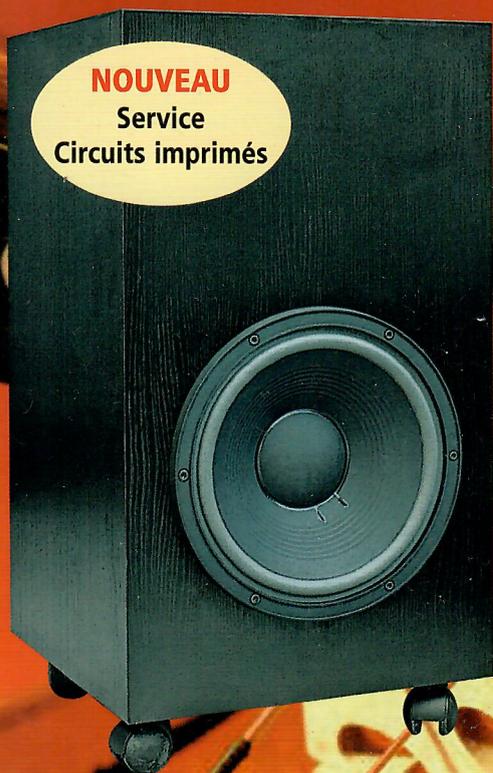


ELECTRONIQUE PRATIQUE

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

HORS-SERIE AUDIO

À RÉALISER SOI-MÊME



Filtre actif
& Caisson d'extrême grave

Préamplificateur
à triodes 6SL7 et 6SN7



Amplificateur
Single End
à pentodes
7591A



L 14562-5H-F: 5,00 € - RD





Applications Internet / Ethernet

- 1 Ajoutez en 3 mn une connexion Internet à votre application ! Convertisseur RS232 <-> TCP/IP
EZL-200L 68 € Dont 0,01 € d'éco-participation inclus
- 2 Version carte "OEM" seule **EZL-50L 26 €**
- 3 Pilotez 8 entrées optocouplées + 8 sorties relais + port RS232 via Internet/Ethernet. Supporte les modes Web server (HTTP) et Modbus/TCP
CIE-H10 179 € Dont 0,05 € d'éco-participation inclus
- 4 Serveur Web base AVR **WIZ200WEB 39 €**

- 5 Platine RISC 32 Bits avec Linux + serveur Web + serveur TELNET™ + FTP + compilateur C GNU dispo en téléchargement. **FOXIX832 168 €**
- 6 Boîtier ARM9™, 2 ports Ethernet, 2 USB, 2 RS232/RS485, 1 slot carte CF™ (non livrée), 8 broches E/S, Port I2C™, Port console, Linux + chaîne de développement livrés
VS6801 249 € Dont 0,05 € d'éco-participation inclus

Acquisition / Mesure / Débug

- 1 Interface USB avec 16 ports configurables en entrées ou sorties ou conversion "A/N" 12 bits + 4 ports entrées/sorties + 2 sorties analogiques - Livrée avec de très nombreux drivers et DLL.
U3-LV 119 € Dont 0,03 € d'éco-participation inclus
- 2 Analyseur USB non intrusif Full / Low Speed. Idéal pour debug, mise au point de drivers, optimisation des équipements USB.
TP30221 419 € Dont 0,01 € d'éco-participation inclus

- 3 Interface USB <-> I2C™ / SPI™ - Livré avec drivers et DLL - Gestion bus maître ou esclave.
TP240141 275 € Dont 0,01 € d'éco-participation inclus
- 4 Analyseur I2C™ / SPI™ non intrusif - Monitoring max. I2C™ @ 4 MHz - SPI™ @ 24 MHz.
TP320121 310 € Dont 0,01 € d'éco-participation inclus

Oscilloscopes numériques

- 1 Sonde oscilloscope USB 1 voie (1 G Ech/sec. 10 bits mode répétitif) + mode datalogger + mode mini-analyseur de spectre (FFT) + mode voltètre + mode compteur de fréquence !
PS40M10 290 € Dont 0,03 € d'éco-participation inclus
- 2 Oscilloscope 2 voies (20 M Ech/sec. 12 bits mode répétitif) - Mêmes modes que ci-dessus + sortie supplémentaire mini générateur de fonction.
DSIM12 419 € Dont 0,03 € d'éco-participation inclus
- 3 Oscilloscope portable 2 x 20 MHz à écran couleur + mode multimètre. Livré en malette avec chargeur, sondes et cordons de mesure. Sortie USB pour exportation des mesures sur PC.
HDS1022M ... 557 € Dont 0,05 € d'éco-participation inclus

- 4 Oscilloscope 2 x 25 MHz à écran couleur avec sortie USB pour exportation mesures sur PC.
EDU5022 437 € Dont 0,15 € d'éco-participation inclus
- Idem avec mode analyseur logique 16 voies
MSO5022 ... 717 € Dont 0,15 € d'éco-participation inclus

Logiciel de C.A.O

- 1 Splan Logiciel de saisie de schémas **42,22 €**
- 2 Loch Master Aide au prototypage **43,00 €**
- 3 Sprint layout Logiciel de réalisation de circuits imprimés **47,72 €**
- 4 ProfiLab-Expert Générateur d'application simulateur graphique **121,99 €**

- 5 Front Designer Logiciel de conception de face avant pour boîtier **47 €**

Modules "ARDUINO"

Les modules **Arduino** sont des plate-formes microcontrôlées "open-source" programmables via un langage proche du "C" (dispo. en libre téléchargement). Elles peuvent fonctionner de façon autonome ou en communiquant avec un logiciel sur ordinateur (Flash, MaxMSP...).

- Circuit intégré Arduino ATmega328 5,86 €**
- Module Arduino Pro Mini 17,34 €**
- Module Arduino Pro 19,32 €**
- Platine Arduino USB Board 26,31 €**
- Module Arduino Nano 52,62 €**
- Platine Arduino Mega USB Board ... 58,60 €**

- Platine Arduino Ethernet Shield 46,05 €**
- Platine Arduino XBee 47,84 €**
- Platine Arduino Bluetooth™ 104,05 €**
- Platine Arduino Base Robot. 65,78 €**
- Platine Arduino drive Moteur..... 23,92 €**
- Platine Arduino PROTO 16,15 €**

Module "VRBOT"

Ce petit module de **reconnaissance vocale** est capable de reconnaître 32 mots ou expressions que vous lui aurez préalablement appris. L'apprentissage s'effectue via un logiciel sur PC (dispo en téléchargement) et nécessite que le module soit relié au port RS232 d'un compatible PC avec un circuit d'interfaçage type MAX232 (non livré). Le module restituera ensuite des commandes via sa liaison série lorsqu'il reconnaîtra à nouveau les mots ou expressions que vous programmerez devant son microphone (livré). Il vous sera dès lors possible de l'interfacer très simplement via un microcontrôleur externe.

- Module VRBOT + microphone 46,64 €**

Caméra à sortie JPEG

Le module "microCAM" est une caméra miniature numérique couleur capable de restituer des images au format "JPEG" via une liaison série. Le périphérique hôte communiquera avec la caméra par l'intermédiaire d'ordres séries très simples afin de pouvoir se voir retourner des images avec diverses résolutions possibles (80 x 60 à 640 x 480 pixels). La caméra peut également appliquer un traitement au niveau des couleurs en modifiant l'image retournée avec plusieurs niveaux de gris ou de formats couleurs. Elle existe en version 3,3 V avec sortie série TTL ou en version 5 V sortie RS232 (préciser le modèle).

- Le module caméra 53,82 €**

Module Embedded Master™ TFT



Conçu sur la base d'un processeur ARM7™, le module Embedded Master™ TFT est probablement un des systèmes de développement embarqués parmi les plus petits et les plus puissants du marché, capable d'être programmé sous environnement Microsoft™ .NET Micro Framework™. Doté d'une librairie de fonctions étendues, il pourra gérer très facilement des entrées/sorties tout ou rien, des entrées de conversion analogique/numérique, une sortie analogique, des signaux PWM, des ports de communication CAN, SPI™ et I2C™ ainsi que les connexions TCP/IP mais également grâce à ses ports USB Host/Device, des périphériques USB tels que: clés de stockage mémoire, Dongle Bluetooth™, imprimante, HID, claviers, souris, joystick... Le module Embedded Master™ TFT est également capable de gérer entièrement les accès fichiers sur cartes SD™ ainsi qu'un afficheur LCD couleur TFT à dalle tactile. Le module seul est proposé à **79 €**

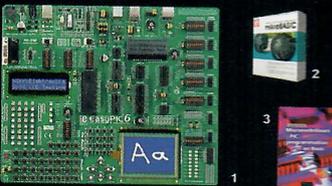
Spécial radiofréquence

- Modem radio 2,4 GHz programmable en langage C avec protocole **JenNet™** - Outils de développement disponibles **gratuitement** - Alim.: 3,3 V Prix unitaire **18,54 €**
- F2M03GLA** Module **Bluetooth™** permettant une liaison série transparente avec périphérique Bluetooth™ au protocole SPP - Dim.: 28,5x 15,2 mm - Alim.: 3,3 V Prix unitaire **32,72 €**
- TDL2A** Modem radio **synthétisé 5 canaux bande 433 MHz** permettant une liaison série transparente entre 2 microcontrôleurs (2 modules nécessaires) Prix unitaire **40,66 €**
- SET050** Ensemble de 2 **télécommandes porte-claf 433,92 MHz** type monocal à code anti-scanner + 1 **récepteur à sortie relais (mode M/A ou temporisé)** - Portée: 30 m **49,00 €**
- T2M** Module **GSM/GPRS Quad Band** - Compatible protocole voix, fax, SMS - Pilotage très simple via commandes AT séries - Prévoir antenne en sus **71,76 €**
- ET-312** Module **GPS 20 canaux** - Dimensions: 27,9 x 20, 2 mm - SIRF III™ - Haute sensibilité - Alimentation: 3,3 V - Prévoir antenne externe - Prix unitaire module seul **39 €**
- EM-406** Module **GPS 20 canaux avec antenne intégrée** - Dimensions: 30 x 30 x 10,5 mm - SIRF III™. Haute sensibilité - Alimentation: 5 V - Prix unitaire du module seul **58,02 €**
- UM005** Module de lecture/décodage **TAG RFID 125 KHz Unique™** - Sortie série **25,00 €**
- RFID-CARD1** Carte RFID Unique **2,00 €** Prix unitaire (par 20 pcs) **1,32 €**
- AJV24E** Module émetteur vidéo **2,4 GHz 4 canaux** - Dim.: 31 x 29 x 4 mm **12,95 €**
- AJV24R** Module récepteur vidéo **2,4 GHz 4 canaux** - Dim.: 41 x 32 x 6 mm **19,95 €**

Spécial Capteurs

- MSBD** Capteur de mouvement **infrarouge passif à sortie logique** - Portée 3 m **17,00 €**
- GP2D120** Module **infrarouge** de mesure de distance (4 à 30 cm) - Sortie analogique **19,95 €**
- MS-EZ1** Module **ultrason** de mesure de distance (type mono cellule US) - Portée 16 cm à 6 m - Sortie analogique, sortie PWM ou sortie numérique via une liaison série **24,49 €**
- MDU1130** Module **hyperfréquence 9,9 GHz** pour mesure de distance **35,88 €**
- CMPO3** Module **boussole numérique (orientation 0 à 359°)** - Sortie PWM / I2C™ **45,50 €**
- IBR273** Module capteur de pluie à **variation capacitive** + résistance anti-rosee **5,45 €**
- QT110** Circuit capacitif transformant tout objet métallique en **capteur sensitif** **8,85 €**
- FSR2** Capteur de force (zone de détection circulaire) - Diamètre: 15 mm **8,19 €**
- LP-TRCELL** Module **accéléromètre 3 axes** - Sorties analogiques **29,00 €**
- PL-MLX300** Module **gyroscope 1 axe** - Sorties analogiques / SPI™ **52,99 €**
- MGDYR2** Module **gyroscope 2 axes** - Sorties analogiques **79,00 €**
- INERY2** Module **accéléromètre 3 axes + gyroscope 2 axes** - Sorties analogiques **109,00 €**
- SHT15** Capteur **humidité + température** - Sorties numériques **32,08 €**
- PL/SCP1000** Module **baromètre + température** - Sortie SPI™ **52,00 €**

Développement sur PIC™



- 1 **EasyPIC6**: Starter-kit pour développement sur microcontrôleurs PIC™. Programmeur **USB intégré**, supports pour PIC 8, 14, 20, 28 et 40 broches, livré avec PIC16F877, emplacements pour afficheurs LCD 2 x 16 et afficheur LCD graphique 128 x 64 (livrés en option), 32 leds, 32 boutons-poussoirs, afficheur 2 x 16 caractères COG, emplacement capteur DS18S20 (livré en option), port série, connecteur PS/2, etc **137,54 €**

- Option afficheur LCD 2 x 16 caractères **9 €**
- Option afficheur LCD graphique 128 x 64 **28 €**
- Option capteur température DS18S20 **3,90 €**

- 2 **Compilateurs pour PIC** interface IDE, gestion port série, USB, I2C™, SPI™, RS485, CAN, Ethernet, écriture/lecture sur cartes SD™/MMC™/CF™, affichage LCD alphanumérique/graphique, gestion de clavier, modules radio, calculs mathématiques, signaux PWM, mémoire Flash/EEPROM interne, temporisations... Existe aussi en Pascal Mikronic-BASIC: **150 €** Mikronic-C™: **215 €**

Tarifs valables si achetés avec platine EasyPIC4 Mikronic-BASIC: **115 €** Mikronic-C™: **165 €**

- 3 **Ouvrage technique** Aborde tous les aspects, théoriques et pratiques de la programmation en BASIC des microcontrôleurs PIC™ **39 €**

Développement sur PICBASIC

Vos connaissances en microcontrôleurs sont limitées (ou nulles) ? Vous avez un budget "serré" et vous voulez développer des applications capables de piloter des afficheurs LCD ou 7 segments, des communications séries, I2C™, SPI™, des signaux PWM, mesurer des valeurs analogiques, piloter des servomoteurs, des moteurs pas-à-pas, des moteurs "cc"... Alors comme des milliers d'utilisateurs, découvrez les **PICBASIC** ! Ces microcontrôleurs se programment en langage BASIC (disponible en libre téléchargement) via un PC grâce à un logiciel qui transférera vos instructions dans sa mémoire par un câble raccordé au PC. Une fois "téléchargé", ce dernier pourra être déconnecté de l'ordinateur pour être totalement autonome. Documentation entièrement en Français. Très nombreuses applications, ouvrage technique de formation. Module PICBASIC à partir de **19 €**

Cet ouvrage propose 12 applications pratiques pour le microcontrôleur PICBASIC-3B dans les domaines de la domotique (gradateur à 2 voies pour convecteurs, thermostat numérique, gestionnaire d'éclairage), de la protection des biens (centrale d'alarme, disjoncteur programmable), de la mesure (Compteur, lux-mètre, capacimètre, station météo), de l'automatisation (automate programmable) et de l'électronique de puissance (alimentation numérique, variateur de vitesse à commande PWM). L'auteur décrit chaque application en détail, avec toutes les informations propres à la réalisation (circuit imprimé, liste et implantation des composants, mise au point), puis fait une lecture commentée du programme BASIC. L'ouvrage technique **42,50 €**

ELECTRONIQUE PRATIQUE

HORS-SÉRIE N°5

Initiation

4 Mesure de la distorsion

Dans cet article, nous aborderons quelques idées fausses qui mystifient tout ce qui concerne la distorsion en audio, mais surtout nous montrerons comment la mesurer.

A réaliser vous-même

18 La pentode 7591A en Single End

Fonctionnant en classe A et développant une puissance de 2 x 6 W_{eff}, cet amplificateur à coût réduit met en œuvre un système hybride composé d'un étage pilote à FET et une pentode 7591A montée en Single End.

26 Préamplificateur à triodes 6SN7/6SL7 avec étage RIAA pour disques vinyles

De conception simple, cet appareil dispose d'un sélecteur de sources à cinq entrées, d'un correcteur RIAA pour les disques vinyles 33 et 45 tours, d'une commande de « balance » intéressante pour équilibrer les deux canaux et d'un potentiomètre de volume.

38 Caisson d'extrême grave de 75 litres

Tirant profit de la remise sur le marché par Audax du fameux PR330MO, ce caisson s'adresse à tous ceux qui désirent adjoindre à leurs enceintes un ou deux caissons de grave/extrême grave pour combler un manque d'information dans le bas du spectre.

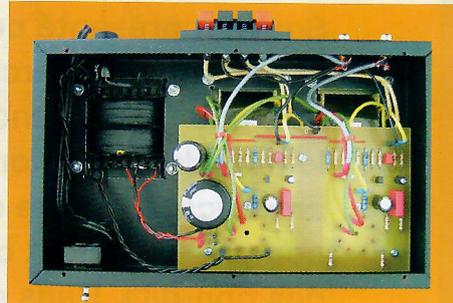
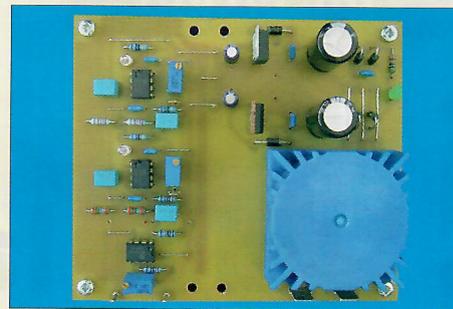
53 Filtrés actifs pour caisson de grave

Après la réalisation du caisson de grave/extrême grave, nous passons à la phase suivante : l'étude et la réalisation d'un filtrage actif avec son circuit de correction de niveau. Lequel va nous permettre de booster le PR330MO afin d'en tirer le meilleur.

