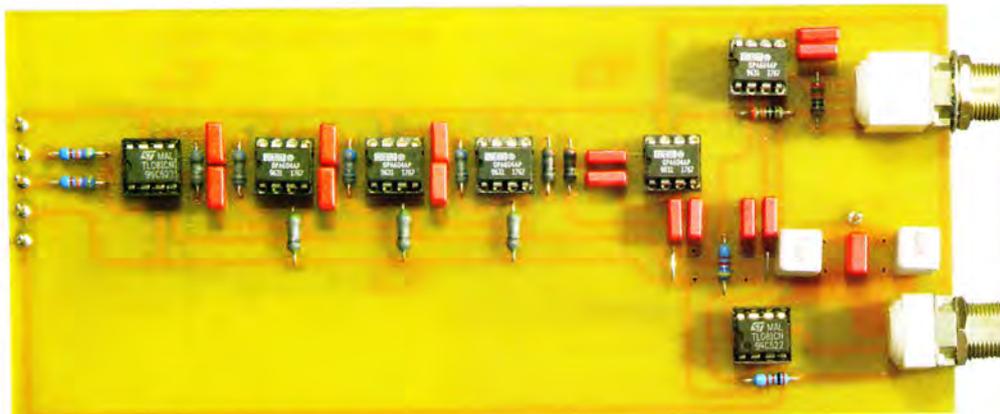
- "Technologie pooling" à prix attractifs
- de 1 à 8 couches
- de 1 à 1000 pièces
- délais à partir de 3 jours ouvrés

On demand

- "Technologie particulière" au juste prix
- de 1 à 16 couches
- de 1 pièce à la moyenne série
- délais à partir de 3 jours ouvrés

Filtre actif pour caisson d'extrême-grave

Le caisson de « basses » entend répondre à l'incapacité de la majorité des enceintes de pouvoir descendre en dessous de 60 Hz. Notre objectif est de combler la bande des fréquences de 20 Hz-120 Hz.



Pour obtenir du 20 Hz dans un volume de 120 litres avec une grande « possibilité » en pression acoustique, seul un système par filtrage actif permettra d'y accéder.

Le filtrage actif

Le cahier des charges est simple, il faut combler la bande 20 Hz-120 Hz. La fréquence de 20 Hz est ajustable de 30 Hz à 120 Hz.

L'électronique, comme indiqué en **figure 1**, se compose de quatre étages :

- l'étage d'entrée comprenant un sommateur qui permet l'utilisation d'un caisson unique en « caisson central »
- un filtre passe-haut possédant un fort coefficient de surtension afin d'augmenter très sensiblement la pression acoustique entre 15 Hz et 50 Hz
- un filtre passe-bas qui possède un réglage en « fréquence glissante » pour s'adapter à la plupart des enceintes satellites
- l'étage de sortie dont le but est de régler le niveau sonore de l'ensemble.

Le filtre passe-haut

Une cellule de base est reproduite en **figure 2a**, l'atténuation est ici de 12 dB/octave.

L'élément actif est constitué d'un amplificateur opérationnel, ce qui simplifie le calcul du circuit.

Sans trop entrer dans des calculs toujours complexes, ce qui n'est pas

le but de cet article, disons que la fréquence de coupure f_c d'une telle cellule est déterminée par la relation :

$$f_c = \frac{1}{2 \pi \cdot R_0 \cdot C}$$

Notre fréquence de coupure est, rappelons-le, de 20 Hz.

Avec $2 \pi = 6,28$ et comme unité d'impédance la capacité C que nous choisissons arbitrairement de $0,15 \mu\text{F}$ (150 nF), nous pouvons calculer R_0 .

$$R_0 = \frac{1}{20 \cdot 6,28 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6}}$$

$$= \frac{1 \cdot 10^6}{18,84} = 53\,078 \Omega$$

$R_1 = 0,707 \cdot R_0 \rightarrow R_1 = 37\,526 \Omega$

$R_2 = 1,41 \cdot R_0 \rightarrow R_2 = 74\,839 \Omega$

Les trois cellules identiques placées en série permettront d'obtenir une atténuation de 36 dB/octave.

Le coefficient de surtension

Les valeurs que nous venons de déterminer pour R_1 et R_2 sont valables lorsque nous ne désirons pas de surtension à la fréquence de coupure f_c , c'est-à-dire avec un coefficient de surtension de 0,707.

Le coefficient de surtension Q se définit par la relation :

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{q}{m}}$$

Pour une cellule à 12 dB :

$q = 1,414$ et $m = 0,707$

Nous obtenons : $Q = 0,707$

Comme déjà mentionné, nous désirons pour ce filtre passe-haut un fort coefficient de surtension Q .

Afin d'augmenter la pression acoustique entre 15 Hz et 50 Hz, nous le choisissons de 1,7 pour cette application.

Le rapport est de $1,7/0,707$, soit 2,4. La résistance R_1 de $37,5 \text{ k}\Omega$ prend donc la valeur de $15,62 \text{ k}\Omega$ ($37,5/2,4$) et la résistance R_2 de $74,8 \text{ k}\Omega$, la nouvelle valeur de $180 \text{ k}\Omega$ ($74,8 \times 2,4$).

Le filtre passe-bas

La cellule de base de la **figure 2b** va nous permettre de conduire le même raisonnement que ci-dessus.

En fait, le passage d'une cellule passe-haut en passe-bas se traduit par l'insertion de résistances en lieu et place des condensateurs.

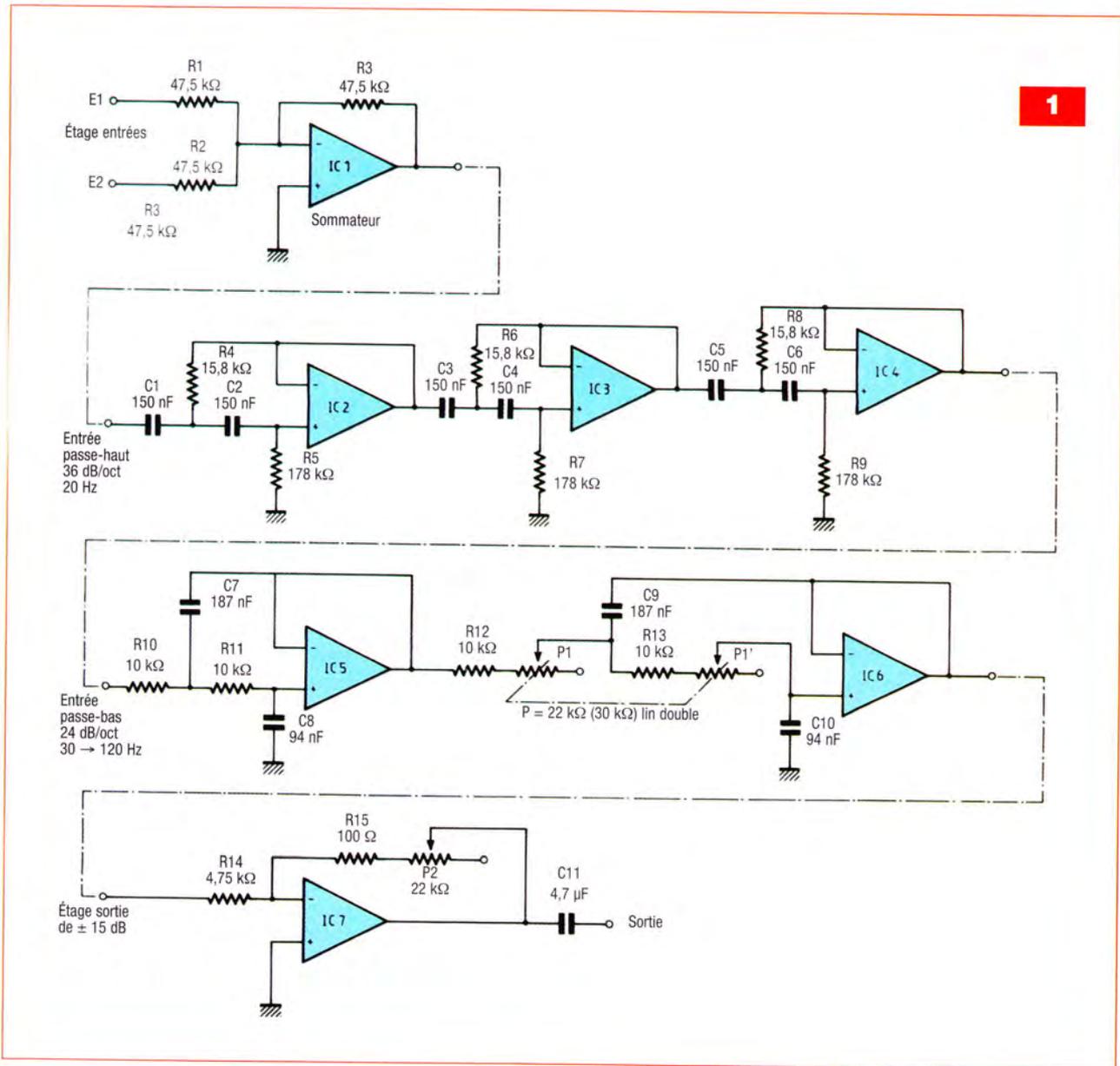
Nous voulons une fréquence maximale de 120 Hz et une fréquence glissante de 30 Hz à 120 Hz.

La fréquence de coupure d'une telle cellule est déterminée cette fois par la relation :

$$f_c = \frac{1}{2 \pi \cdot R \cdot C_0}$$

Une valeur de $10 \text{ k}\Omega$ pour le choix de l'unité d'impédance donnée à R permet de faire fonctionner l'ampli op dans de bonnes conditions.

En effet, pour que cet élément puisse être considéré comme parfait, il faut que R soit beaucoup plus faible que l'impédance d'entrée de celui-ci et



1

nettement plus élevée que l'impédance de sortie.

• Pour une fréquence de 120 Hz maximale

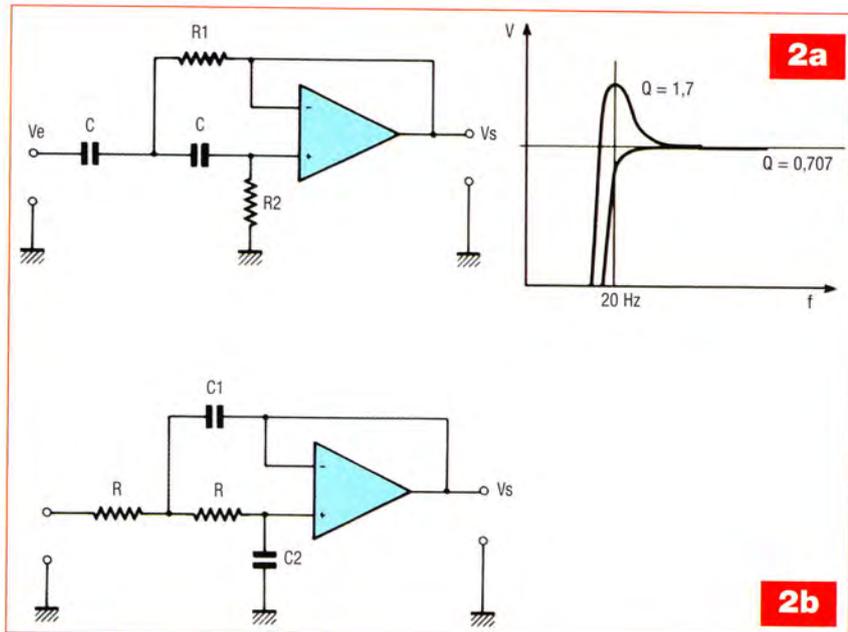
$$C_0 = \frac{1}{120.6,28.10.10^3} = \frac{1}{7536.10^3}$$

$$= \frac{1}{7,536.10^6} = 0,1327.10^{-6}$$

$C_0 \# 0,133 \mu\text{F}$ ou 133 nF
 $C_1 = 1,41. C_0 \rightarrow C_1 \# 187 \text{ nF}$
 $C_2 = 0,707. C_0 \rightarrow C_2 \# 94 \text{ nF}$

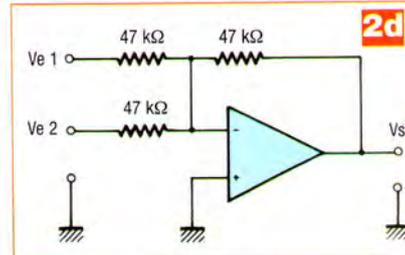
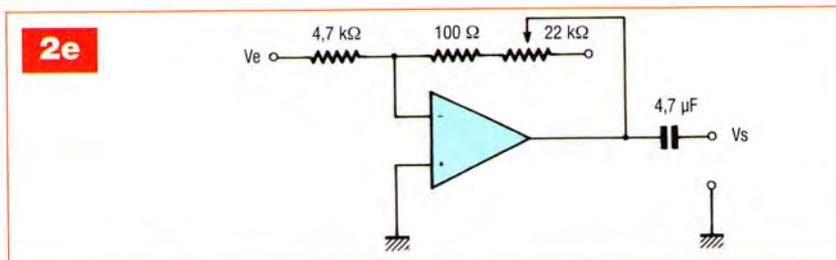
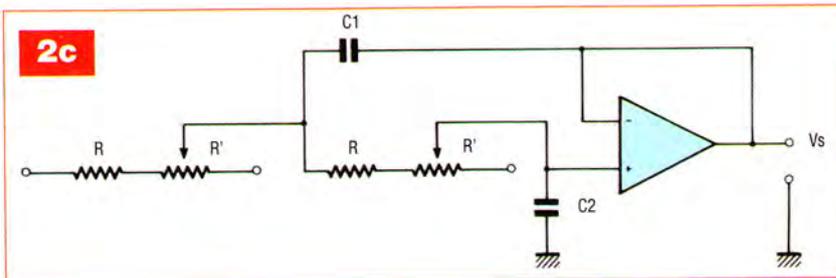
• Pour une fréquence de 30 Hz minimale