Divers

17 SERVICE CIRCUITS IMPRIMÉS. Disponibles sur commande, les circuits imprimés en verre époxy relatifs aux articles de ce numéro

52 ABONNEZ-VOUS



Fondateur : Jean-Pierre Ventillard - **TRANSOCEANIC SAS** au capital de 584 000 € - 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 - Illustrations : Ursula Bouteville Sanders

Avec la participation de : R. Cariou, J-C Gaertner, G. Kossmann, J-L Vandersleyen

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

I.S.S.N. 0243 4911 - N° Commission paritaire : 0909 T 85322 - Distribution : MLP - Imprimé en France/Printed in France

Imprimerie : Léonce Deprez, ZI « Le Moulin », 62620 Ruitz, France - DEPOT LEGAL : OCTOBRE 2009 - Copyright © 2009 - 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 - expressmag@expressmag.com - Tarif abonnement USA-Canada : 60 €

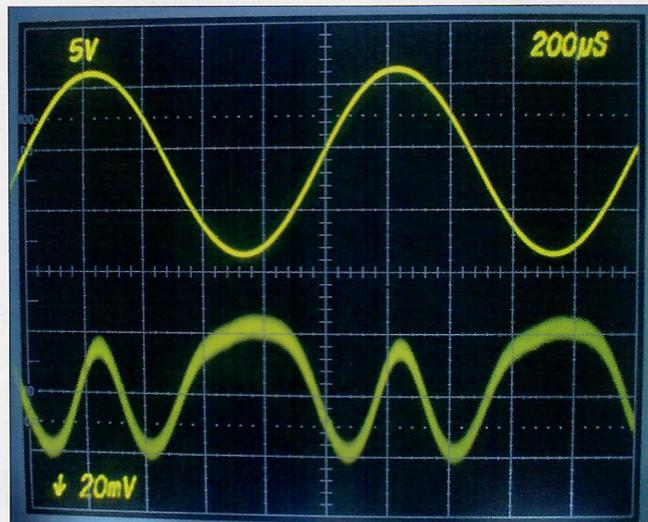
TARIFS AU NUMÉRO : France Métropolitaine : 5,00 € • DOM Avion : 6,40 € • DOM Surface : 5,80 € • TOM : 800 XPF • Portugal continental : 5,80 €

Belgique : 5,50 € • Espagne : 5,90 € • Grèce 5,60 € • Suisse : 10,00 CHF • Maroc : 60 MAD • Canada : 7,50 CAD

© La reproduction et l'utilisation même partielle de tout article (communications techniques ou documentation) extrait de la revue *Electronique Pratique* sont rigoureusement interdites, ainsi que tout procédé de reproduction mécanique, graphique, chimique, optique, photographique, cinématographique ou électronique, photostat tirage, photographie, microfilm, etc. Toute demande à autorisation pour reproduction, quel que soit le procédé, doit être adressée à la société TRANSOCEANIC.

Mesure de la distorsion

Souvent présenté comme un argument commercial au même titre que la puissance nominale, le taux de distorsion d'un amplificateur reste une notion mal comprise qui peut cacher bien des non-dits. Dans cet article, nous aborderons quelques idées fausses qui mystifient tout ce qui concerne la distorsion en audio, mais surtout nous montrerons comment la mesurer.



Nous verrons également qu'il est vain et inutilement dispendieux de courir derrière des taux de distorsion infinitésimaux. Tout d'abord, il nous faut néanmoins définir ce qui est entendu par « distorsion », ou mieux par... « distorsions ».

De manière générale, la distorsion est définie par l'altération d'un signal, à l'exception de la variation de son amplitude.

Les types de distorsions pourraient être classés en deux familles :

- le clan en relation avec le signal original comme la distorsion harmonique, la distorsion de croisement, la distorsion d'intermodulation;
- le clan sans relation avec le signal original comme le bruit, les parasites, l'instabilité du système, la distorsion des transitoires, voire la diaphonie pour les amplificateurs à plusieurs canaux.

Nous nous limiterons à l'étude de la distorsion générée dans les systèmes d'amplification analogique en faisant abstraction des distorsions présentes dans les systèmes électromécaniques, comme les haut-parleurs, les platines vinyle, les enregistreurs, les lecteurs CD...

Pour tout savoir dans le détail sur l'origine des distorsions, avec sché-

mas et graphes, nous vous renvoyons aux cours très bien étayés de notre collaborateur Rinaldo Bassi, principalement les cours n°8 et n°19 parus dans la revue *Led* et aujourd'hui disponibles sous forme d'un CD édité par *Électronique Pratique* (voir annonce dans nos pages).

Les distorsions en relation avec le signal original

L'altération du signal original est générée dans tout quadripôle qui présente une courbe de transfert non-linéaire. En sortie, il en résulte, aux côtés du signal original, l'apparition d'autres signaux que ceux initialement présents en entrée. Ces nouveaux signaux se produisent à des fréquences qui sont en relation « mathématique » avec les signaux originaux.

La distorsion harmonique

La plus universellement connue est la distorsion harmonique. En présence d'une courbe de transfert non linéaire, comme celle de la triode pour de grandes amplitudes, cette distorsion se caractérise par la génération d'harmoniques H2, H3, H4, H5 et plus... Lesquels heureusement vont en s'atténuant quand leur ordre augmente.

En règle générale, le premier harmonique H2 est prédominant dans les montages qui génèrent une dissymétrie du signal, comme les sorties à « mono tube », alors que la prédominance des harmoniques impairs est plutôt le fait d'étages symétriques, tels que les « push-pull »... bien équilibrés (figure 1).

Ce signal composite en sortie se présente sous la forme mathématique :

$$V_{out} = a_1 A \cos(\omega t) + a_2 A^2 \cos(2 \omega t) + a_3 A^3 \cos(3 \omega t) + \dots$$

Dans cette forme, (A) représente l'amplitude du signal d'entrée; a1, a2, a3 et suivantes sont les fonctions de transfert de la fondamentale et des harmoniques suivants.

Le taux de distorsion s'exprime en (%) et se calcule par la relation :

$$k = 100 \cdot \frac{\sqrt{U_{2f1}^2 + U_{3f1}^2 + U_{4f1}^2 + \dots}}{U_{total}}$$

Dans cette relation Unf1 représente l'amplitude de l'harmonique « n », f1 la fondamentale et Utotal l'amplitude RMS du signal en sortie (RMS = *Root Mean Square*, « Valeur efficace » ou « Tension vraie », en français).

Ce facteur peut également s'exprimer en dB :

$$Dk : 20 \log_{10} k$$

La distorsion de croisement

La distorsion de croisement est une distorsion harmonique. Elle est générée par la transition qui s'opère entre les deux « branches » d'un push-pull, mal polarisé.

La **figure 2** présente un panel de différentes distorsions :

- 2.1 : distorsion asymétrique d'un signal issu d'une triode montée en « cathode commune »;
- 2.2 : distorsion asymétrique due à la saturation d'un transformateur;
- 2.3 : distorsion symétrique d'un étage symétrique qui entre en saturation;
- 2.4 : distorsion de croisement causée par la mauvaise polarisation d'un étage push-pull.

Les figures 2.1 et 2.2 présentent des distorsions asymétriques génératrices d'harmoniques 2 et suivantes. Les figures 2.3 et 2.4 affichent des distorsions symétriques qui montrent la prédominance des harmoniques impairs.

Cependant, la musique ne s'apparente pas à une fréquence unique, loin de là, elle est un composé complexe de fréquences, de phases et d'amplitudes variées. C'est pourquoi la mesure de la distorsion harmonique, bien qu'elle soit facilement mesurable et mette en évidence les défauts grossiers d'un amplificateur, cache pourtant l'essentiel : comment votre amplificateur se comportera-t-il en présence d'un signal complexe ?

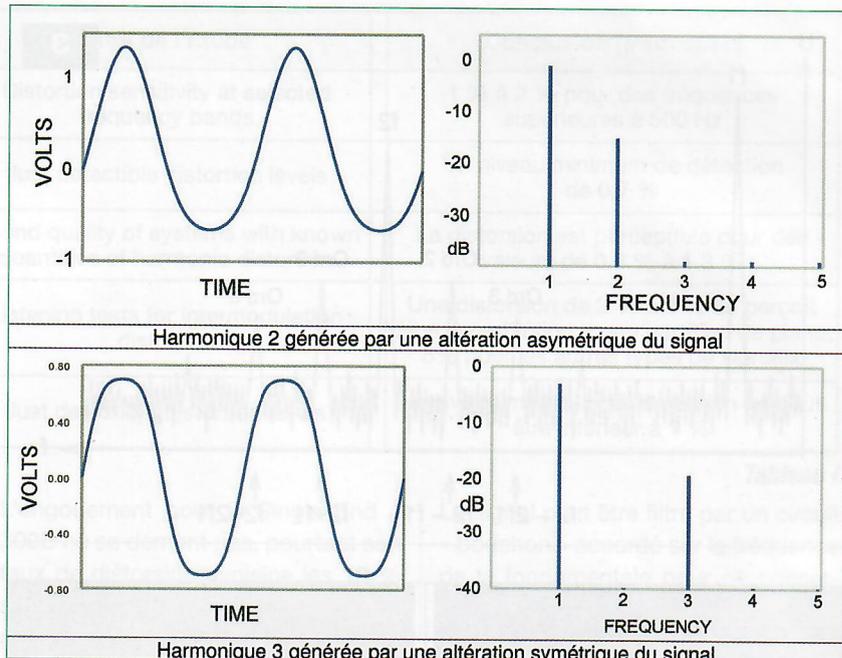
La distorsion d'intermodulation

Un deuxième type de mesures, plus pertinent, est la distorsion d'intermodulation. Dans le cas d'un quadripôle qui présente une droite de transfert, l'addition de deux fréquences en entrée se traduit par la restitution en sortie des deux mêmes fréquences. Mais, comme ce type de quadripôle actif n'existe pas et qu'il présente toujours une non-linéarité, si faible soit-elle, il y a... hétérodynage.

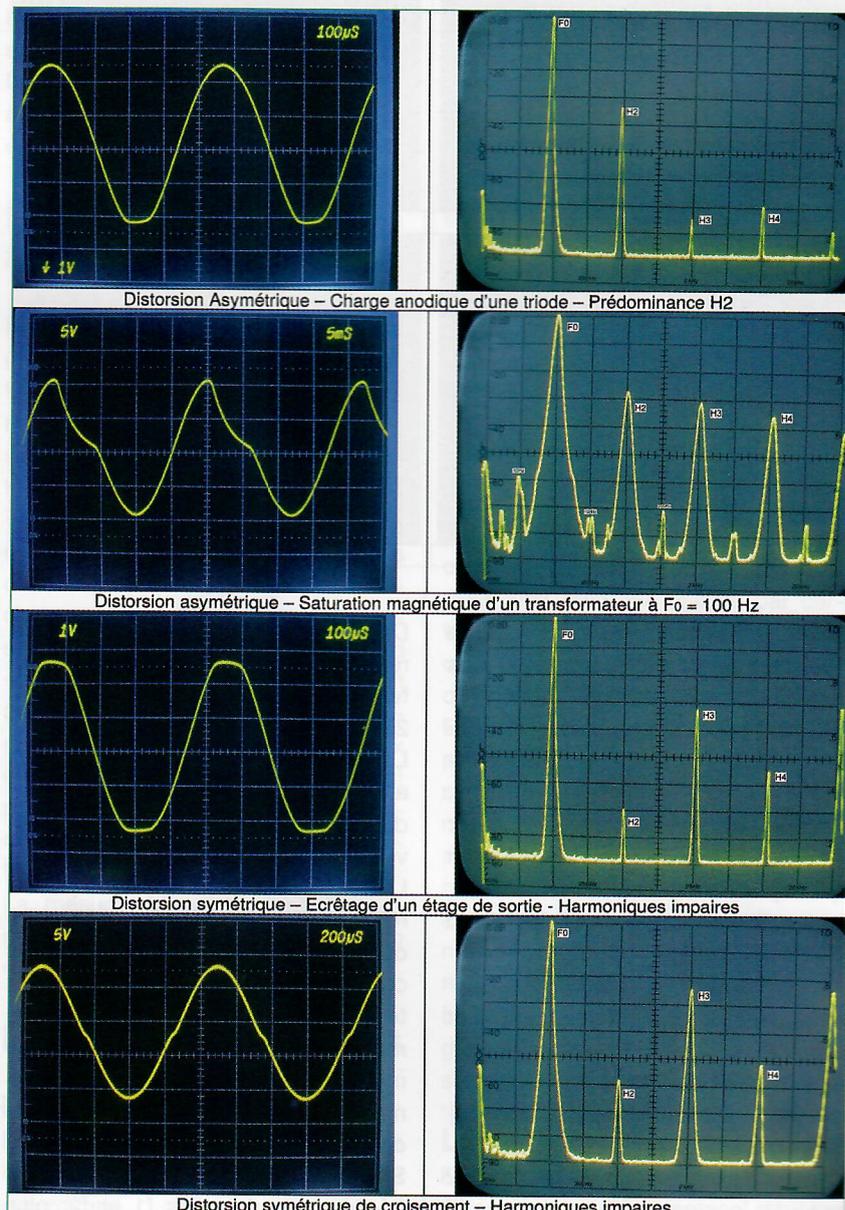
Par « hétérodynage », nous entendons la génération d'une série de nouvelles fréquences appelée « Produits d'intermodulation ».

En pratique, l'addition de deux fréquences f_1 et f_2 en entrée d'un quadripôle non-linéaire se traduit par la modulation de l'une par l'autre.

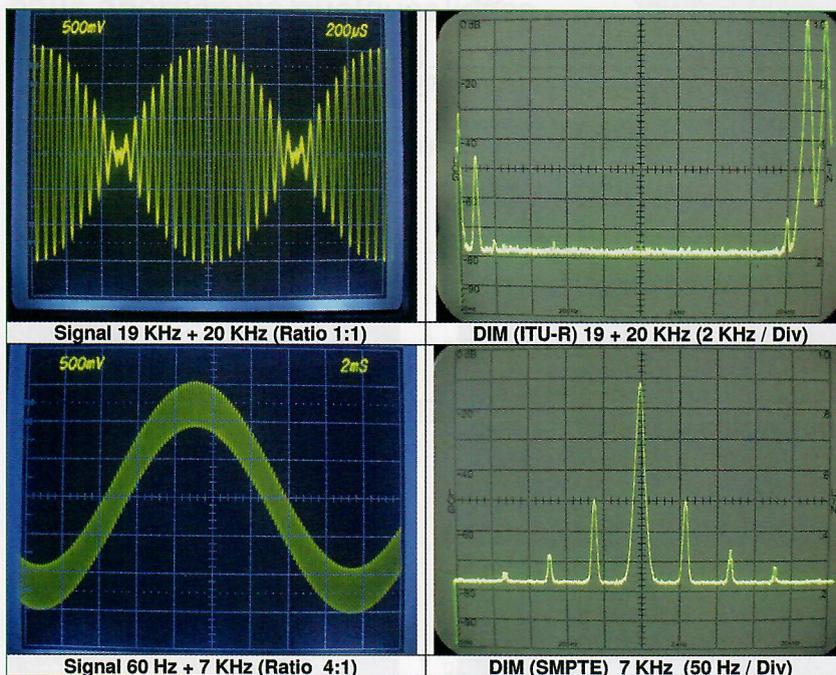
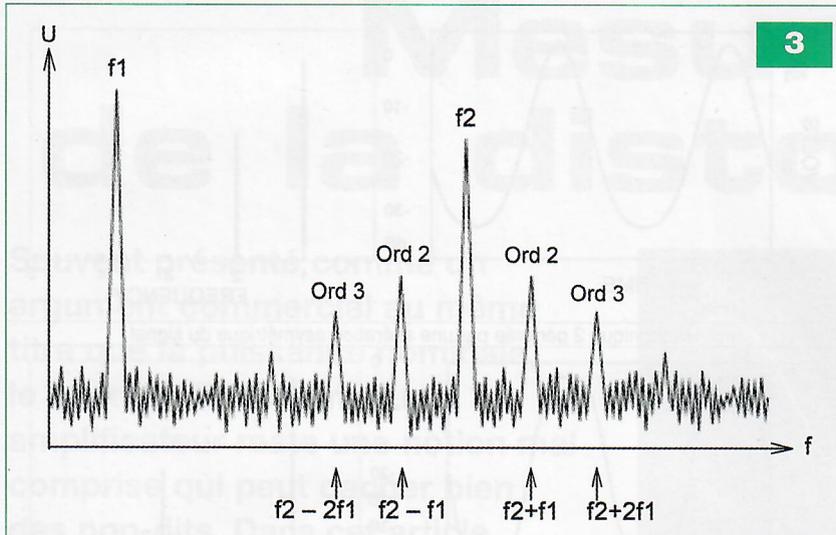
Cet artefact est intentionnellement



1



2



4

utilisé dans tous les systèmes de changement de fréquences des récepteurs radio et TV.

Un (tout petit) développement trigonométrique s'impose pour bien comprendre.

Posons l'addition de deux sinusoïdes : $U_1 \sin \omega_1 t$ et $U_2 \sin \omega_2 t$ à l'entrée d'un quadripôle non-linéaire.

La fonction en sortie se traduit d'abord par l'addition des deux signaux :

$V_o = a_1 U_1 \sin \omega_1 t + b_1 U_2 \sin \omega_2 t$, à laquelle s'ajoute également leur produit.