Une deuxième cellule est utilisée pour effectuer ce glissement désiré de la fréquence.



2a

2b



La figure 2c indique les modifications apportées à la cellule de base. Les résistances de valeur fixe R de 10 kΩ sont remplacées par un potentiomètre double à axe unique. Il faut, en effet, que les deux éléments résistifs aient la même valeur ohmique. Nous connaissons C₀ (133 nF), f_c (30 Hz), 2π (6,28), nous pouvons donc, en reprenant la relation ci-dessus, calculer la valeur de R :

$$133 \cdot 10^{-9} \text{ (en nF)} = \frac{1}{30,6 \cdot 28 \cdot R}$$

$$R = \frac{1}{30,6 \cdot 28 \cdot 133 \cdot 10^{-9}}$$

$$= \frac{1}{25057 \cdot 10^{-9}} \text{ ou } \frac{1}{25,057 \cdot 10^{-6}}$$

$$R = 0,040 \cdot 10^6 \text{ soit } 40 \text{ k}\Omega$$

Ce résultat était prévisible puisque nous divisons la fréquence de coupure f_c par quatre (120 Hz → 30 Hz). Les deux valeurs résistives à retenir sont donc :

$$120 \text{ Hz} \rightarrow R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$30 \text{ Hz} \rightarrow R = 40 \text{ k}\Omega$$

Pour la fréquence de 120 Hz, pas de problème. Lorsque les curseurs des potentiomètres R' sont à 0, des résistances « talon » R de 10 kΩ font parfaitement l'affaire.

La complication intervient pour le minima de 30 Hz, R + R' doivent avoir une résistance totale de 40 kΩ, soit R' = 30 kΩ. Inutile de chercher un tel potentiomètre chez votre revendeur qui sourira en vous disant : « Monsieur, c'est 22 kΩ ou 47 kΩ ! ».

Une valeur de 47 kΩ n'est pas envisageable, car la fréquence de coupure f_c descendrait beaucoup trop bas. Deux solutions se présentent alors.

• Première solution

Shunter les pistes des potentiomètres par des résistances fixes de valeur appropriée, de façon à obtenir une résistance équivalente (R_{équi}) de 30 kΩ, soit :

$$30 = \frac{R \cdot 47}{R + 47}; R \# 82,9 \text{ k}\Omega$$

• Deuxième solution

Utiliser un modèle de 22 kΩ. La résistance totale « monte » au mieux à 32 kΩ, ce qui ne permet alors de descendre qu'à f_c # 37,5 Hz.

L'étage d'entrée

L'amplificateur opérationnel d'entrée est monté en sommateur, ce qu'indique la figure 2d.

En effet, le caisson d'extrême grave étant destiné à être utilisé en caisson central (fonctionnement triphonique), les deux canaux en provenance de la sortie du préamplificateur sont mélangés.

À ces basses fréquences, il n'y a rien à redouter car les sons ne sont absolument pas directionnels. Cet amplificateur opérationnel permet également d'attaquer l'entrée du filtre passe-haut à basse impédance.

Le gain en tension de cet étage est déterminé par la relation :

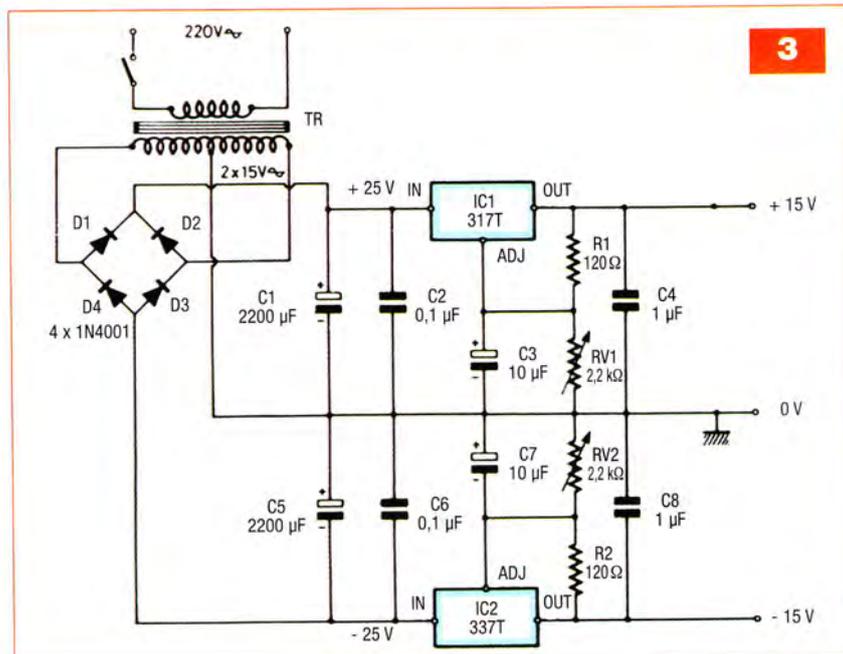
$$V_s = -47 \left(\frac{V_{e1}}{47} + \frac{V_{e2}}{47} \right)$$

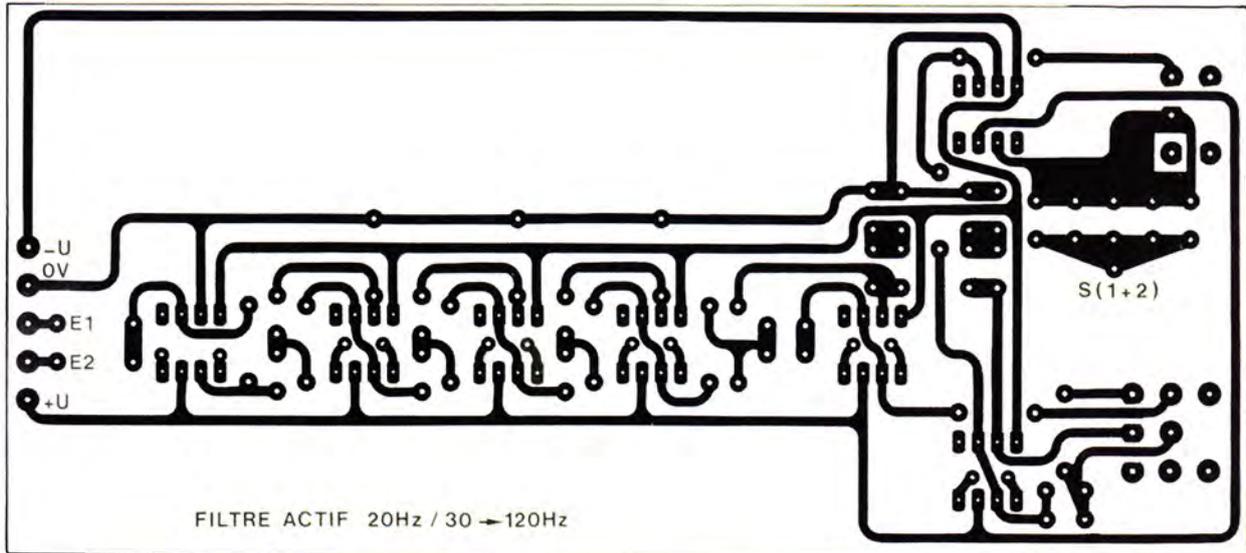
Soit un gain de 2 si V_{e1} = V_{e2}.

Le (-) indique que le signal subit une inversion de phase.

L'étage de sortie

De par la présence du potentiomètre de 22 kΩ monté en contre-réaction,





le gain en tension de cet étage est variable (**figure 2e**).

Il s'agit encore d'un étage inverseur de phase dont les gains extrêmes sont définis par les relations :

$$G_{\max} = \frac{100 + 22\,000}{4700} \# +4,7 \text{ (amplif.)}$$

$$G_{\min} = \frac{100}{4700} \# -0,021 \text{ (atténuation)}$$

Les amplificateurs opérationnels n'étant pas dotés de réglage d'offset, nous avons prévu, en sortie de ce dernier étage, un condensateur de 4,7 μ F dont le rôle est de bloquer toute tension continue présente sur la broche (6) de l'AOP.

Le choix des composants

Pour les semiconducteurs, plusieurs amplis op peuvent être utilisés (éviter tout de même le 741 !).

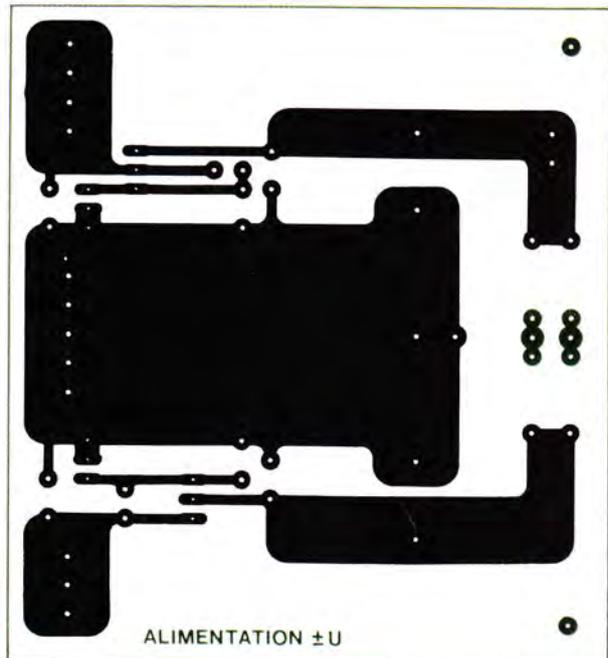
Le choix se portera sur des modèles « faible bruit » type NE 5534N ou OP27C...

Les résistances seront à couche métallique, les condensateurs des « mille-feuilles » au pas de 5,08.

S'il est facile de s'approvisionner en résistances à faible tolérance $\pm 1\%$, il en va tout autrement pour les condensateurs dont on ne peut espérer moins de $\pm 5\%$.

Un autre problème est soulevé avec le filtre passe-haut qui fait intervenir des valeurs comme 187 nF ou 94 nF. Afin de s'approcher de ces valeurs théoriques calculées, le circuit imprimé a été étudié pour recevoir deux condensateurs montés en parallèle.

4a



4b

Théorie et pratique

Comme nous venons de le signaler, entre la valeur optimale calculée pour un composant et ce que l'on peut acquérir, il y a toujours un compromis à faire.

Ainsi :

• Pour les filtres passe-haut

- C = 150 nF : valeur normalisée
- R1 = 37 526 Ω : valeur approchée 37,4 k Ω à $\pm 1\%$ (pour Q = 0,707)
- R2 = 74 839 Ω : valeur approchée 75 k Ω à $\pm 1\%$ (pour Q = 0,707)

• Pour les filtres passe-bas

- R = 10 k Ω à $\pm 1\%$: valeur normalisée
- C1 = 187 nF, soit 150 nF + 33 nF (ou 39 nF si possible)
- C2 = 94 nF, soit 47 nF + 47 nF