Or le produit de :

$$\sin X \cdot \sin Y = \frac{1}{2} [\cos(X-Y) - \cos(X+Y)]$$

L'expression finale s'écrit alors :

$$V_o = a_1 U_1 \sin \omega_1 t + b_1 U_2 \sin \omega_2 t + \frac{1}{2} c_1 U_1 \cdot U_2 [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t]$$

Dans cette expression, a_1 , b_1 , c_1 représentent les fonctions de transfert et ω_1 , ω_2 , respectivement $2\pi f_1$ et $2\pi f_2$.

La présence des deux nouveaux arguments $\omega_1 - \omega_2$ et $\omega_1 + \omega_2$ se traduit par la génération de deux nouvelles fréquences $f_1 - f_2$ et $f_1 + f_2$!

Le développement mathématique est relativement simple, mais dans notre quadripôle non-linéaire c'est plus compliqué, le phénomène ne se limite pas au mélange des deux fondamentales, il implique également le mélange des fondamentales avec les nouveaux produits qui crée des produits d'ordres supérieurs.

Se retrouvent alors en sortie, les deux fréquences originelles f_1 et f_2 , plus

une série de nouvelles fréquences :

- les produits de second ordre : $f_3 = f_1 + f_2$, $f_4 = f_1 - f_2$;
- les produits de troisième ordre : $f_5 = 2f_1 + f_2$, $f_6 = 2f_1 - f_2$;
- voire des produits d'ordres supérieurs : $f_7 = 3f_1 + f_2$, $f_8 = 3f_1 - f_2$, etc.

Mais dans les limites du fonctionnement correct de votre amplificateur, on peut considérer que seules celles du second ordre et du troisième ordre sont à considérer (figures 3 et 4).

Le taux de distorsion d'intermodulation se calcule comme suit :

$$d_2 = \frac{|U_{(f_1 + f_2)}| + |U_{(f_2 - f_1)}|}{U_{(f_2)}}$$

pour le second ordre

$$d_3 = \frac{|U_{(f_2 - 2f_1)}| + |U_{(f_2 + 2f_1)}|}{U_{(f_2)}}$$

pour le troisième ordre

Le taux total en dB vaut :

$$DIM_{(dB)} = 20 \log (\sqrt{d_2^2 + d_3^2})$$

Note :

Distorsion harmonique et intermodulation ont ceci en commun qu'en présence d'une forte distorsion harmonique, il y aura obligatoirement une forte intermodulation pour cause de même non-linéarité...

La réciproque n'est pas toujours vraie : la présence d'une faible distorsion harmonique ne garantit pas nécessairement une faible distorsion d'intermodulation !

Comment cela se traduit-il à l'écoute ?

La distorsion harmonique génère des nouvelles fréquences, mais ces dernières sont « en harmonie » avec les fréquences originelles, ce qui ajoute une coloration à la restitution.

Ainsi aurons-nous la perception que l'harmonique 2 rend le son « doux » et « chaud », alors que les harmoniques impairs rendent le son plus « brillant », voire plus « agressif ».

L'intermodulation fabrique des fréquences qui ne sont pas en harmonie avec les signaux originels, ce qui se traduit par un son « brouillé », voire « désagréable »... si le taux est trop important.

Item	Auteur & Date	Titre de l'Etude	Conclusion (traduction)
1	Von Braunmühl & Weber 1937	Distortion sensitivity at selected frequency bands	1 % à 2 % pour des fréquences supérieures à 500 Hz
2	Harry F Olson 1940	Just detectible distortion levels	Un niveau minimum de détection de 0,7 %
3	D.E.L Shorter 1950	Sound quality of systems with known quantities of harmonic distortion	La distorsion est perceptible pour des valeurs de 0,8 % à 1,3 %
4	P.A Fryer 1979	Listening tests for intermodulation distortion	Une distorsion de 2 % à 4 % se perçoit dans la restitution d'une partition de piano, 5% pour les autres types de signaux
5	James MOIR 1981	Just detectible distortion levels	Le niveau minimum de détection ne peut être inférieur à 1 %

Tableau I

A partir de quel taux perçoit-on la distorsion ?

Il n'y a pas de réponse indiscutable car ce seuil dépend de la fréquence, de l'amplitude, des transducteurs et de l'oreille de l'auditeur.

Le **tableau I** est un synoptique de divers essais de détection de la distorsion. Il reprend les données plus ou moins communément admises par les professionnels de l'audio.

Ce tableau met en évidence deux types d'essais différents :

- les conclusions des items 1, 2, 3 et 5 concernent des tests effectués sur des fréquences fondamentales auxquelles on ajoute des harmoniques,
- seul l'item 4 concerne la restitution musicale.

Il apparaît clairement que la distorsion d'une fréquence fondamentale se détecte bien plus rapidement qu'un signal complexe comme de la musique.

Une expérience en aveugle, effectuée en juin 1977 par notre confrère américain *Stereophile*, en présence de quatre « Golden Ears », a donné les résultats suivants :

- Une distorsion d'intermodulation entre deux fréquences de 60 Hz et 7 kHz est détectée à partir de 2,5 %;
- Un mixage de trois fréquences 60 Hz, 3 kHz et 7 kHz est détecté à partir de 4 %;
- La parole seule est détectée à partir de 6 % et une percussion à partir de 12 %.

Le rapport final et l'article furent intitulés « The Great Distortion Delusion » (*delusion* = illusion, tromperie).

Et que dire alors de l'amplificateur à triode unique en sortie ?

L'engouement pour le Single End à 300B ne se dément pas, pourtant son taux de distorsion avoisine les 10 % sans pudeur. C'est la présence prégnante du fameux harmonique 2 qui ajoute la couleur « chaude » qui séduit l'auditeur. Reste la question que doit se poser tout audiophile : le rôle de l'amplificateur est-il de modifier le son originel ou de restituer le message originel sans l'altérer ?

Les distorsions sans lien avec le signal originel

D'autres sources altèrent le signal originel, ce sont des phénomènes aléatoires comme le souffle, l'ondulation résiduelle du redressement, les parasites, les instabilités, la réponse aux transitoires, les diaphonies.

Tous ces phénomènes peuvent être caractérisés. Ainsi, les spécifications d'un amplificateur se doivent d'afficher, en plus des deux mesures classiques de distorsion, le bruit de fond et son corollaire le rapport signal/bruit (à 1 Weff !), la diaphonie, les chronogrammes de réponse aux signaux carrés. Cette série de mesures est simple à réaliser : un générateur, un volt-mètre et un oscilloscope sont les instruments de base de l'électronicien.

La mesure des distorsions harmoniques et d'intermodulation sont, en revanche, plus complexes.

La mesure des distorsions

La distorsion harmonique

La distorsion harmonique peut être caractérisée de plusieurs manières différentes.

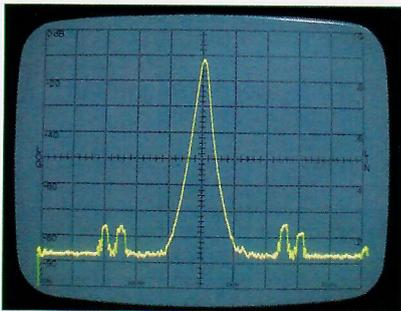
Le signal peut être filtré par un circuit « bouchon » accordé sur la fréquence de la fondamentale pour ne conserver que les harmoniques et le bruit, c'est la méthode utilisée dans la plupart des distorsiomètres analogiques. Le même résultat est obtenu par soustraction en comparant le signal de sortie avec l'inverse du signal d'entrée. Dans ces deux cas, la phase et l'amplitude sont ajustées manuellement ou en automatique pour obtenir le « minimum » qui sera la mesure de la distorsion + le bruit. Une autre méthode consiste à utiliser un filtre passe-haut extrêmement raide afin d'éliminer la fondamentale et ne conserver que les harmoniques. Cette mesure est directe car il n'y a pas de réglage de phase, mais fait abstraction de la partie du bruit qui se trouve sous la fréquence de coupure. De plus, la mise au point de ce type de filtre est extrêmement délicate. C'est une méthode utilisée par certains fabricants, mais elle ne propose que deux ou trois filtres ou fréquences de mesure.

Enfin, il y a les mesures effectuées par analyse spectrale. Mais l'établissement du taux de distorsion harmonique n'est pas aisé, puisqu'il faut noter l'amplitude de chaque harmonique et la compiler dans la formule citée plus haut. En revanche, cette mesure met en évidence l'importance relative de chaque harmonique.

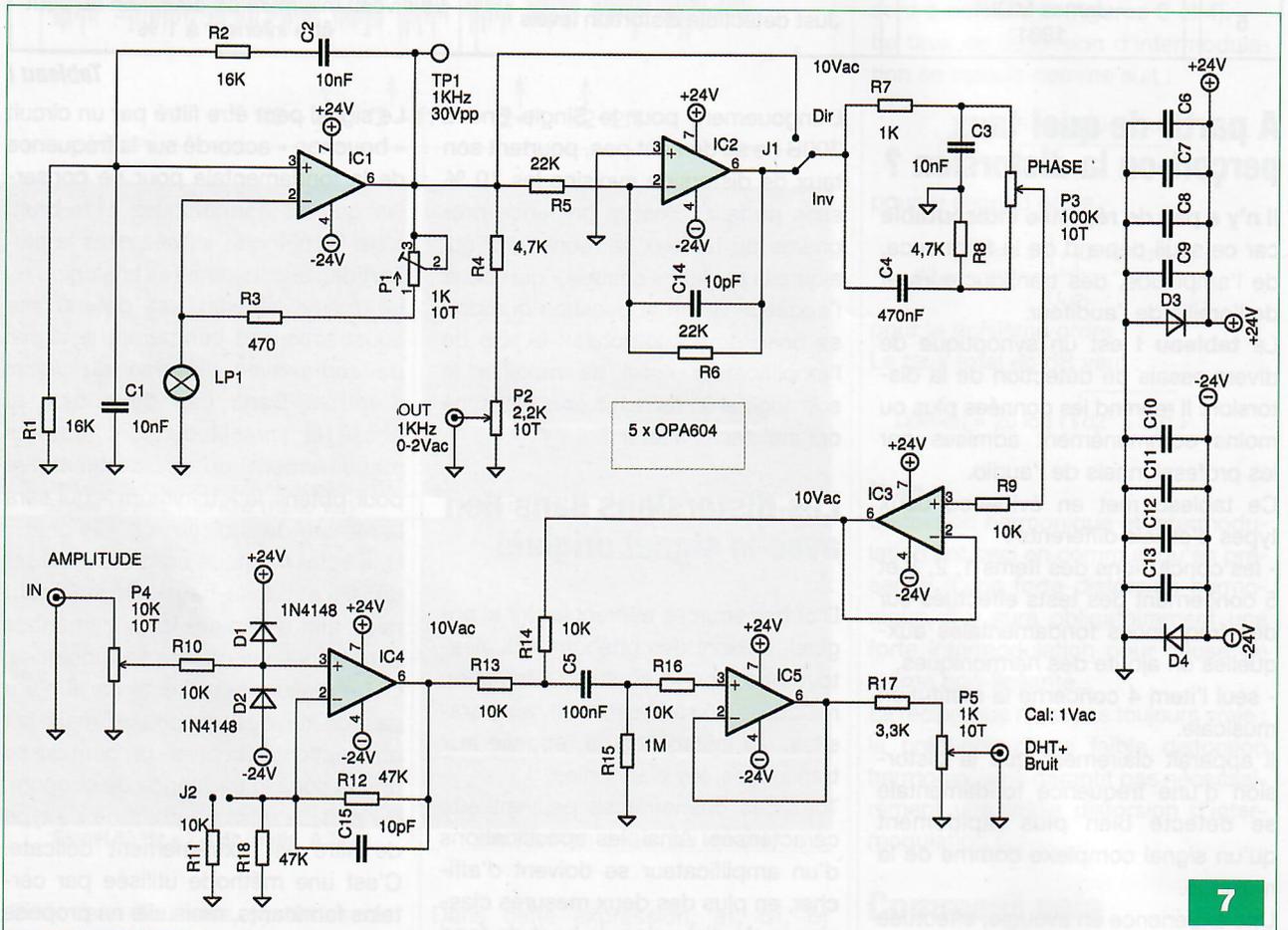
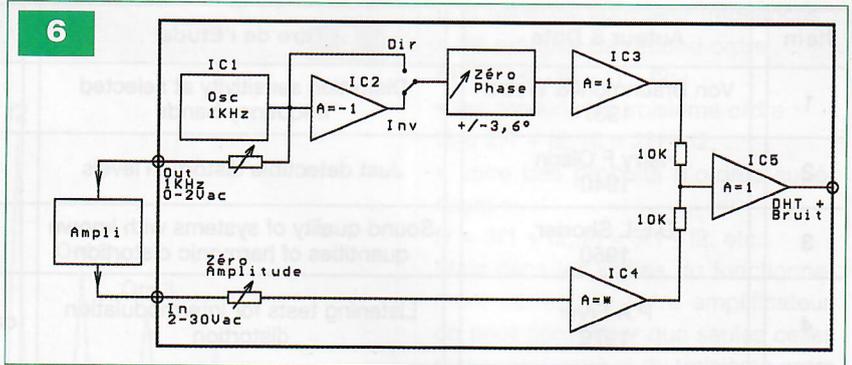
La distorsion harmonique est en général mesurée à - 1 dB de la puissance nominale annoncée et à 1 W.

La distorsion d'intermodulation

La distorsion d'intermodulation est plus complexe à mesurer, car elle



5



7

nécessite l'emploi de deux générateurs et l'utilisation d'un analyseur de spectre.

Les deux méthodes les plus usitées sont :

- L'**ITU-R** (International Telecommunications Union - Radiocommunications) qui préconise l'injection de deux signaux à 19 kHz et 20 kHz d'amplitude égale et conseille de mesurer le résultat issu de la soustraction des deux fréquences à $(f_2 - f_1)$ 1 kHz. C'est le test le plus « cruel » pour un amplificateur car les deux fondamentales se trouvent en fin de bande audio.
- La **SMPTE** (Society of Motion Picture & Television Engineers), qui date de

1941, est la méthode américaine. Elle préconise l'injection de deux signaux à 60 Hz et 7 kHz dans un rapport de 12 dB (4 à 1). Cette méthode est plus avantageuse puisqu'elle se trouve dans une zone plus linéaire.

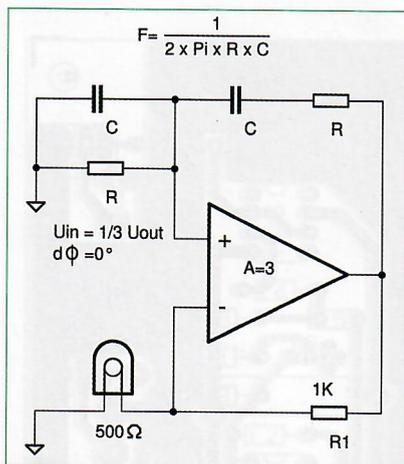
La figure 4 présente les deux méthodes. Pour l'ITU-R, les deux fréquences à 19 kHz et 20 kHz génèrent un battement à la fréquence « différence » $(f_2 - f_1)$ à 1 kHz et à la fréquence « somme » $(f_2 + f_1)$ à 39 kHz située hors du spectre analysé.

La figure du bas présente la mesure de l'intermodulation selon la SMPTE. Elle met en évidence les battements du second ordre situés à 60 Hz, de

part et d'autre de la fréquence centrale, et de troisième ordre à 120 Hz. La fréquence de 60 Hz n'a pas été choisie innocemment : c'est la fréquence de l'alimentation secteur aux Etats-Unis. Ce battement « masque » l'ondulation du secteur qui peut, elle aussi, moduler le signal.

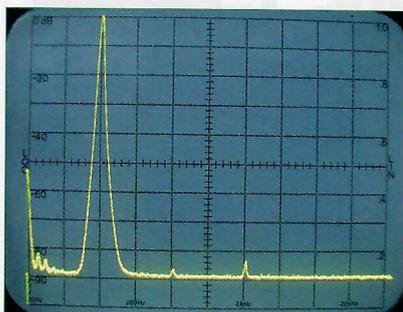
L'ondulation de l'alimentation, qui module les deux fréquences fondamentales, se retrouve elle-même intermodulée et vient perturber la mesure dans le cas d'une alimentation insuffisamment filtrée.

Nous avons décidé de conserver la fréquence de 60 Hz malgré notre secteur à 50 Hz.



8

10



La figure 5 montre les battements à 60 Hz et 50 Hz de la fréquence centrale. Le tout, dans la mesure, est de bien savoir ... ce qu'on mesure !

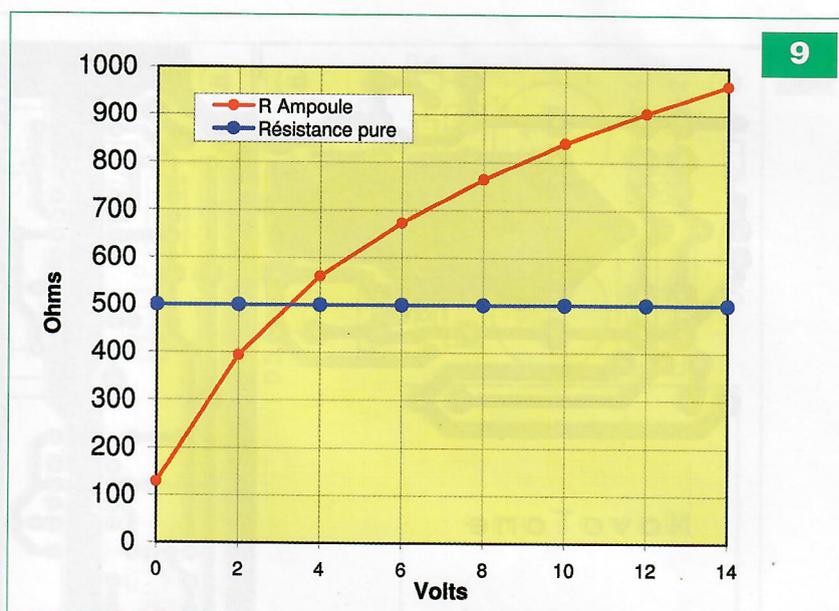
En pratique

Nous ne nous contenterons pas de publier un article théorique sans proposer quelques réalisations pratiques. C'est pourquoi, nous avons développé trois modules qui vous permettront de mesurer, respectivement, la distorsion harmonique à 1 kHz, la distorsion d'intermodulation selon la norme ITU-R et, enfin, un petit générateur de signal conforme à la norme SMPTE.