L'alimentation $\pm U$

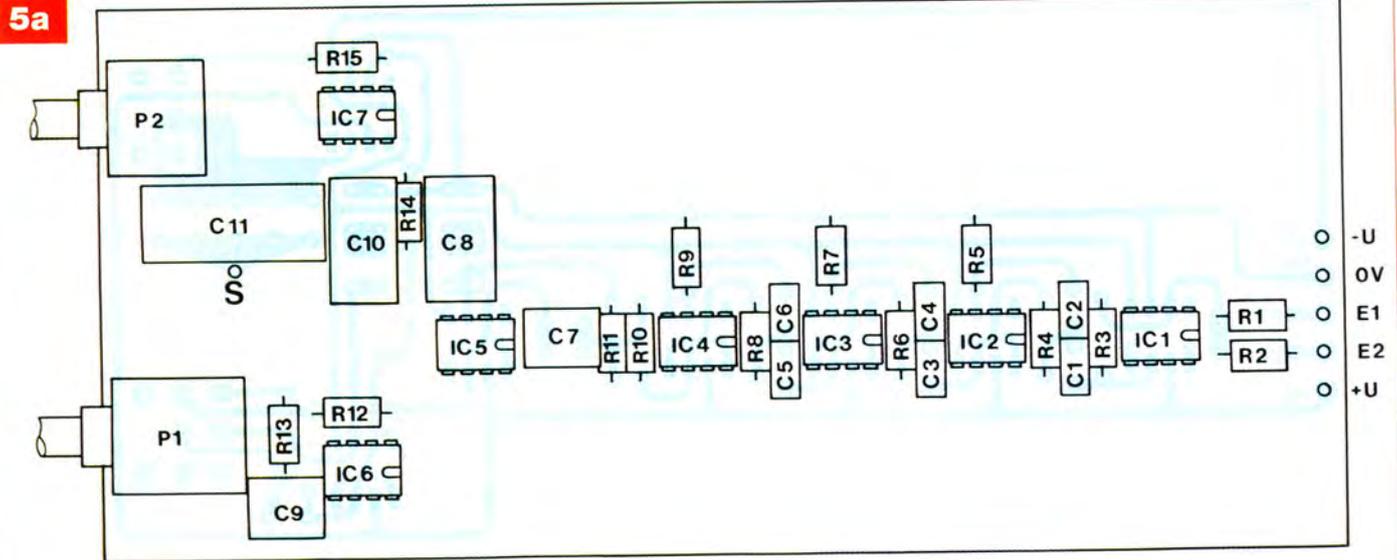
Le filtre actif peut être alimenté de ± 12 V à ± 16 V, voire ± 20 V avec des NE 5534N. Le schéma de la **figure 3** ne surprendra pas, c'est un classique qui utilise LM 317T et LM 337T.

Filtrage et régulation sont ici énergiques. Les ajustables permettent d'obtenir une alimentation parfaitement symétrique, ce qui n'est pas le cas avec des régulateurs complémentaires 7812 et 7912, par exemple.

Réalisation

Les circuits imprimés

Ils sont au nombre de deux et proposés à l'échelle 1 aux **figures 4a** et **4b**. Leur gravure ne pose aucun problème.



Nomenclature

ALIMENTATION

Résistances à couche $\pm 5\%$ - 1/2 W
R1, R2 : 120 Ω

Ajustables 25 tours
RV1, RV2 : 5 k Ω

Condensateurs

C1, C5 : 2200 à 4700 $\mu\text{F}/50\text{ V}$
C3, C7 : 10 $\mu\text{F}/25\text{ V}$
C2, C6 : 0,1 $\mu\text{F}/63\text{ V}$

C4, C8 : 1 $\mu\text{F}/63\text{ V}$

Semiconducteurs

IC1 : LM 317T
IC2 : LM 337T
D1, D2, D3, D4 : 1N4004

Divers

Transformateur torique
220 V/2 x 15 V/30 VA
2 dissipateurs pour TO 220
Visserie de 3 x 10 mm

Nomenclature

FILTRE ACTIF

Résistances couche métallique
 $\pm 1\%$ - 1/2 W

R1, R2, R3 : 47,5 k Ω
R4, R6, R8 : 15,8 k Ω
R5, R7, R9 : 178 k Ω
R10, R11, R12, R13 : 10 k Ω
R14 : 4,75 k Ω
R15 : 100 Ω

Potentiomètres pour circuit imprimé
P1 : 2 x 22 k Ω A (ou 2 x 47 k Ω , voir texte)

Condensateurs pas 5,08

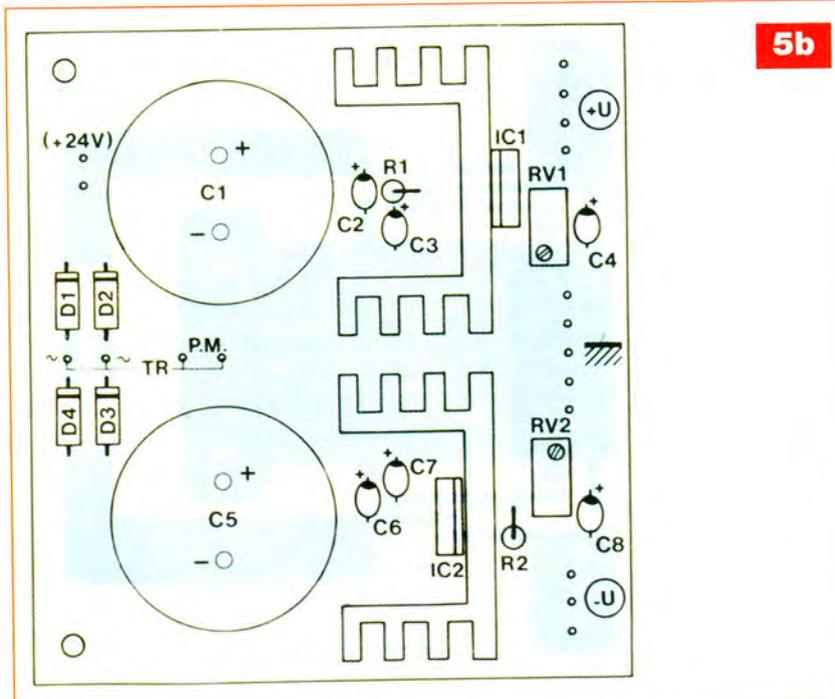
C1 à C6 : 150 nF
C7 : 187 nF (150 nF//33 ou 39 nF)
C8 : 94 nF (47 nF//47 nF)
C9 : 187 nF
C10 : 94 nF

Semiconducteurs

IC1 à IC7 : NE 5534N, OP27C,
OPA 604, TL081, LF356...

Divers

7 supports Dual in line 2 x 4 broches
2 boutons



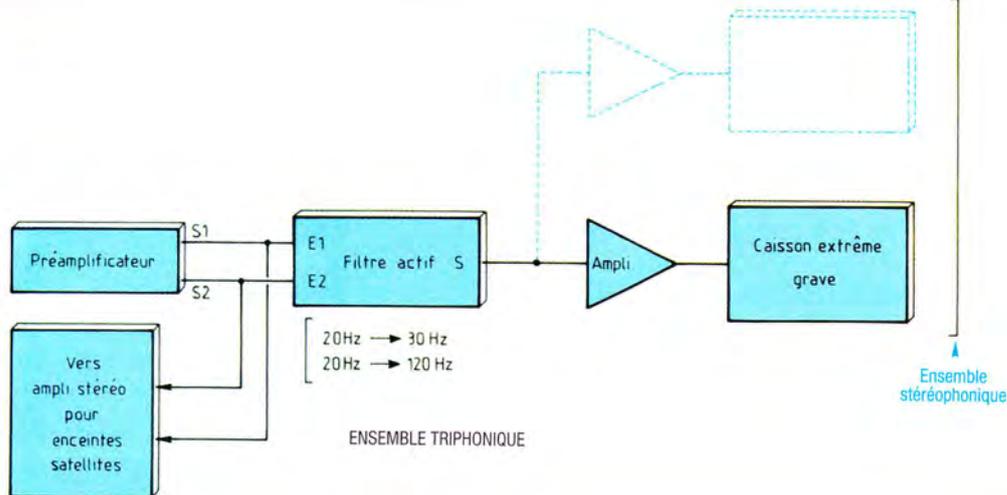
Le câblage

Le filtre actif fait l'objet de la **figure 5a** (ci-dessus).
Si vous souhaitez pouvoir effectuer

des comparaisons d'écoutes en essayant différents amplis op, nous vous conseillons de souder des supports Dual in line 8 broches.

Les potentiomètres sont des modèles pour circuit imprimé du type P11 de Vishay.
Lorsque tous les composants sont soudés, après une vérification du câblage (bon positionnement des composants), dissoudre la résine de la soudure au trichloréthylène et pulvériser une couche de vernis.
Le cuivre sera ainsi protégé de l'oxydation.

6



N'ayant pas de réglage à effectuer sur ce module, le filtre actif n'attend plus que son alimentation.

Le câblage de la deuxième carte est reproduit en **figure 5b**.

Il est sans surprise mais éviter tout de même de souder les condensateurs « tantale » à l'envers.

Relier le transformateur au module, un 2 x 15 V torique de préférence. Les quatre fils des secondaires aux couleurs différentes sont repérés sur le corps de celui-ci afin d'effectuer des raccordements corrects.

À la mise sous tension, on doit mesurer des potentiels de ± 22 V aux bornes des condensateurs de filtrage de 2 200 μ F à 4 700 μ F.

Par rapport au point milieu (0 V) avec les ajustables, régler les tensions en sorties des régulateurs à +16 V pour le LM 317T et - 16 V pour le LM 337T.

Utilisation

Le raccordement préamplificateur/filtre/amplificateur/caisson « extrême grave » est relativement simple, ce qu'indique la **figure 6** que nous reproduisons ci-dessus.

L'utilisation première est une écoute de la chaîne hi-fi en triphonie, les basses fréquences comprises entre 20 Hz et 30 Hz à 120 Hz étant mélangées par le sommateur du filtre actif.

Il est, par contre, également possible d'ajouter un deuxième caisson pour « repasser » en écoute stéréophonique (ne pas oublier le bloc de puissance supplémentaire).

Deux caissons autorisent des pressions acoustiques encore plus importantes puisque les surfaces d'émission sont doublées.

L'écoute

Sur des prises de son en concert, on perçoit un manque d'ambiance, de respiration générale, d'ouverture dès que les caissons sont hors service (les bruits d'ambiance sont situés très bas en fréquence et davantage ressentis physiquement qu'auditivement). Vu la configuration du système, il est aisé de couper le caisson d'extrême-grave pour écouter les satellites. L'extrême-grave est présent quand il le faut, avec une bonne notion physique, en ouvrant la scène sonore grâce à des ambiances plus « palpables ». Un caisson s'adapte avec ce filtre actif à de petites enceintes, telles celles décrites dans notre hors-série n°3, sans rupture dans la famille sonore des timbres, ni dans la capacité dynamique.

B. DUVAL

Haute-Fidélité Musicale & Haute Définition Vidéo

UNE NOUVELLE APPROCHE

Chaque mois en kiosque

Pour tout renseignement

TRANSOCÉANIC

3, boulevard Ney 75018 Paris - Tél. : 33 (0)1 44 65 80 80

LES « TUBES » EN 3 CD

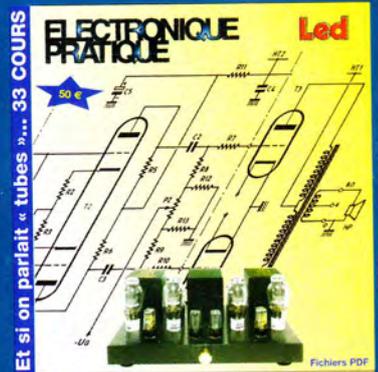
LED/ELECTRONIQUE PRATIQUE - FICHIERS PDF

Et si on parlait tubes...

En 33 cours

apprenez à connaître et à maîtriser
la fonctionnemenent des tubes électroniques

Émission thermoionique, électron-volt, charge d'espace...



Et si vous réalisiez votre ampli à tubes...

Une sélection de 9 amplificateurs
de puissances 9 Weff à 65 Weff
à base des tubes triodes, tétrodes ou pentodes

Et si vous réalisiez votre chaîne hi-fi à tubes...

8 amplis de puissances 4 à 120 Weff
4 préamplis haut et bas niveau
1 filtre actif deux voies

Montages à la portée de tous en suivant pas à pas nos explications



Bon à retourner à : **TRANSOCÉANIC - 3, boulevard Ney 75018 Paris - France**

• Je coche ci-dessous le(s) CD-Rom que je désire recevoir - Tarifs frais de port inclus

- « Et si on parlait tubes... » • France : 50 € • Union européenne : 52 € • Autres destinations : 53 €
- « Et si vous réalisiez votre ampli à tubes... » • France : 30 € Union européenne : 32 € Autres destinations 33 €
- « Et si vous réalisiez votre chaîne hi-fi à tubes... » • France : 30 € • Union européenne : 32 € • Autres destinations : 33 €

• J'envoie mon règlement

- par chèque joint à l'ordre de Transocéanic
- par virement bancaire (IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445/BIC : CCFRFRPP)

Nom Prénom

Adresse

Code Postal Ville-Pays Tél. ou courriel

SERVICE VENTE PAR CORRESPONDANCE FORFAIT DE PORT 10€ - MINI DE COMMANDE 20€

COMPOSANTS

TRANSFOS DE SORTIE POUR AMPLIS A TUBES (capot noir) 8 ohms

- Enroulements multi-couches tôles à Grains orientées, pour tous les modèles
- Montage single
- Pour 1 EL34 - 6L6 - 5998 classe A 30w
- Primaire multi impédances
- 2100-2400-2700 temps de montée 3,8µs..... 70€
- pour 1 6C41 classe A 100W 700 ohms
- temps de montée 3,5µs..... 142€
- pour 1 C33 classe A 300 ohms
- temps de montée 2µs en cuve..... 240€
- Pour 1 300BKT 88 6650 classe A 100W
- 2500 ohms temps de montée 3,5µs..... 160€
- Montage PUSCH PULL
- Pour 2ECL82 ou 2ECL86 22W
- 2x3500ohms tôles en C..... 48€
- Pour 2xEL84 ou 2xV 30W
- 2x4500 ohms prise ultra linéaire
- temps de montée 4µs..... 72€
- Pour 2xEL34 ou 2x6L6 ou 2xKT88
- Ou 2x6550 ou 2xKT66 ou 2xKT90
- 100W 2x2400 ohms prise ultra linéaire
- temps de montée 4,5µs..... 105€
- Pour 4xEL34 ou 4x6L6 ou 4xKT88
- Ou 4x6550 ou 4xKT66 ou 4xKT90
- 200W 2x1300ohms temps de montée 5µs..... 240€
- Transfos pour maquettes ou dépannages
- ECL82-ECL86 fixage étrier..... 8€
- Pour 1 EL84 ou 6V6 fixation étrier..... 12€
- Idem avec prise ultra linéaire..... 16€