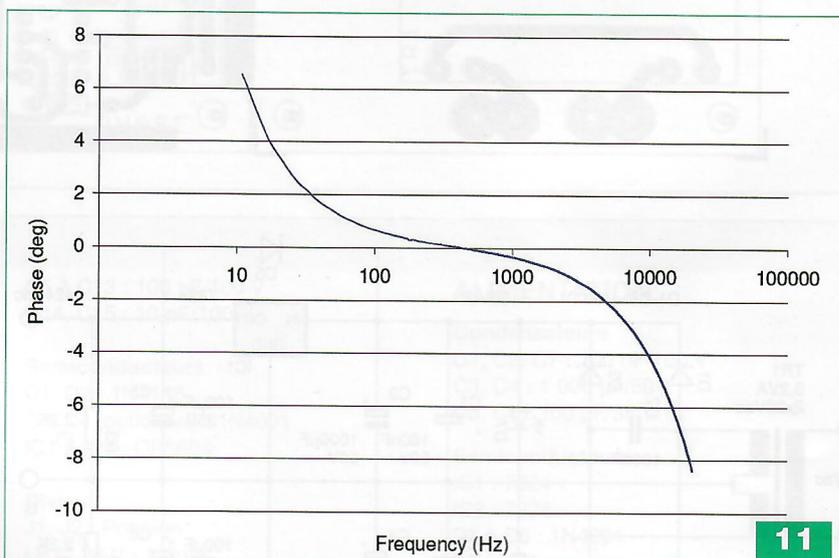
Ces trois modules se présentent sous la forme d'une carte imprimée autonome. Il sera possible d'insérer la carte dans un boîtier en reportant les connexions et réglages vers la face avant pour en obtenir un produit fini.

Le module de mesure de la distorsion harmonique

Pour la facilité, nous avons choisi la méthode soustractive, c'est-à-dire d'éliminer la fréquence de « test » en la comparant avec l'exact inverse du signal mesuré. Il ne reste alors qu'à



9



11

quantifier le signal résiduel qui ne comprend plus que le bruit et les harmoniques (figure 6).

Le premier AOP/IC1 est monté en oscillateur de Wien (figures 7 et 8).

La fréquence d'oscillation est définie par la formule : $F_o = 1/2 \pi RC$.

En fixant $C = 10 \text{ nF}$ et $R = 16 \text{ k}\Omega$, nous obtenons la fréquence de 1 kHz.

L'amplitude de l'oscillation est stabilisée par l'action de l'ampoule LP1.

La figure 9 présente la variation de la résistance de l'ampoule en fonction de la tension à ses bornes.

Si l'amplitude a tendance à augmenter, la résistance de l'ampoule augmente et le gain du circuit diminue et inversement. **La distorsion propre de cet oscillateur est inférieure à 0,01 % (figure 10).**

Le potentiomètre P1 ajuste l'amplitude

à 10 Vac en TP1 (30 Vpp).

Ce circuit sera utilisé dans nos trois modules et pour d'autres fréquences.

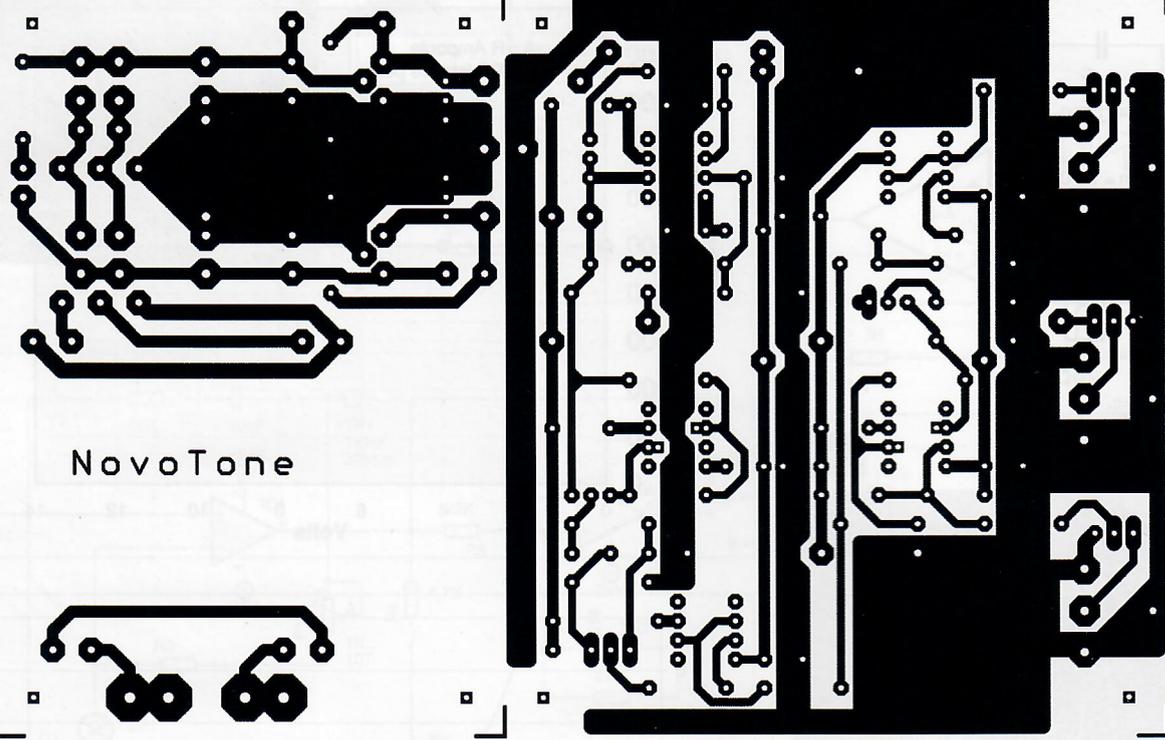
Le signal en sortie, dont l'amplitude est ajustée par le potentiomètre P2, « pilote » l'amplificateur à tester.

L'amplitude maximale est de 3 Vac, mais peut être plus élevée en diminuant la valeur de R4.

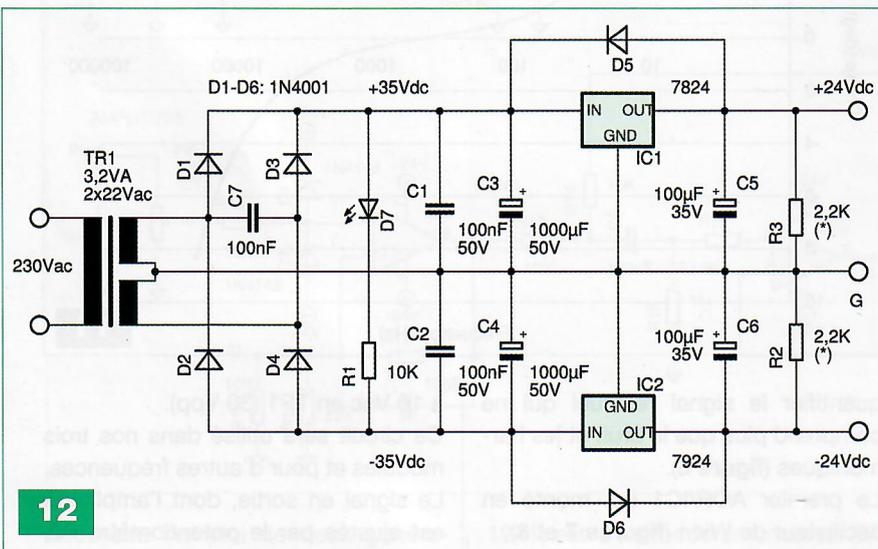
Le signal de l'oscillateur est « routé » vers IC2 qui inverse la phase. Le pontage J1 permet la sélection « directe » ou « inverse », en fonction de la configuration de l'amplificateur mesuré. Suit un compensateur de phase qui permet une variation « avance/retard » de $\pm 3,6^\circ$ environ afin de compenser l'écart de phase engendré par l'amplificateur.

La figure 11 reprend la variation de phase type en fonction de la fréquence

13



NovoTone



12

pour un amplificateur classique. L'amplitude du signal en sortie de l'amplificateur est ajustée par le potentiomètre P4 et le pontage J2. Le circuit accepte une tension d'entrée comprise entre 2 Vac et plus de 30 Vac. Les réglages de phase et d'amplitude permettent d'ajuster les deux signaux en opposition exacte, seuls restent présents, en entrée de IC5, les « indésirables » comme le bruit et les harmoniques.

L'alimentation

Les tensions d'alimentation sont

fixées à ± 24 Vdc, ce qui permet aux OPA604 de travailler avec des signaux qui peuvent atteindre 40 Vpp. Deux régulateurs 7824 et 7924 assurent le lissage et la stabilité (figure 12). Cette alimentation est la même pour les trois modules, la nomenclature est reprise avec la carte DHT.

Le circuit imprimé

L'assemblage du circuit imprimé ne présente aucune difficulté particulière (gravure et câblage).

Les plans et vue vous sont présentés en figures 13, 14 et en photo A.

Utilisation du module de mesure de la DHT

Le signal à 1 kHz est injecté à l'entrée de l'amplificateur (sortie OUT).

Le réglage de l'amplitude avec P2 ou le potentiomètre de volume est ajusté pour obtenir une puissance inférieure de 1 dB à la puissance nominale dans la charge résistive, ce qui correspond à 90 % de l'amplitude nominale. La tension développée aux bornes de la charge est « routée » vers l'entrée (IN) du module et ajustée par P4 pour obtenir un minimum en sortie (DHT).

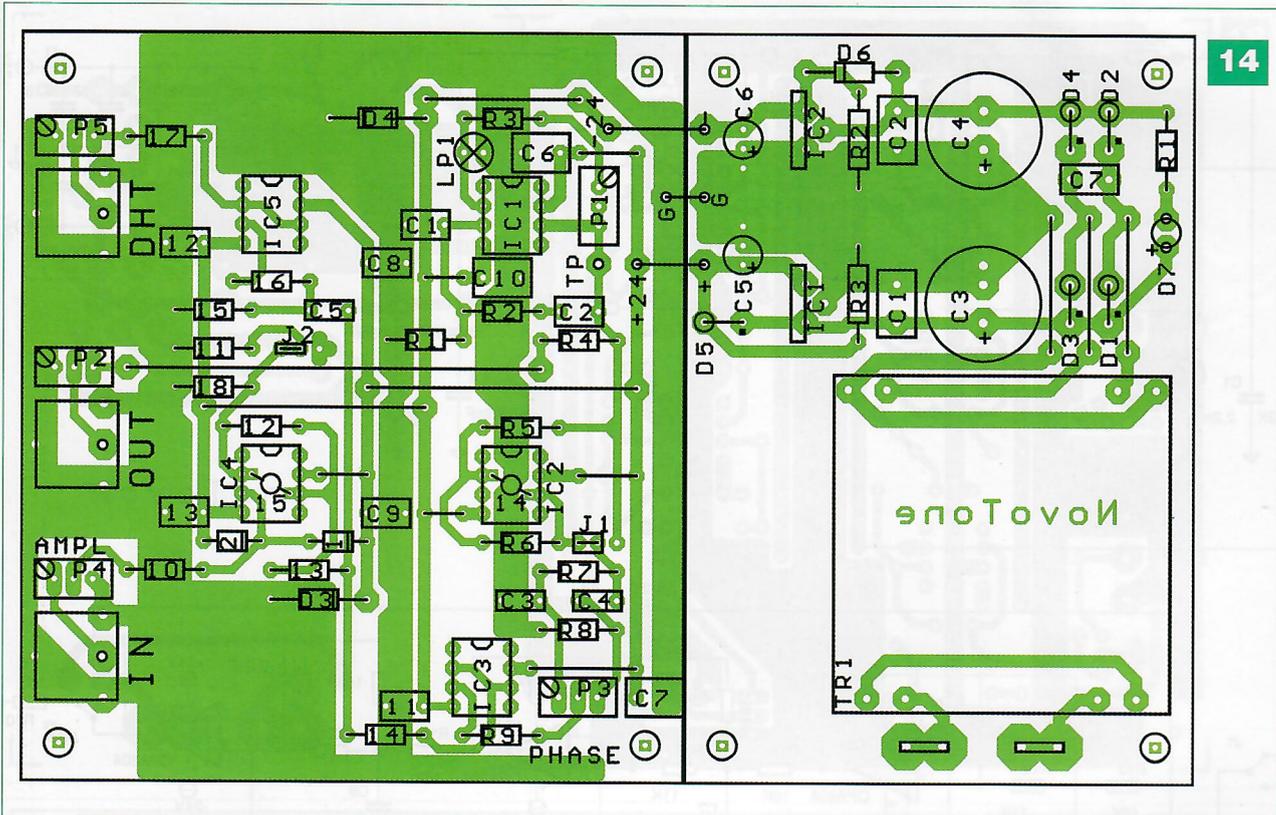
Il est bon de connaître au préalable si l'amplificateur inverse ou non la phase du signal.

Si l'amplificateur est « non inverseur », il y a lieu d'inverser le signal à l'aide du pontage J1.

A l'aide des potentiomètres P3 (Phase) et P4 (Amplitude), chercher à obtenir le **minimum** en sortie (DHT).

Il est en général très pointu à stabiliser et le module permet la mesure de distorsions qui peuvent descendre à 0,01 % !

Lorsque le **minimum** est trouvé, il y a lieu de calibrer la mesure. Supprimer le signal en entrée et ajuster P5 pour obtenir une valeur connue : 1 Vac ou 0 dB sur un vumètre.



Nomenclature

CARTE DHT

Résistances $\pm 1\%$ - 1/4 W

R1, R2 : 16 k Ω
 R3 : 470 Ω
 R4, R8 : 4,7 k Ω
 R5, R6 : 22 k Ω
 R7 : 1 k Ω
 R9, R10, R11, R13, R14, R16 : 10 k Ω
 R12, R18 : 47 k Ω
 R15 : 1 M Ω
 R17 : 3,3 k Ω

Condensateurs (pas de 5 mm)

C1, C2 : 10 nF/1 %/100 V
 C3 : 10 nF/100 V
 C4 : 470 nF/100 V

C5 à C13 : 100 nF/100 V
 C14, C15 : 10 pF/100 V

Semiconducteurs

D1, D2 : 1N4148
 D3, D4 (optionnel) : 1N4001
 IC1 à IC5 : OPA604

Divers

J1, J2 : Pontage
 LP1 : 28 V - 24 mA
 P1, P5 : 1 k Ω /10 T/vertical
 P2 : 2,2 k Ω /10 T/vertical
 P3 : 100 k Ω /10 T/vertical
 P4 : 10 k Ω /10 T/vertical
 TP1 : Cosse ceil
 Socles RCA mono pour CI

ALIMENTATION

Condensateurs

C1, C2, C7 : 100 nF/100 V
 C3, C4 : 1 000 μ F/50 V
 C5, C6 : 100 μ F/35 V

Semiconducteurs

IC1 : 7824
 IC2 : 7924
 D1 à D6 : 1N4001
 D7 : LED

Divers

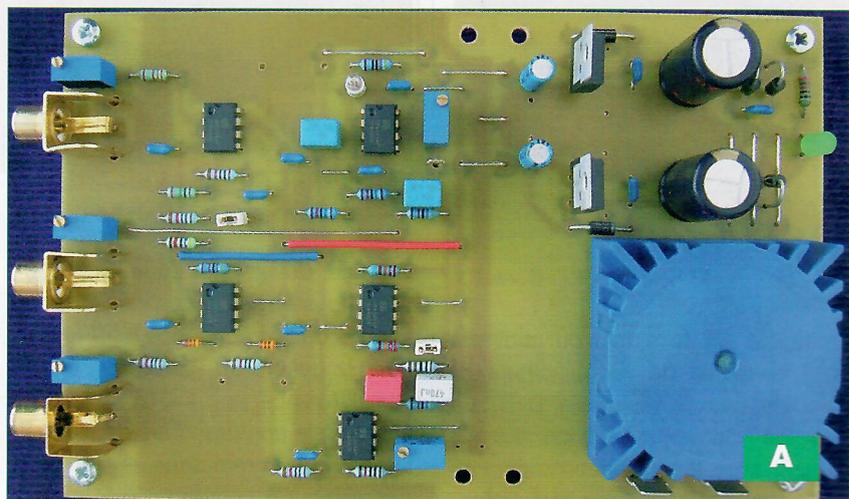
R1 : 10 k Ω /1/4 W/5 %
 R2, R3 (optionnel) : 2,2 k Ω /1 W/5 %
 TR1 : 2 x 24 V/3,2 VA
 Cosses Faston

En reconnectant le signal d'entrée, le signal (DHT) va s'effondrer et sortir, après un ultime réglage fin des « Phase » et « Amplitude », le niveau des résiduels.