TRANSFOS D'ENTREE POUR PREAMPLI PASSIF

- Gain 12 DB 20Hz 20kHz +/- 1 dB..... 125€
- Tranfo d'alimentation capoté
- Primaire 230v
- Secondaire 300v 300Ma 6,3V 4 A..... 48€
- Secondaire 400v 500Ma 6,3V 6 A..... 80€
- SELFS
- 90 ohms 12H- 200mA..... 45€
- 10 ohms 1H - 400mA..... 42€
- 130 ohms 20H - 80 mA..... 35€
- 100 ohms 16 H 350mA..... 75€
- 22 ohms 0.8H 80 mA Fix étrier..... 16€
- 60 ohms 1.8H 50 mA Fix étrier..... 14€
- 250ohms 5 H 30 mA Fix étrier..... 15€

TRANSFOS TORIQUE PRIMAIRE 230V

- 200VA-sec 200+220V/0,3A -60+60V/0,2A
- 6,3V 3A - 6,3 3A - 120V 0,02A..... 110€
- 170VA 168V+35V+35V/0,6A -
- 120V0,04A - 6,3V 3,6A..... 100€
- 150VA 240+30+15-0,4A-6V+6V-3A- BL..... 85€
- 50VA P 115V+115V sec 25V+70V 0,1A
- 9V-9V 0,7A..... 27€
- 40VA 150V+70V 6,3V 2A..... 28€
- 100VA 250V 0,3A+20V 0,3A - 6,3V 3,5A..... 55€
- 80VA P 115V+115V sec 300V+300V 0,08A
- 6,3V 3,5A..... 54€
- 120VA 270V+15V 0,33A-6,3V 3,5A blindé..... 68€
- 180VA 360V+360V 0,15A+5V 3A+5V 3AZ..... 90€
- 10V 2A+6,3V 2A..... 90€
- 80VA P 115V+115V sec 250V+20V 0,18A
- 6,3V 3,5A..... 49€

TRANSFOS BASSE TENSION 70 références

- Voir site audiotub.fr
- SUPPORTS TUBES
- 7 Broches à cosses stéatite..... 2€
- 9 Broches à cosses stéatite..... 3€
- 9 Broches à cosses BK..... 2€
- 9 Broches à picots CT..... 1,5€
- 9 Broches stéatite pour blindage..... 5€
- Octal stéatite à cosses..... 8€
- Octal stéatite à picots CT..... 6€
- Octal BK à cosses..... 3€
- Pour 641 ou 6C33 stéatite..... 7,5€

CONNECTIQUES

- RCA châssis femelle dorée rouge..... 3€
- RCA châssis femelle dorée noire..... 3€
- Prise banane HP dorée rouge/noire..... 3€
- RCA dorée mâle pour câble rouge/noire..... 3€

CONDENSATEURS STYROFLEX

PAPIER HUILLE voir site www.Audiotub.fr

TUBES + DE 1500 nos*

- Références en stock
- Nos Quelques prix
- ECC83 PH GE SY*..... 24€
- ECC83 WA EST..... 8€
- ECC88 US PH*..... 22€
- E188 CC PH*..... 24€
- EC 86 PH*..... 10€
- ECC81 PH*..... 24€
- ECC82 EST..... 8€
- ECC82 PH..... 22€
- E181CC PH*..... 24€
- EL33 ZAERIX..... 20€
- EL84 EST..... 12€
- EL34 EST..... 22€
- KT88 EST..... 32€
- 6550 EST..... 33€
- KT90 EST..... 62€
- 300B EST..... 75€
- ECL82 SIEM*..... 16€
- ECL86 PH MZ*..... 16€
- EZ80 PH*..... 16€
- 6Z32 PH*..... 22€
- 5R4 PH*..... 18€
- 5U4 MAZ*..... 15€
- 5Y3 GB PH*..... 15€
- 6AS7G RCA*..... 20€
- 6V6G MAZ*..... 16€
- 6F6G RCA*..... 18€
- 6N7 RCA*..... 15€
- 6SN7 RCA*..... 24€
- 6SL7 RCA*..... 24€
- 6C41 EST..... 33€
- 6C33 CB EST..... 60€

CONDENSATEURS HAUTE TENSION

- Radial à picots
- 10µ 400v..... 1,3€
- 22µ 385v..... 1€
- 33µ 250v..... 2€
- 47µ 400v..... 2€
- 68µ 385v..... 1,5€
- 100µ 385v..... 2,8€
- 100µ 400v..... 3€
- 220µ 385v..... 7€
- 220µ 400v..... 7,5€
- Axial
- 8µ 350v..... 1,5€
- 10µ 350v..... 2€
- 22µ 350v..... 2€

CONDENSATEURS TYPE BOUTEILLE

- 470µ 350v..... 15€
- 2400µ 200v..... 22€
- 3200µ 350v..... 24€
- 3300µ 400v..... 30€
- 4700µ 100v..... 6€
- 4700µ 63v..... 4€
- 6800µ 63v..... 11€

CONDENSATEURS POLYPROPYLENE ERO

- Axial
- 1nf 630v..... 0,5€
- 3nf 1200v..... 2€
- 4,7nf 1500v..... 1€
- 7,5nf 1200v..... 1€
- 10nf 630v..... 1€
- 15nf 1600v..... 1,3€
- 22nf 1600v..... 2€
- 33nf 400v..... 2€
- 68nf 400v..... 2€
- 220nf 630v..... 2,5€
- 470nf 630v..... 2,7€
- 1µf 250v MKT..... 0,6€
- 1,5µf 400v MKT..... 1€
- 1,5µf 250v MKP..... 2€
- 3µf 250v MKT..... 2,5€
- 4,7µf 160v MKP..... 2,7€