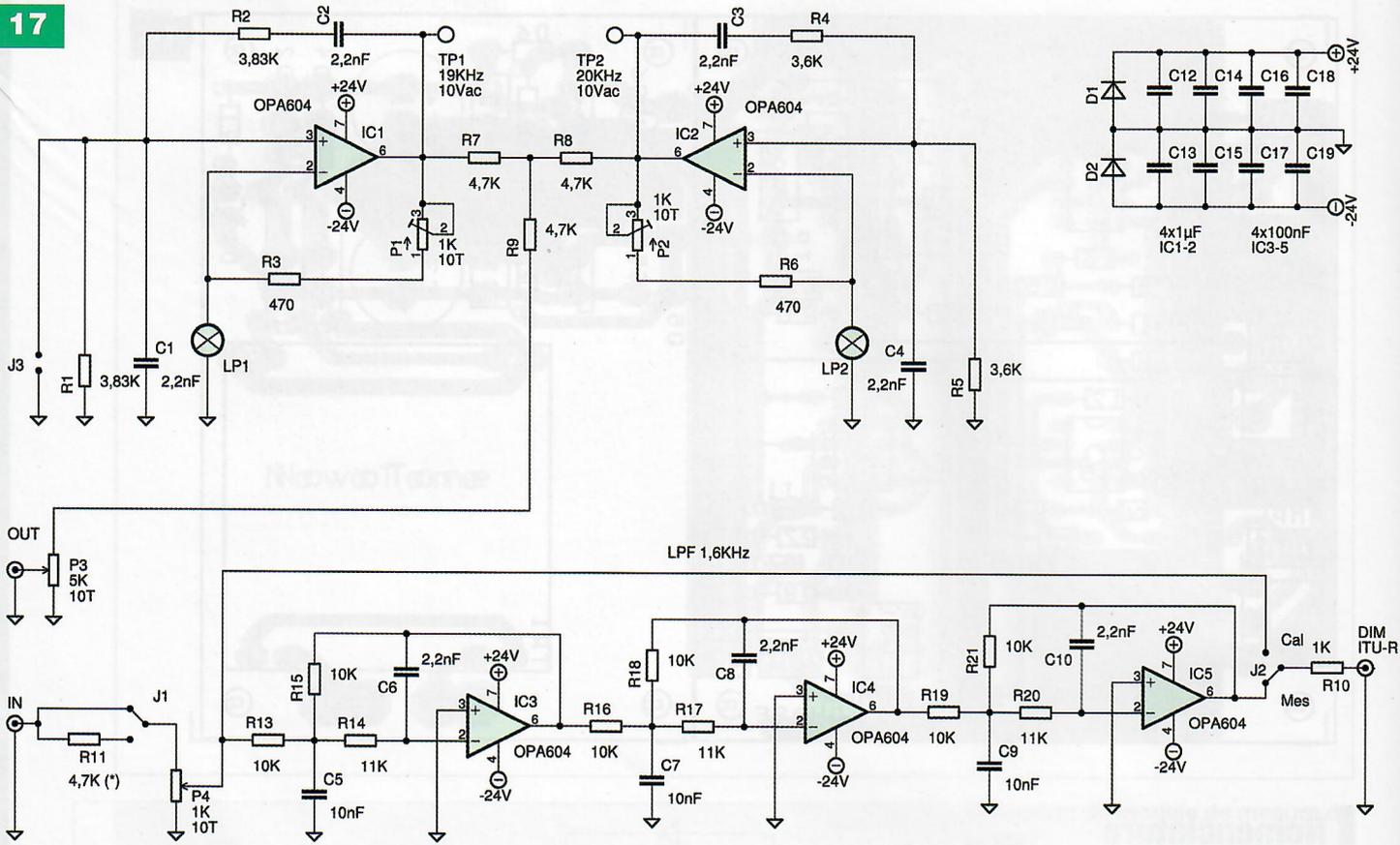
C'est le rapport entre cette mesure et le volt ou le 0 dB qui détermine le taux de distorsion.

Idéalement, la mesure doit se faire à l'aide d'un millivoltmètre RMS, car le signal résiduel est tout sauf un signal sinusoïdal.

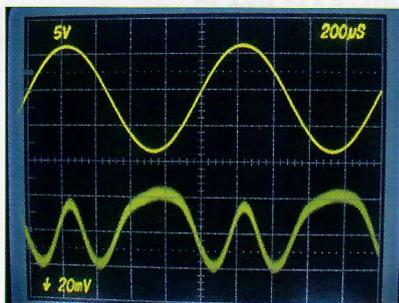
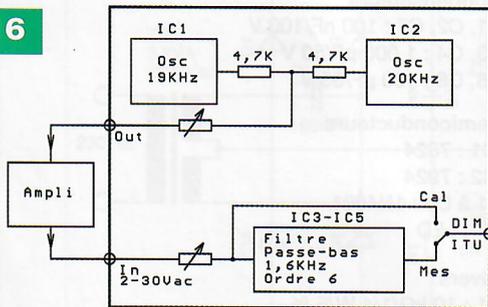
Il est également possible de faire cette mesure à l'oscilloscope et de définir ainsi la composition du signal résiduel.



17

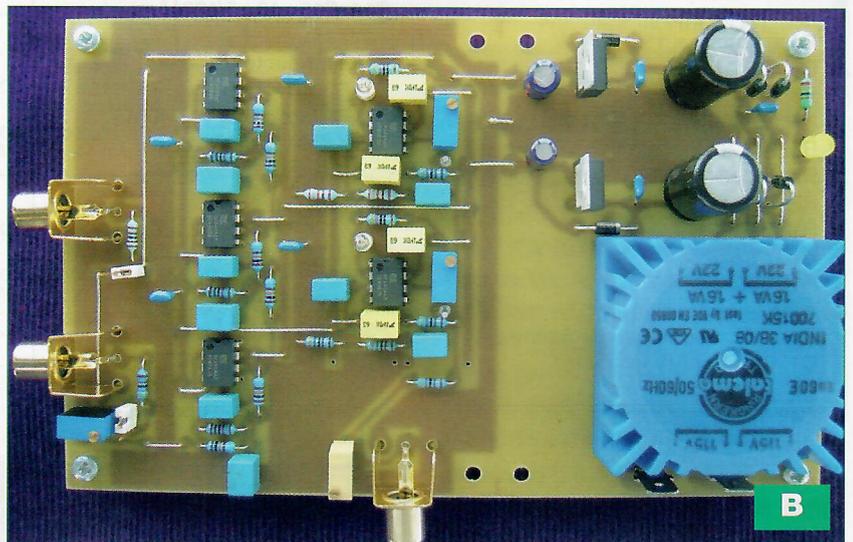


16



15

En **figure 15**, le signal du haut est celui en sortie de l'amplificateur et celui du bas la résiduelle DHT. Le taux de distorsion est de 0,3 % (50 dB) avec la présence dominante de l'harmonique 2.



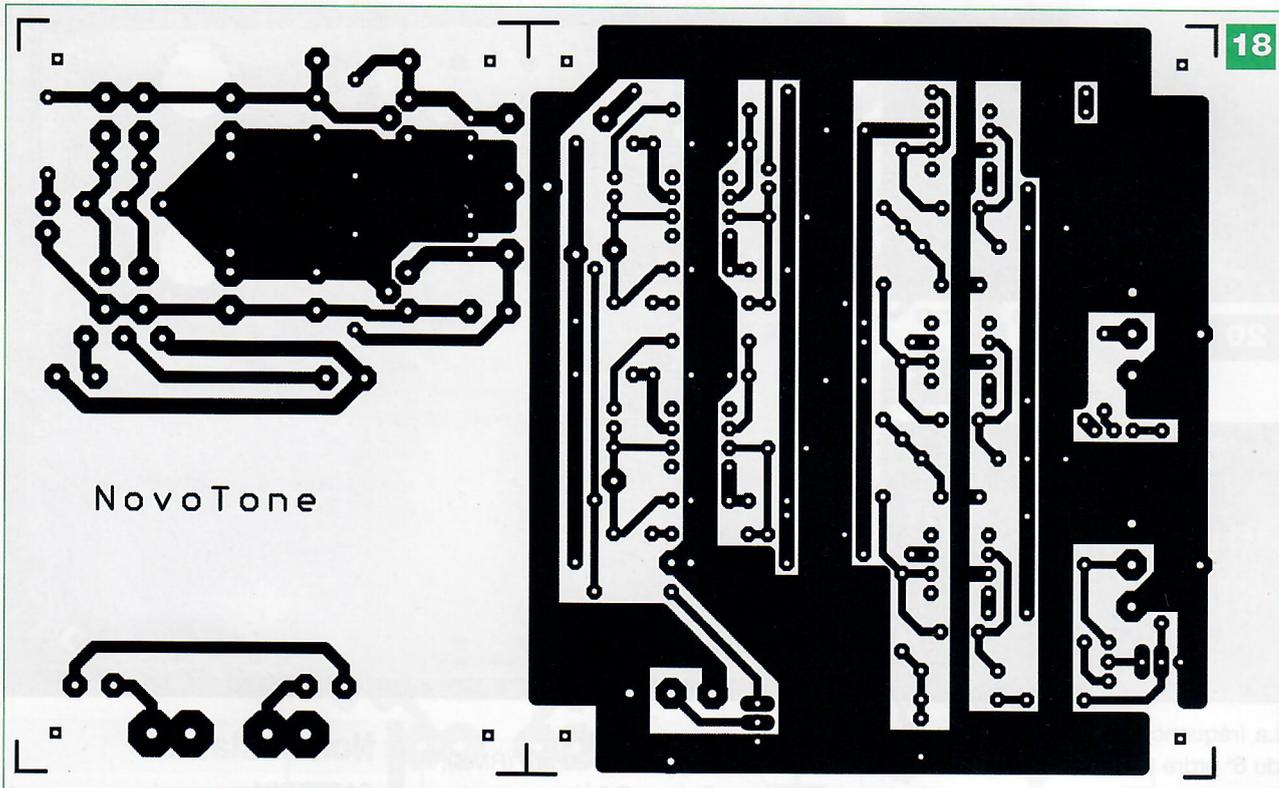
Le module de mesure de la distorsion d'intermodulation (selon la norme ITU-R)

Comme développé en début d'article, nous savons que l'intermodulation de deux fréquences à 19 kHz et 20 kHz génère un « produit » égal à leur différence, soit 1 kHz.

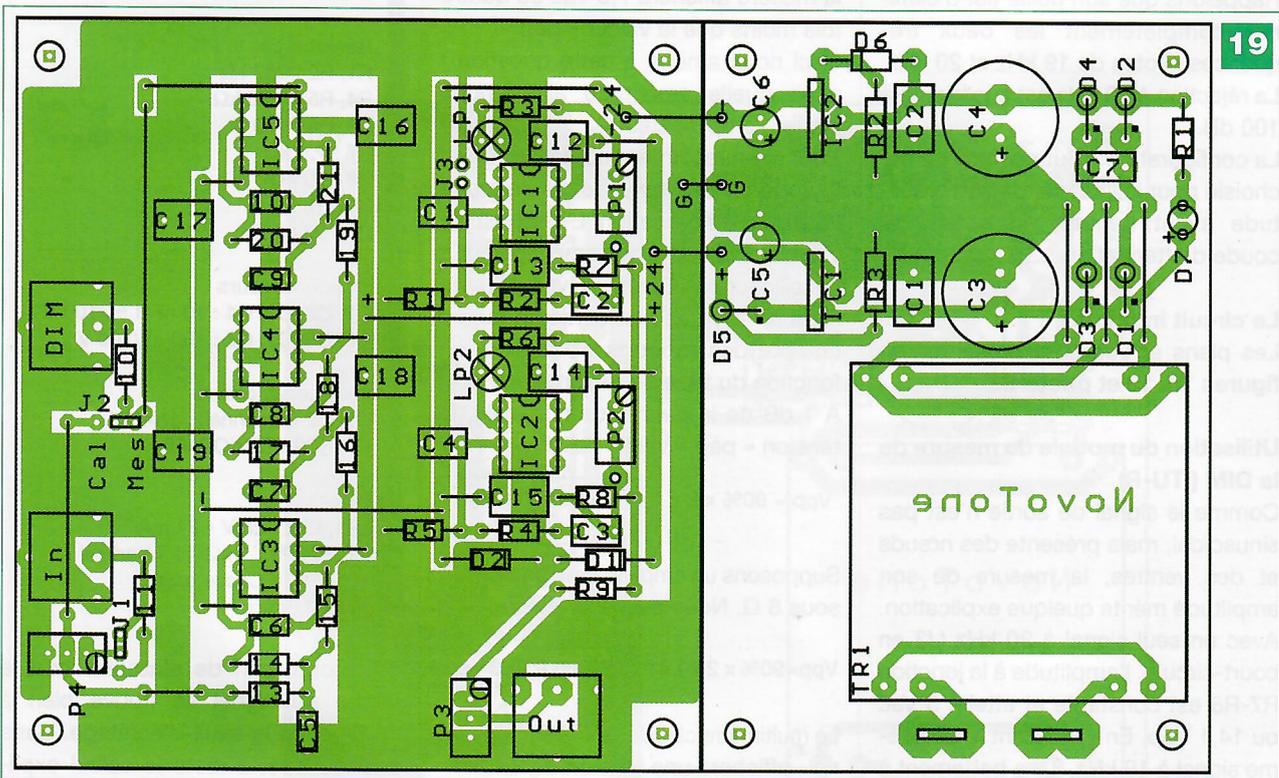
Ce module comprend les deux oscillateurs, le sommateur et un filtre passe-bas « Butterworth du 6^e ordre »

intervenant à 1,6 kHz (**figure 16**). Le gain est unitaire afin de ne conserver que le « produit » d'intermodulation. Les deux AOP, IC1 et IC2, sont les éléments actifs des oscillateurs à 19 kHz et 20 kHz.

Le signal « sommé » est ajusté par le potentiomètre P3 et dirigé vers le socle de sortie (OUT). Le signal en sortie de l'amplificateur (**figure 17**) est injecté à l'entrée du filtre passe-bas (IN).



18



19

Nomenclature

CARTE DIM (ITU)

Résistances $\pm 1\%$ - 1/4 W

- R1, R2 : 3,83 k Ω
- R3, R6 : 470 Ω
- R4, R5 : 3,6 k Ω
- R7, R8, R9, R11 : 4,7 k Ω
- R10 : 1 k Ω
- R13, R15, R16, R18, R19, R21 : 10 k Ω
- R14, R17, R20 : 11 k Ω

Condensateurs

- C1, C2, C3, C4, C6, C8, C10 : 2,2 nF/1 %/100 V
- C5, C7, C9 : 10 nF/100 V
- C12, C13, C14, C15 : 1 μ F/50 V
- C16, C17, C18, C19 : 100 nF/100 V

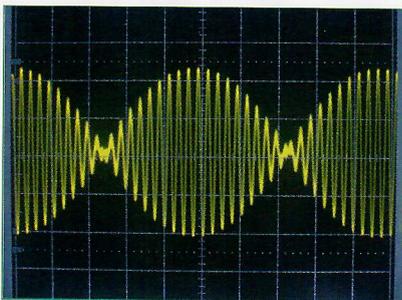
Semiconducteurs

- D1, D2 (optionnel) : 1N4001

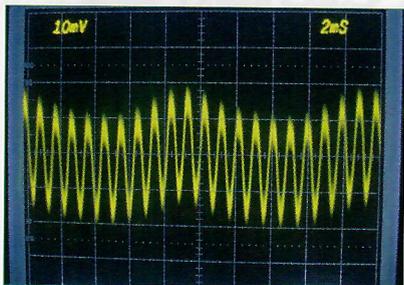
IC1 à IC5 : OPA604

Divers

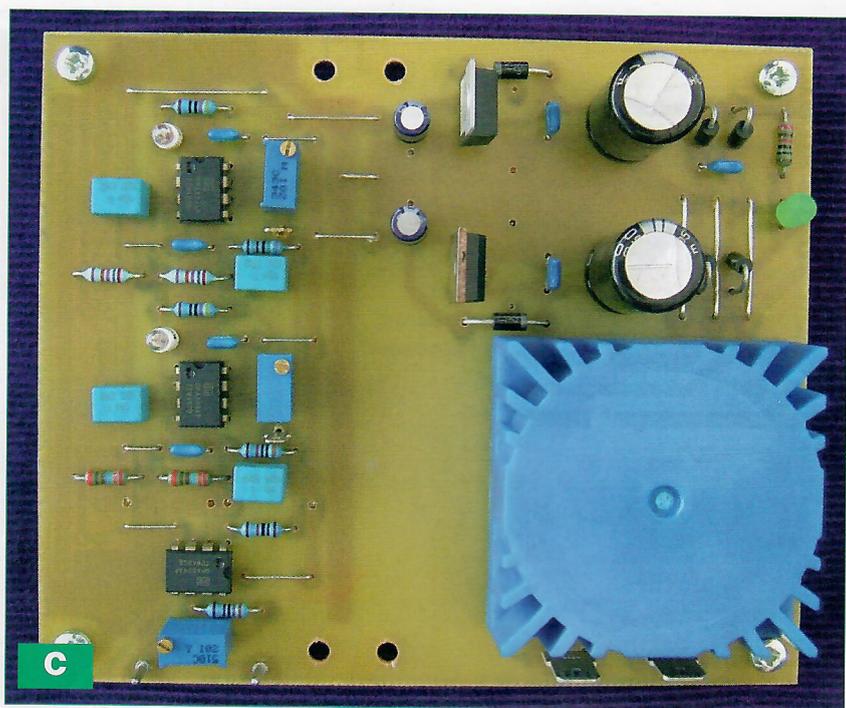
- J1, J2, J3 : Pontages
- LP1, LP2 : 28 V - 24 mA
- P1, P2 : 1 k Ω /10 T/vertical
- P3 : 5 k Ω /10 T/vertical
- TP1, TP2 : Cosse œillet
- Socles RCA



20



21



La fréquence de coupure de ce filtre du 6^e ordre est située à 1,6 kHz. Rappelons que son utilité est d'éliminer complètement les deux fréquences pilotes de 19 kHz et 20 kHz. La réjection à 19 kHz est supérieure à 100 dB.