RADIAL POLYPROPYLENE

- 22nf 2000v..... 2€
- 33nf 2000 v..... 2,2€
- 39nf 400v..... 1,5€
- 47nf 2000v..... 2€
- 68nf 400v..... 1€
- 220nf 250v..... 0,8€
- 270nf 250v..... 0,9€
- 470nf 400v..... 0,9€
- 820nf 400v..... 1€

WWW.AUDIOTUB.FR OU WWW.AMPLIATUBES.FR

LIVE SOUND

ECOUTE DE NOS AMPLIFICATEURS SUR ENCEINTES SUPRAVOX

FABRIQUANT AMPLIFICATEURS A TUBES

TSM (composants audiophile) 15 RUE DES ONZE ARPENTS
95100 FRANCONVILLE TEL 01 34 13 37 52
Ouvert de 15 à 18 H le Mardi - Vendredi - Samedi
AUDITORIUM LIVE SOUND ZA DES TERRES ROUGES 95830
CORMEILLES EN VEXIN Ecoute sur RDV TEL 06 34 69 48 67
OU 17320 MARENNES Ecoute sur RDV TEL 05 46 85 28 35



2140€
PREAMPLI HAUT DE GAMME
CLASSE A
2850€ AMPLI 2X36WATTS
4X6C41
INTEGRE 3250€



1500€
8XEC86
CRITAL 8 WATTS
EN KIT 800€



850€
4X300B
INTEGRE 2X20WATTS



3750€
4X300B
INTEGRE 2X20WATTS
3450€
2X15WATTS 2X300B
INTEGRE 3650€



1100€
ALIZE ALTO 2X30WATTS
4X6L6



3300€
24XEC86
2X20WATTS
2900€
24XEC86
INTEGRE 2X20WATTS



190€
2XUECL82
BLOC MONO 10WATTS
KIT 150€

LE SCHUMANN
Une commutaison à l'arrière de votre amplificateur permet de sélectionner des tubes de technologie différente (TRIODES-PENTODES-TETRODE), 300B-300BWR-KT80-KT88-KT66-6550-6B4G-EL34-6L6-R120-2A3.
Tous ces tubes ayant une impédance très semblable, il suffit d'ajuster le courant pour chaque tube employé, une molette facilement accessible permet d'ajuster la polarisation et de régler le courant visible sur le milli-ampèremètre en façade.
Le courant de chaque tube est inscrit à l'arrière de l'amplificateur.
Le transformateur de sortie est de très grandes dimensions poids 4kg, pas moins de 18 couches sandwich.
Temps de montée 4,5µs - puissance 6 à 15 watts selon tubes
Bande passante 20 Hz - 20KHz plus ou moins 0,4 dB à 1 watt.
Distorsions 0,4% à 1w 1000Hz pour 300B ou 6B4G.
Rapport S/N 30 dB.
Ampl. mono équipé d'un tube au choix (ajust. supérieur en base) est en notre prix: 1450 euros.
Ampl. mono passif équipé d'un tube (ajust. supérieur en base) est en notre prix: 1825 euros.



SUPRAVOX
Historique
Haut-parleurs
Kits
Enceintes

- AFFAIRES
- PC86 PC88*les 10.....60€
 - PCC88-ECC189-PCC189*les 10.....80€
 - ECL84-ECL80 * les 10.....60€
 - 6AK5-6AS6*US les 10.....70€
 - 6L6GC vielli appairé les 4.....60€
 - ECF82-6U8 * les 10.....70€
 - transfo torrique 40va 12v.....8€
 - transfo 4va 12v à picots les 10.....20€



Quoi de Neuf chez Selectronic ...

La révolution numérique **AUDIOPHILE** est en marche... avec

Selectronic
L'UNIVERS ELECTRONIQUE

DCX-2496: Ce processeur numérique remarquable combine 2 éléments essentiels:



- 1 DAC exceptionnel • 1 processeur numérique 2 x 3 voies permettant de gérer tous les paramètres de vos enceintes....

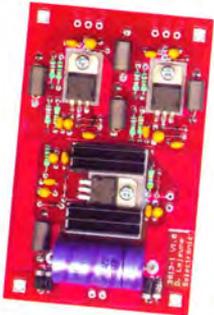
La partie audio analogique du DCX ayant été négligée par les ingénieurs de BEHRINGER, nous avons développé une série de kits permettant de transformer votre DCX en véritable PROCESSEUR NUMÉRIQUE AUDIOPHILE.

Tous renseignements sur : www.dcx2496.fr

Selectronic
L'UNIVERS ELECTRONIQUE

→ Les **Kits d'optimisation** du DCX2496

Carte alimentation à ultra faible bruit



Commande de volume 6 voies



Carte d'E/S

Module d'ENTRÉE NUMÉRIQUE + horloge ultra low jitter



Plus d'Infos sur : www.selectronic.fr/dcx2496.asp

HAUT-PARLEURS

Fostex

- Haut-parleurs HI-FI large-bande et pour système multi-voies
- Précision et qualité japonaise



Toute la gamme **en stock**

Réalisations

Selectronic
L'UNIVERS ELECTRONIQUE



ProFet UHT

Amplificateur PWM - 2 x 50W / 8Ω



Avec cet ampli, vous n'avez jamais entendu vos CD comme cela auparavant...
L'amplificateur des vrais AUDIOPHILES qui ont du discernement !

Nouveau Lecteur **CD**



Allez **les écouter** à **PARIS** chez

Premier Audio

Contact : **Michel PETIT**

Tel.: **01.56.24.10.92**

...À tous points de vue, c'est une belle réussite.
...Un vrai régal !

HAUTE FIDÉLITÉ - Mars 2008



Le ProFet UHT se démarque par une transparence, une netteté...une vraie haute définition sonore... Un rapport agrément d'écoute / prix imbattable !

STÉRÉO & IMAGE - Mai 2008

Plus d'information sur : www.profet.fr

Selectronic
L'UNIVERS ELECTRONIQUE

B.P 10050 59891 LILLE Cedex 9

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

www.selectronic.fr



Catalogue Général 2009

Envoi contre 12 timbres-poste au tarif "lettre" en vigueur ou 8,00€ en chèque

EP1226
Philly 2009
contributeur

NOS MAGASINS :

PARIS : 11 Place de la Nation
75011 (Métro Nation)
Tél. 01.55.25.88.00
Fax : 01.55.25.88.01

LILLE (Ronchin) :
ZAC de l'Orée du Golf
16, rue Jules Verne 59790
RONCHIN



Conditions générales de vente : Règlement à la commande : frais de port et d'emballage 8,00€, **FRANCO** à partir de 150,00€. Contre-remboursement : +15,00€. Livraison par transporteur : supplément de port de 18,00€. **Tous nos prix sont TTC.**