La configuration « Butterworth » a été choisie pour la linéarité de son amplitude avant l'entrée en action du coude d'atténuation.

Le circuit imprimé

Les plans et vue sont présentés en figures 18, 19 et photo B.

Utilisation du module de mesure de la DIM (ITU-R)

Comme le signal de sortie n'est pas sinusoïdal, mais présente des nœuds et des ventres, la mesure de son amplitude mérite quelque explication. Avec un seul signal à 20 kHz (J3 en court-circuit), l'amplitude à la jonction R7-R8 est constante et atteint 5 Vac ou 14,1 Vpp. En y ajoutant le deuxième signal à 19 kHz, il y a battement à 1 kHz et le signal « sommé » varie entre un minimum nul et un maximum égal au double de l'amplitude, soit une amplitude comprise entre 0 Vpp et 28,2 Vpp (figure 20).

En mesurant ce signal à l'aide d'un multimètre classique, vous obtiendrez une tension de 6,2 Vac, soit une valeur environ quatre fois et demie inférieure à la valeur pointe à pointe

(« pàp »).

À l'aide d'un voltmètre « Vrai » (RMS), la mesure affichera 7,0 Vac ou quatre fois moins que la valeur « pàp ».

Ceci nous amène à cette question : avec quelle amplitude allons-nous piloter l'amplificateur ?

Pour mesurer l'intermodulation réelle, il importe de rester dans la zone linéaire d'amplification. L'idéal est de visualiser la sortie de l'amplificateur à l'oscilloscope. Sinon, il y a lieu de mesurer le niveau de sortie en tenant compte des rapports de mesure en fonction du type de multimètre.

À 1 dB de la puissance nominale, la tension « pàp » vaut :

$$V_{pp} = 90\% \times 2 \times 1,41 \times \sqrt{P_0 \times Z_{charge}}$$

Supposons un amplificateur de 30 W_{eff} sous 8 Ω. Nous avons la tension :

$$V_{pp} = 90\% \times 2 \times 1,41 \times \sqrt{30 \times 8} = 39,3 \text{ Vpp}$$

Le multimètre classique « valeur moyenne » affichera une tension de :

$$39,3 \text{ Vpp} / 4,5 = 8,7 \text{ Vac}$$

Si vous dépassez cette valeur, l'amplificateur entrera en « limitation », ce qui se traduira par une augmentation brutale de la valeur de la distorsion d'intermodulation.

En pratique, le signal composé des deux fréquences 19 kHz et 20 kHz « pilote » l'amplificateur. Le niveau de sortie est vérifié de préférence à l'os-

Nomenclature

CARTE DIM

Résistances ± 1% - 1/4 W

- R1, R2 : 267 kΩ
- R4, R5 : 2,26 kΩ
- R3, R6 : 470 Ω
- R7 : 7,5 kΩ
- R8 : 30 kΩ
- R9 : 10 kΩ
- R10 : 3,3 kΩ

Condensateurs

- C1, C2, C3, C4 : 10 nF/1 %/100 V
- C5, C6, C7, C8 : 100 nF/100 V

Semiconducteurs

- D1, D2 (optionnel) : 1N4001
- IC1, IC2, IC3 : OPA604

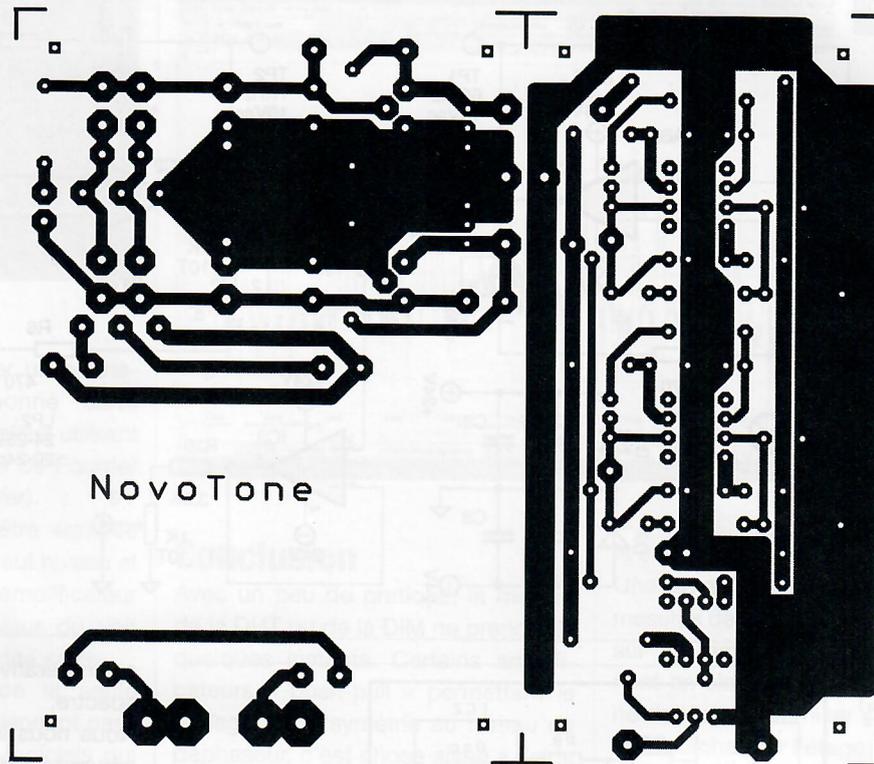
Divers

- LP1, LP2 : 28 V - 24 mA
- P1, P2, P3 : 1 kΩ/10 T/vertical
- TP1, TP2 : Cosse œillet
- Picot 1,3mm

illoscope, afin de s'assurer que le ventre du signal se trouve bien à 10 % sous le seuil d'écrêtage. Sans oscilloscope, il reste le calcul expliqué ci-dessus ou... le feeling. En surveillant le niveau de l'intermodulation en sortie (DIM) de la carte, augmenter l'amplitude jusqu'à ce que le niveau d'intermodulation « grimpe » anormalement, puis revenir légèrement en arrière.

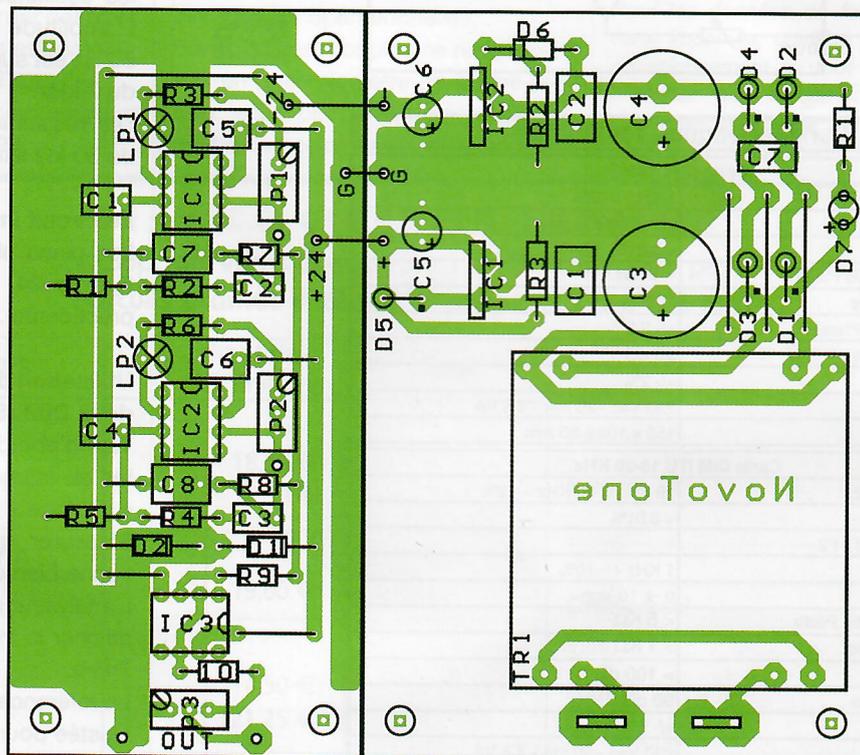
Le taux d'intermodulation se calcule ainsi : DIM = U_{out}/U_{in}
U_{out} est la valeur du signal résiduel à

24



NovoTone

25



1 kHz en sortie (DIM) de la carte avec le pontage J2 en position (MES).

Un est la valeur du signal d'entrée du filtre avec J2 en position (CAL).

Le signal à la sortie (DIM) est une sinusoïde à 1 kHz. Toutefois, si le

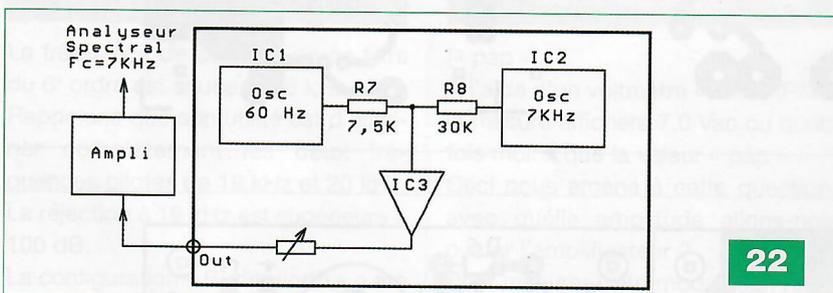
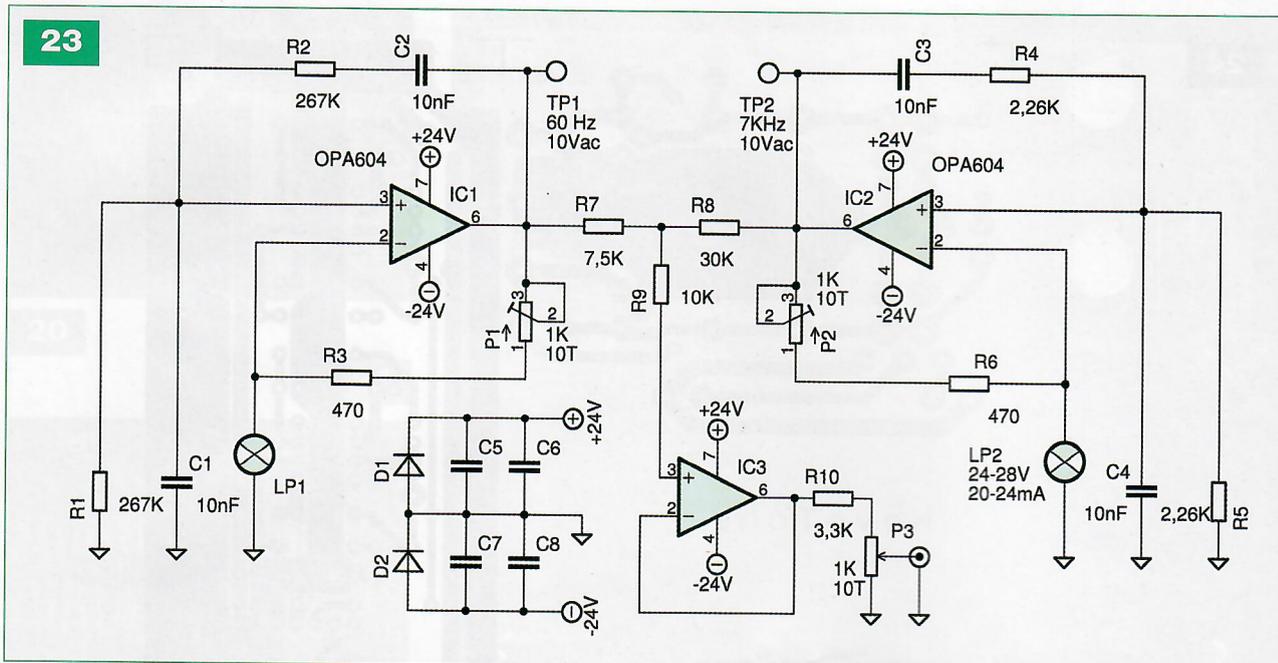
taux d'intermodulation est faible, il peut être entaché par l'ondulation résiduelle de l'alimentation. La **figure 21** présente la mesure de la DIM d'un amplificateur de 8 Weff. Le signal mesuré est de 6 mV_{ac} pour un signal

d'entrée de 4,4 Vac (20 V_{pp}). Le rapport est de 0,006/4,4, soit 0,15 % ou 56 dB.

Le module générateur SMPTE

La mesure de la distorsion d'intermodulation selon la norme SMPTE utili-

23



22

Caractéristiques Techniques

Carte DHT 1KHz	
Fréquence:	1 KHz +/- 2%
Tension de sortie:	0 → 3 Vac
DHT propre	< 0,01%
Impédance de sortie Pilote	< 2 KΩ
Impédance d'entrée	10 KΩ
Compensation de Phase	+/- 3,6 °
Gamme de mesure	90 dB
Précision	+/- 2%
Consommation	230 Vac - 20 mA - 4,6 VA
Dimensions	155 x 100 x 30 mm
Carte DIM ITU 19-20 KHz	
Fréquences F1, F2:	19 KHz & 20 KHz +/- 2%
DHT propre	< 0,01%
Ratio Amplitude F1 / F2	1
Différence F2-F1:	1 KHz +/- 10%
Tension de sortie:	0 → 10 Vpp
Impédance de sortie Pilote	< 5 KΩ
Impédance d'entrée	> 1 KΩ
Réjection F1, F2	> 100 dB
Gamme de mesure	90 dB
Précision	+/- 5%
Consommation	230 Vac - 20 mA - 4,6 VA
Dimensions	160 x 100 x 30 mm
Carte Générateur SMPTE	
Fréquences F1,F2	60 Hz & 7 KHz +/- 2%
DHT propre	< 0,01%
Ratio Amplitude F1 / F2	12 dB (4/1)
Tension de sortie:	0 → 7 Vpp
Impédance de sortie Pilote	< 1 KΩ
Consommation	230 Vac - 16 mA - 3,8 VA
Dimensions	115 x 100 x 30 mm

28

se impérativement un analyseur de spectre.

Nous nous limiterons ici à étudier le générateur de « pilotage » (figures 22 et 23).

Les deux AOP, IC1 et IC2, réalisent les oscillateurs de 60 Hz et 7 kHz. L'amplitude de la fondamentale à 60 Hz est supérieure de 12 dB à celle du 7 kHz.

Les résistances R7 de 7,5 kΩ et R8 de 30 kΩ fixent ce rapport à quatre.

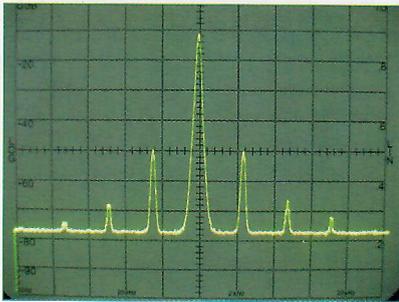
Le circuit imprimé

Les plans et vue sont présentés en figures 24, 25 et photo C (cf. page précédente).

Utilisation du module de mesure de la DIM (SMPTE)

Tout d'abord, nous sommes confrontés au même problème de niveau de « pilotage » que pour la mesure ITU. S'assurer que l'amplificateur fonctionne bien dans sa partie linéaire. L'analyseur de spectre est réglé pour afficher la fréquence fondamentale à 7 kHz.

La référence (0 dB) de l'analyseur est ajustée pour que le signal à 7 kHz se place à - 12 dB. Ce faisant, nous plaçons la porteuse à 60 Hz (non visible) au niveau 0 dB. L'excursion de fréquence (*Frequency Span*) est programmée à 50 Hz par division. Le diagramme sera similaire à la figure 26. L'analyseur spectral est un outil assez onéreux pour le particulier.



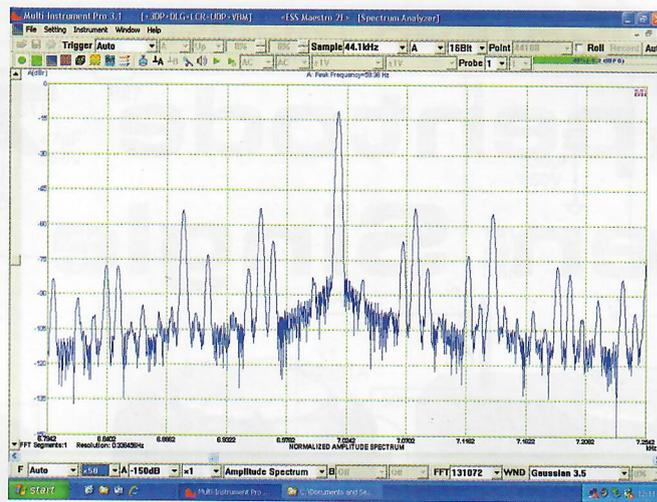
26

Il y a possibilité d'utiliser un ordinateur équipé d'une bonne carte « son », associée à un logiciel utilisant l'analyse par transformée de Fourier (FFT- *Fast Fourier Transfer*).

La carte « son » doit être équipée d'une entrée « ligne » à haut niveau et le signal de sortie de l'amplificateur atténué jusqu'à une valeur du volt afin de ne pas saturer ladite carte.

Les cartes équipées de la seule entrée « micro » ne conviennent pas. Nous avons testé deux logiciels qui nous ont donné satisfaction : le Right Mark Audio Analyser 6.2.3 et le Multi-Instrument 3.1 de Virtins. Tous deux sont disponibles sur Internet par téléchargement. Le second s'est avéré le plus performant (figure 27).

Les caractéristiques techniques vous sont données en figure 28.



Conclusion

Avec un peu de pratique, la mesure de la DHT ou de la DIM ne prend que quelques instants. Certains amplificateurs « push-pull » permettent le réglage de la symétrie au niveau du déphaseur, c'est chose aisée à l'aide du module DHT.

L'assemblage des cartes ne présente pas de difficulté. Ces cartes sont directement opérationnelles.

Bien que ces modules ne remplacent pas un distorsiomètre de bonne facture, elles permettent néanmoins à coût réduit de caractériser rapidement

le comportement d'un amplificateur. Une remarque encore, pour toutes les mesures de distorsion et de puissance sur les amplificateurs qui fonctionnent en classe AB2 ou B, la mesure ne doit pas s'éterniser sous peine de faire surchauffer l'étage de sortie !

J-L VANDERSLEYEN

Pour les données de fabrication, de la carte imprimée, quelque problème d'approvisionnement ou tout autre question, n'hésitez pas à contacter l'auteur à l'adresse jl.vandersleyen@skynet.be ou via son site www.novotone.com

NOUVEAU

SERVICE CIRCUITS IMPRIMÉS

Support verre époxy FR4 16/10 - cuivre 35 µm
Circuits étamés à chaud et prépercés à Ø 0,8 mm

HORS-SÉRIE AUDIO N°5	Qté	Prix unitaire	Total
Mesure de la distorsion - distorsion harmonique (5-1) - distorsion intermodulation (5-2)		18,50 € 18,50 €	
Amplificateur à pentodes 7591A - carte stéréo (5-3)		19,00 €	
Filtre actif - filtre 2 voies (5-4) - alimentation (5-5)		14,50 € 21,25 €	
Préamplificateur à triodes 6SN7/6SL7 - alimentation (5-6) - préamplificateur « RIAA » (5-7) - préamplificateur « haut niveau » (5-8)		29,00 € 21,25 € 12,00 €	

Total commande

Frais de port et emballage France

Frais de port et emballage Union européenne + Suisse

+ 2,50 €

+ 4,50 €

Total à payer

M. M^{me} M^{lle}

Nom

Prénom

Adresse

Code postal

Ville

Pays

Tél ou e-mail

Je choisis mon mode de paiement :

Chèque à l'ordre d'Électronique Pratique.

Le paiement par chèque est réservé à la France et aux DOM-TOM

Virement bancaire à Transocéanic

IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445 • BIC : CCFRFRPP

Bon à retourner

accompagné de votre règlement à :
ELECTRONIQUE PRATIQUE

3, boulevard Ney 75018 Paris - France

AMPLIFICATEUR MONOTUBE ÉCONOMIQUE

La pentode 7591A en Single end



Fonctionnant en classe A et développant une puissance de 2 x 6 Weff, cet amplificateur met en œuvre un système hybride composé d'un étage pilote à FET et une pentode 7591A montée en Single End. Dès le départ, nous nous sommes fixé pour objectif de fabriquer un amplificateur qui, bien que d'un coût inférieur à 200 €, conserve une puissance acceptable et des caractéristiques de musicalité propres aux tubes.

La pentode 7591A, lancée assez tardivement (1959) sur le marché, fut abondamment utilisée par les grandes marques américaines de la haute fidélité : Fisher, Scott, Ampeg, Sherwood, Marantz, McIntosh, Eico... Elle développe des caractéristiques intéressantes, en particulier une consommation filament de 800 mA, une pente de 10 mA/V et une dissipation anodique de 19 W. Son comportement est similaire à celui de la EL84. Cette pentode est disponible en nouvelle fabrication chez Electro Harmonix et JJ Electronic (figure 1 et photo A).

Le schéma

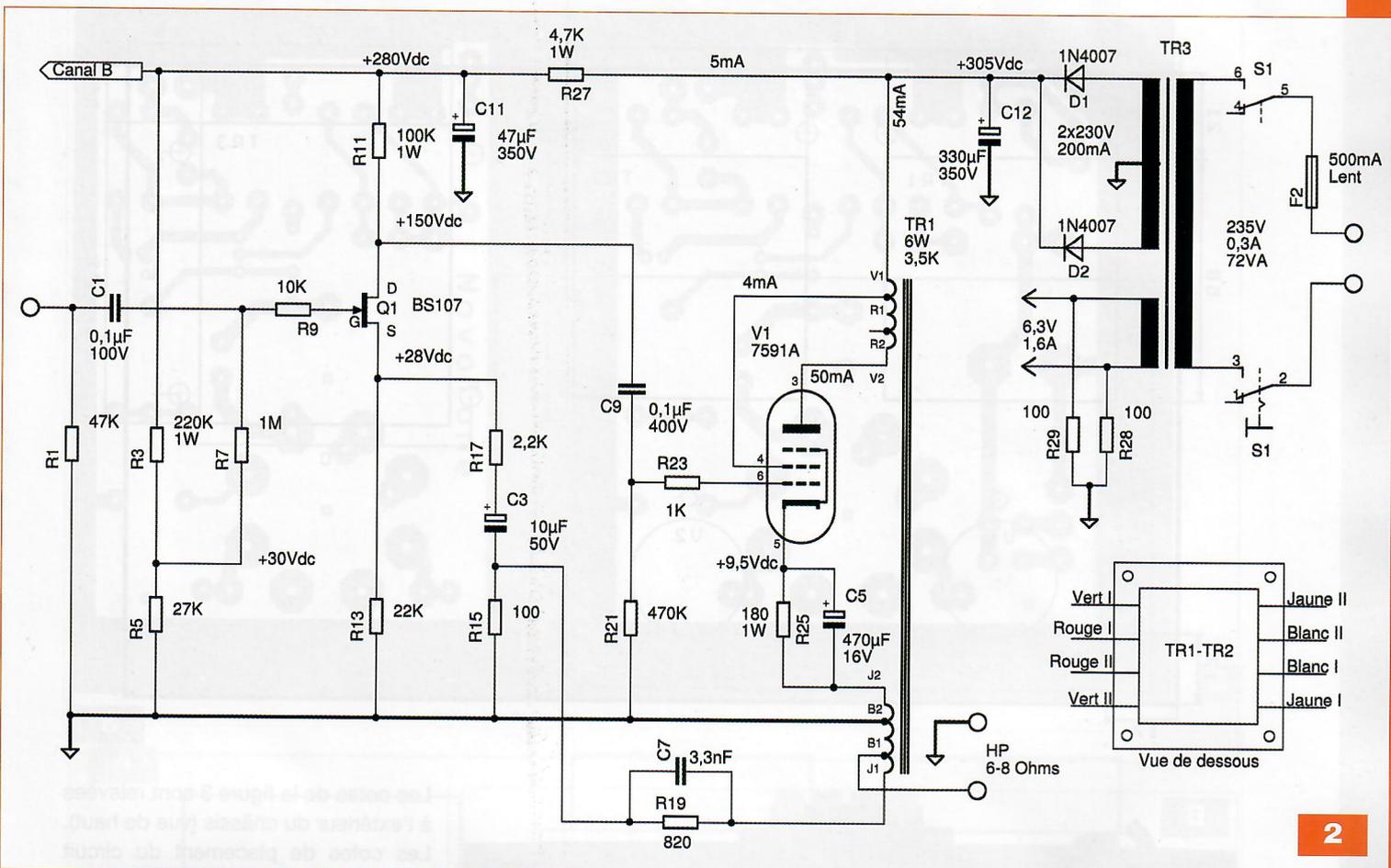
Le circuit d'entrée

Bien qu'équipé d'un transistor à effet de champ, nous avons repris la configuration classique utilisée pour un circuit à tubes : un étage amplifica-

teur doté d'un gain de 30 dB environ. Le transistor à effet de champ BS107 supporte une tension V_{DS} de 200 V et se polarise avec un V_{GS} de -2 V pour un courant de quelques milliampères. Il présente une pente de 60 mA/V aux faibles courants.

Le transistor Q1 monté en source commune est polarisé à $+30$ Vdc, ce qui, avec $R13 = 22$ k Ω , fixe le courant à 1,2 mA (figure 2). La tension du drain chargée par $R11 = 100$ k Ω s'établit alors vers $+150$ Vdc. Câblé en source commune, le gain s'élève à plus de 600. C'est pourquoi il faut le réduire en introduisant une résistance entre la source et la masse. Avec une valeur de 2,2 k Ω en $R17$, le gain sans la contre-réaction globale s'établit à 32 dB.

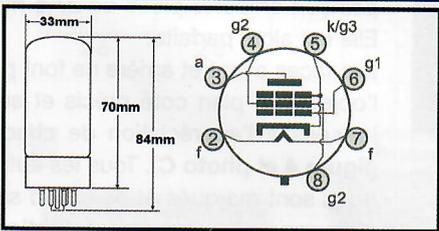
Avec une tension d'alimentation de $+280$ Vdc, le signal maximal de « commande » mesuré est de 160 Vpp ! La cellule de compensation a été



2

7591A

Filament	6,3 V / 0,8 A
V _a max	550 V
V _{g2} max	440 V
I _k max	85 mA
W _a max	19 W
W _{g2} max	3,3 W
μ	10,2 mA/V
R _i	29 KΩ



1



La tension V_k s'établit à +9,5 Vdc. L'anode est chargée par une impédance de 3,5 kΩ. Le courant de cathode s'établit à 54 mA, soit 50mA par l'anode et 4 mA par G2. Les dissipations sont de 14,5 W pour l'anode et 1,2 W pour G2. Cet amplificateur, comme tous les «Single end», fonctionne en classe A. À noter également que l'écrêtage se produit de manière assez douce. Du fait de la contre-réaction de 15 dB, l'impédance de sortie s'établit à 1 Ω, ce qui porte le facteur d'amortissement à 8. Ce facteur nous permet de piloter sans perte de puissance une charge de 6 Ω, valeur souvent utilisée pour les enceintes modernes. Le transformateur de sortie affiche une puissance nominale de 6 W. Cet un ancien « design » de Telefunken est fabriqué en Allemagne et porte la référence ATRA0238.

Le circuit d'alimentation

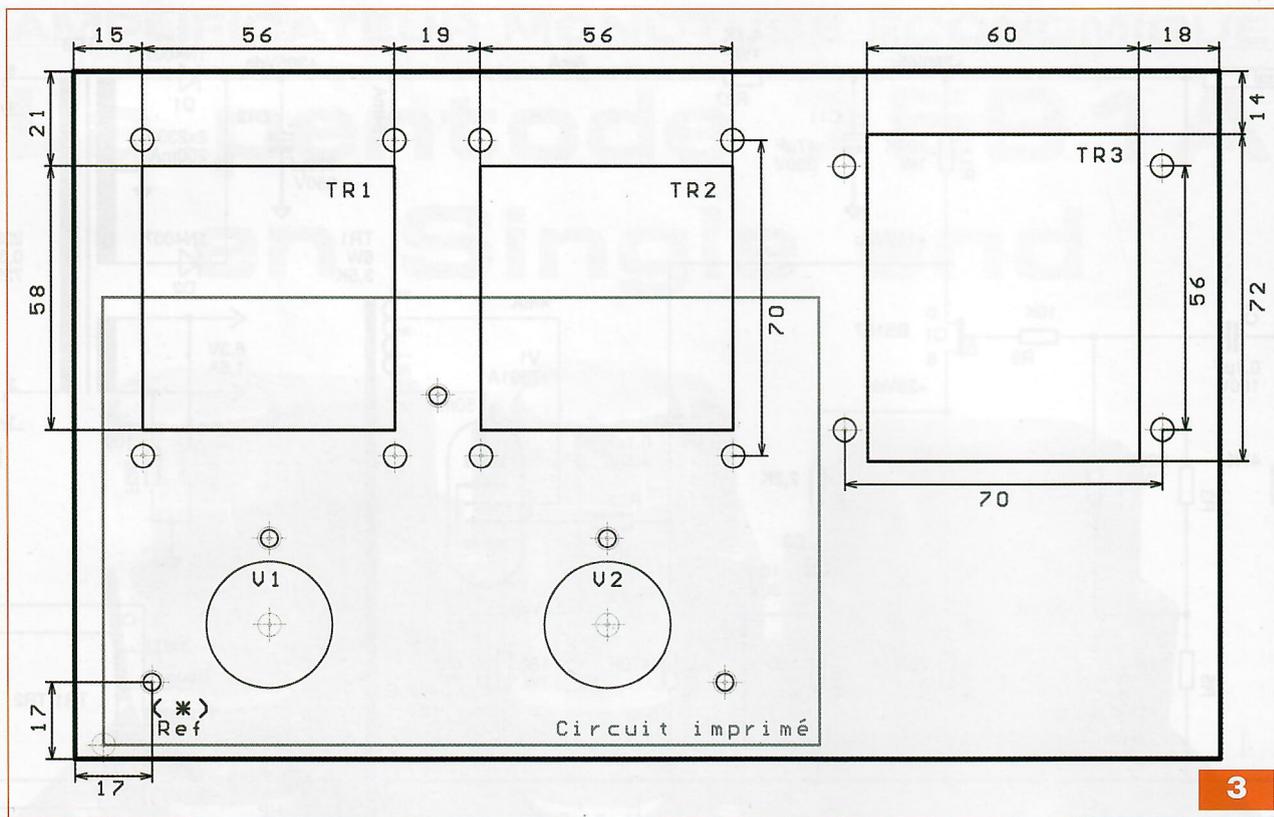
D'une puissance de 72 VA, le transformateur d'alimentation du même fournisseur porte la référence TRA0201. Un enroulement de 460 Vac à point

supprimée puisque les capacités parasites intrinsèques du BS107 sont déjà de l'ordre de 30 pF. Ce qui, avec la résistance de charge de 100 kΩ, limite la bande passante à 50 kHz.

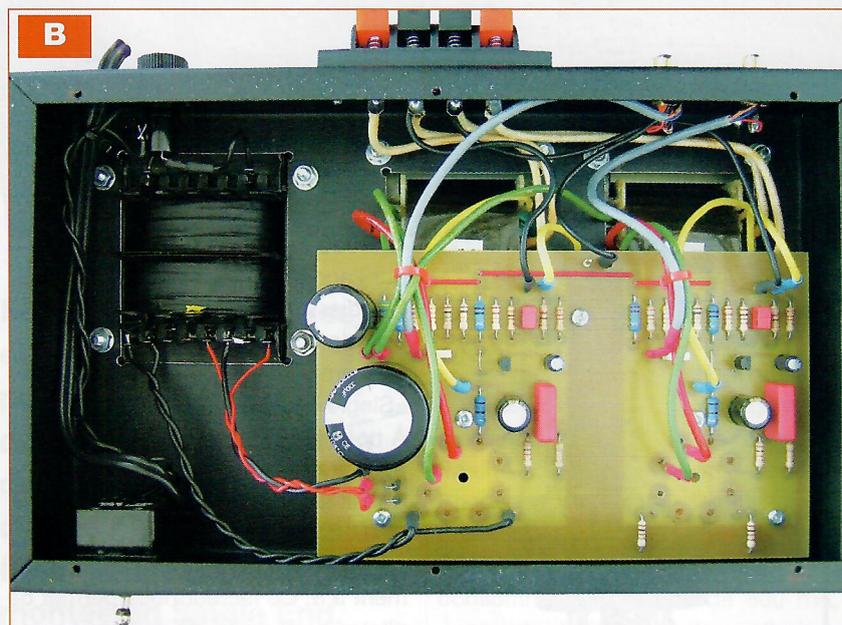
Le single-end

Nous avons profité des nombreuses prises proposées par le transformateur de sortie : la grille « écran » est

alimentée via une prise du primaire. Ce n'est pas, à proprement parler, un fonctionnement en ultra-linéaire car la prise est située à 10 % du primaire. Les quatre liaisons du secondaire sont utilisées pour introduire deux contre-réactions : la première faible de 2 dB au niveau de la cathode, l'autre classique de 13 dB vers l'étage d'entrée.



3



milieu fournit, après redressement, la haute tension de 305 Vdc. Le filtrage est réalisé par la seule capacité de 330 μ F/350 V. L'ondulation de la HT est de 2 Vpp sur C12 et de 20 mVpp sur C11. Un secondaire de 6,3 Vac fournit le courant de chauffage des filaments. La haute tension suit les aléas de la tension secteur. Les filaments sont maintenus au potentiel de masse par les résistances R28 et R29 de 100 Ω .

Mise en œuvre

Le châssis

L'assemblage est réalisé sur un châssis Hammond de 254 x 152 x 51 mm. Il est plus facile de réaliser, en premier lieu, la partie mécanique en se servant de la carte non montée et des divers éléments.

La **figure 3** et la **photo B** présentent l'agencement général et les diverses cotes d'usinage.

Les cotes de la figure 3 sont relevées à l'extérieur du châssis (vue de haut). Les cotes de placement du circuit imprimé doivent être marquées et percées avec précision.

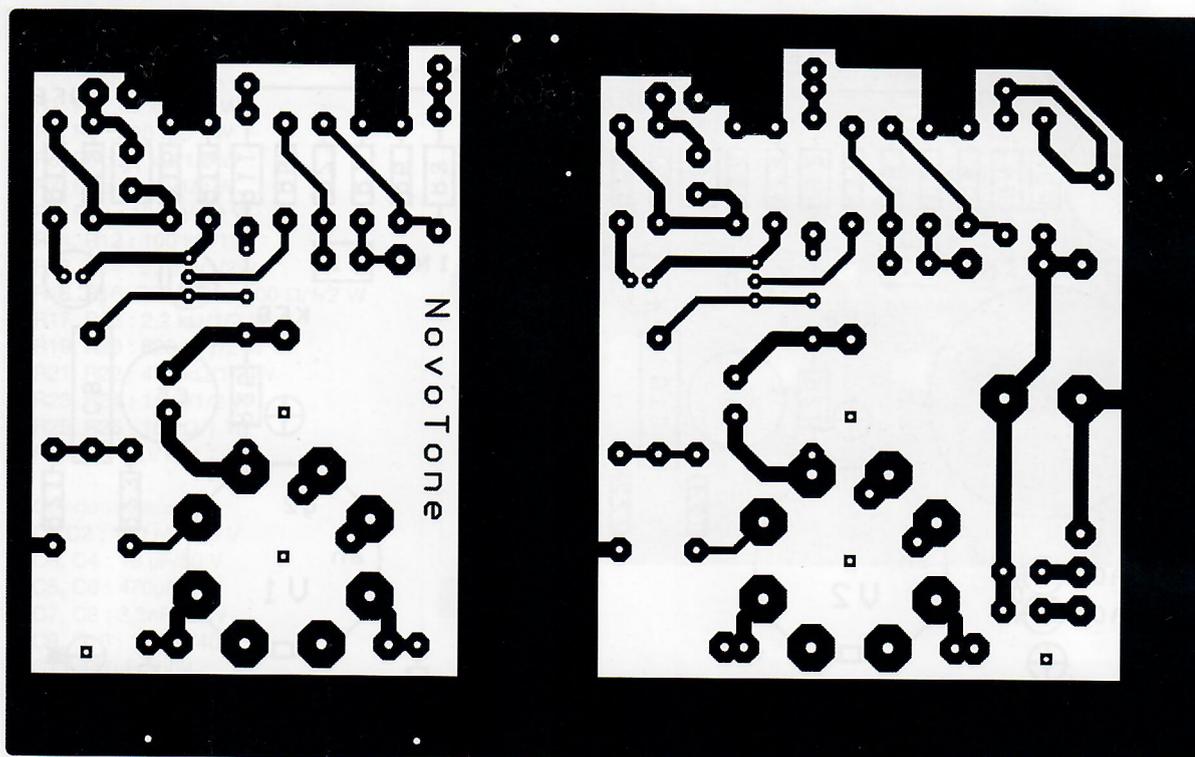
À cet effet, **commencer par percer le trou marqué d'un astérisque**.

Y fixer la carte, à l'extérieur et cuivre apparent, bien orthogonalement et percer un deuxième trou afin de la fixer. Les autres trous sont percés en utilisant la carte comme guide.

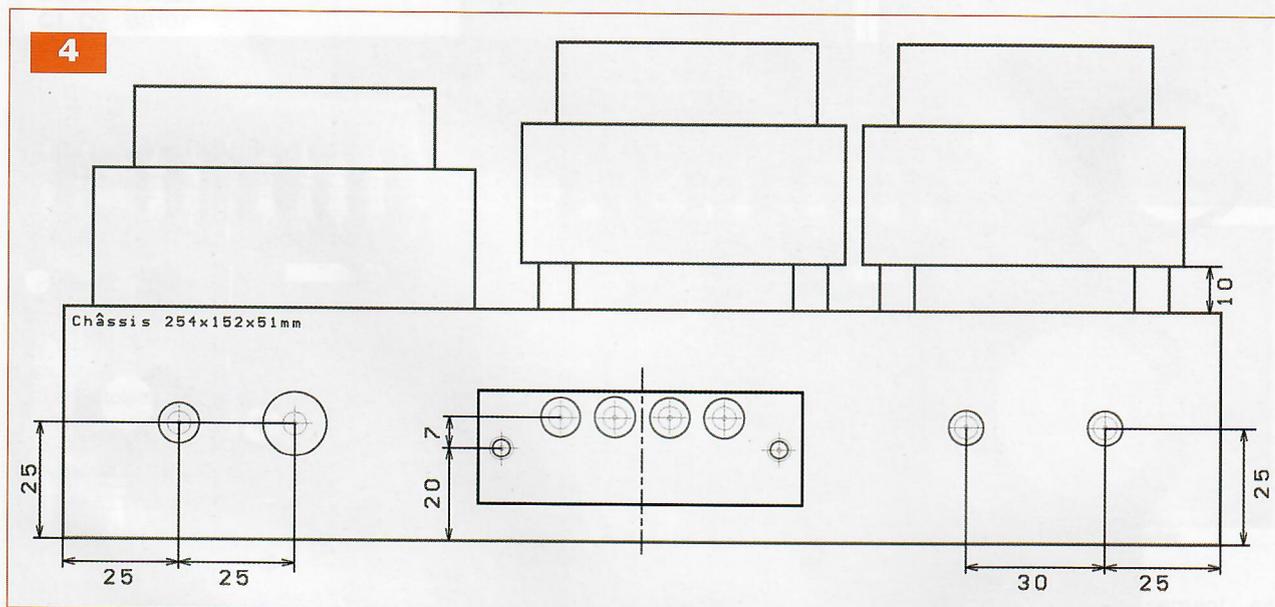
Pour la découpe des culots des tubes, il est préférable d'utiliser un poinçon emporte-pièce de 27,5 mm. Elle est alors parfaite.

Les faces avant et arrière ne font pas l'objet d'un plan coté précis et sont laissées à l'appréciation de chacun (**figure 4** et **photo C**). Tous les autres trous sont marqués et percés *in situ*.

À l'inverse de nos autres réalisations, le placement des trois transformateurs nécessite la découpe du châssis. À noter que les transformateurs sont livrés non peints et sans capot protecteur EI84. Leur prix modique sera compensé par un peu d'huile de coude... Après nous être assurés que tous les ensembles trouvent leurs places, nous pouvons passer au montage des divers composants sur le circuit imprimé.



5



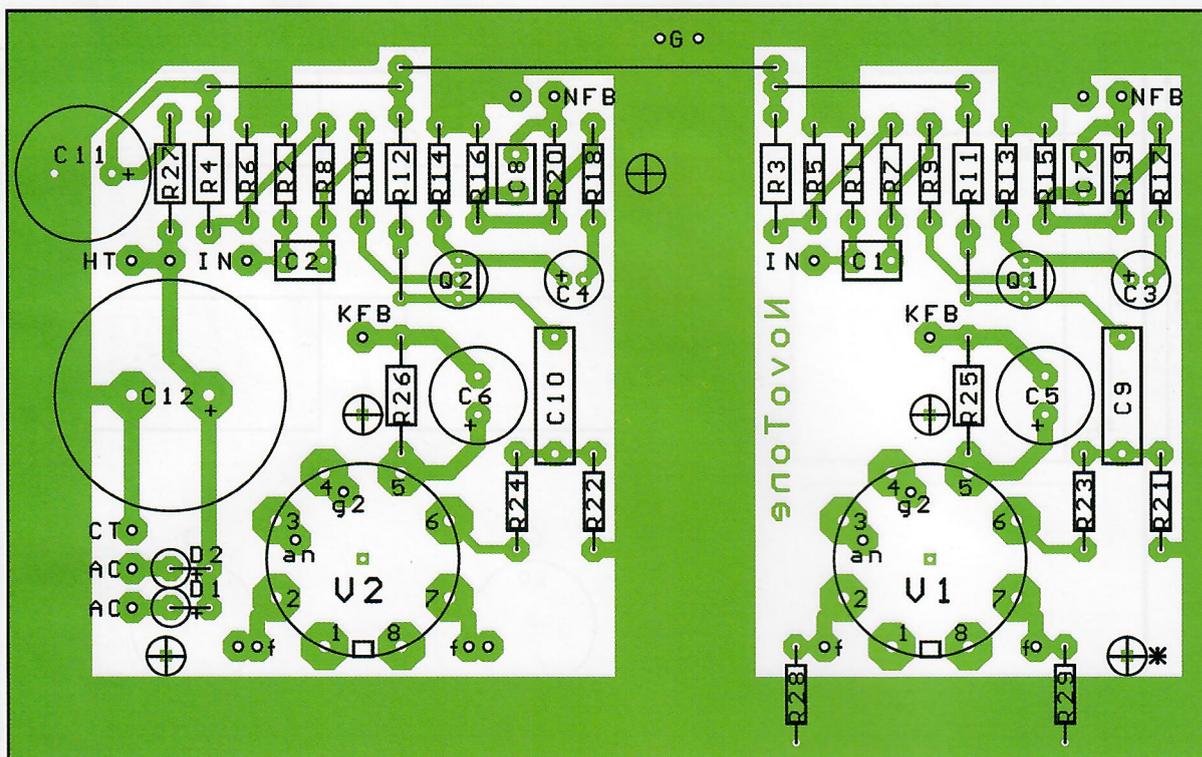
Le circuit imprimé

Le circuit imprimé mesure exactement 99 x 159 mm (figure 5).

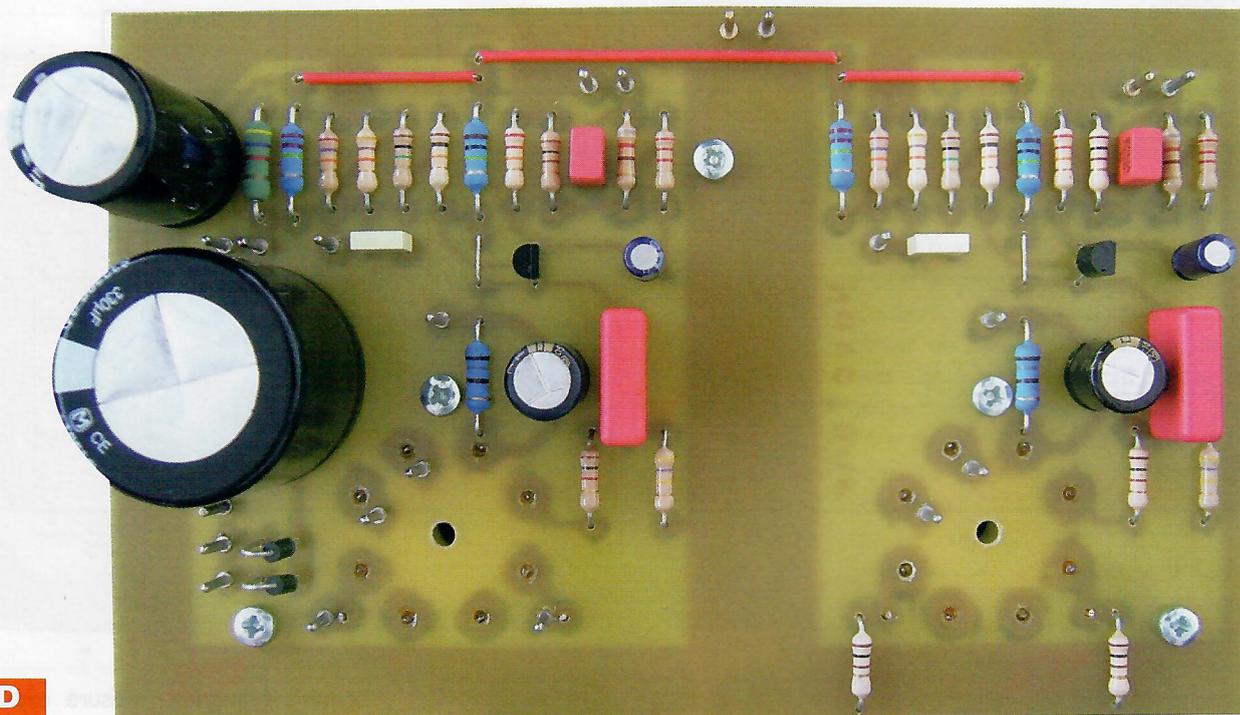
Les vingt et un picots de 1,3 mm sont insérés et soudés en premier lieu, suivent les cinq pontages (figure 6).

Ensuite, souder les deux supports des tubes. Ces supports sont soudés coté « cuivre » et les broches ne doivent pas dépasser côté « composants ».

Ce faisant, l'épaulement du support sera à 15 mm exactement de la surface de la carte et le maintien par les



6



D

cinq entretoises de 15 mm positionnera ceux-ci à la bonne hauteur. Souder ensuite les composants par ordre de hauteur croissante en terminant par l'électrolytique C12 (photo D). La liaison des filaments entre les deux tubes est réalisée côté « cuivre ».

Il est préférable de tester la carte en dehors du châssis. Ce premier test se fait sans les tubes. Vérifier les valeurs

des tensions aux électrodes des deux transistors. Un signal de 1 Vac injecté en entrée se traduit par une tension de 32 Vac (100 Vpp !) en broche (6) du culot octal.

Le montage final

Les premiers éléments à mettre en place sont les cinq entretoises M3/F-F de 15 mm nécessaires au main-

tien du circuit imprimé. Ensuite, fixer les transformateurs de sorties sur quatre entretoises de 10 mm à l'aide de vis M4 de 50 mm et le transformateur d'alimentation directement contre le châssis par des vis M4 de 40 mm (photo C).

Suivent les divers éléments des faces avant et arrière et, enfin, le placement de la carte.

Nomenclature

Résistances $\pm 5\%$

R1, R2 : 47 k Ω /1/2 W
 R3, R4 : 220 k Ω /1 W
 R5, R6 : 27 k Ω /1/2 W
 R7, R8 : 1 M Ω /1/2 W
 R9, R10 : 10 k Ω /1/2 W
 R11, R12 : 100 k Ω /1W
 R13, R14 : 22 k Ω /1/2W
 R15, R16, R28, R29 : 100 Ω /1/2 W
 R17, R18 : 2,2 k Ω /1/2 W
 R19, R20 : 820 Ω /1/2 W
 R21, R22 : 470 k Ω /1/2 W
 R23, R24 : 1 k Ω /1/2 W
 R25, R26 : 180 Ω /1 W
 R27 : 4,7 k Ω /1 W

Condensateurs

C1, C2 : 100 nF/100 V
 C3, C4 : 10 μ F/50 V
 C5, C6 : 470 μ F/16V
 C7, C8 : 3,3nF/100V
 C9, C10 : 100nF/400V
 C11 : 47 μ F/350V
 C12 : 330 μ F/350V

Semiconducteurs

D1, D2 : 1N4007
 Q1, Q2 : BS107

Divers

Tranfo alimentation Wüsten TRA0201
 2 transfos audio Wüsten ATRA0238
 3 capots de protection EI84 (optionnel)
 Pentodes 7591A (V1, V2)
 Fusible 500 mA/lent
 Châssis 254 x 152 x 51 mm, Hammond
 1441-16BK3
 Grille 254 x 152 mm
 4 pieds 10 mm
 2 supports tubes « octal » céramique
 pour CI
 5 entretoises 15 mm F-F/ M3 métal
 8 entretoises 10 mm - \varnothing 4 mm
 Porte fusible châssis F1 (20 mm)
 Interrupteur DPDT (S1)
 2 socles RCA/châssis
 Bornier HP Stéréo
 Cordon secteur
 21 picots 1,3 mm
 21 cosses 1,3 mm

Mise sous tension

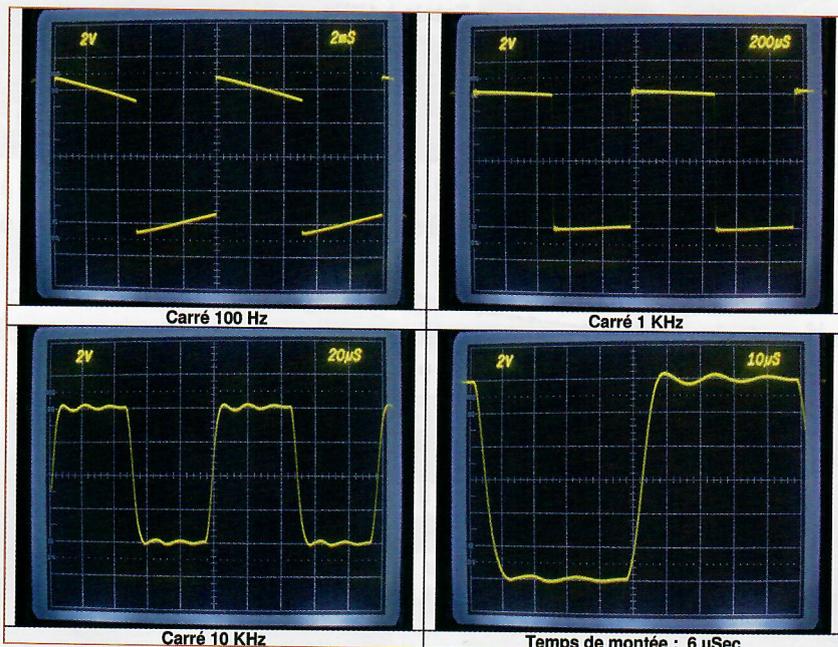
Après l'insertion des tubes et le raccordement des fils des transformateurs de sorties, vérifier (plusieurs fois) la pertinence du câblage. C'est le moment de mettre l'amplificateur sous tension.

Si vous avez des doutes, il est toujours possible d'utiliser un auto-transformateur variable ou de placer une ampoule de 100 W en série avec le primaire, le temps de constater que tout se comporte normalement.



E

7



À la mise en service, surveiller la tension aux anodes et cathodes des 7591A. La tension d'anode doit progresser jusqu'à +300 Vdc, celle aux cathodes s'établit à +9,5 Vdc.

Un signal de 1 Vac injecté en entrée produit une tension de 6 Vac en sortie « haut-parleur ».

Après s'être assuré que tout fonctionne, fixer la grille de fond (photo E).

Quelques mesures

Les mesures classiques sur notre prototype vous sont présentées aux figures 7 à 11.

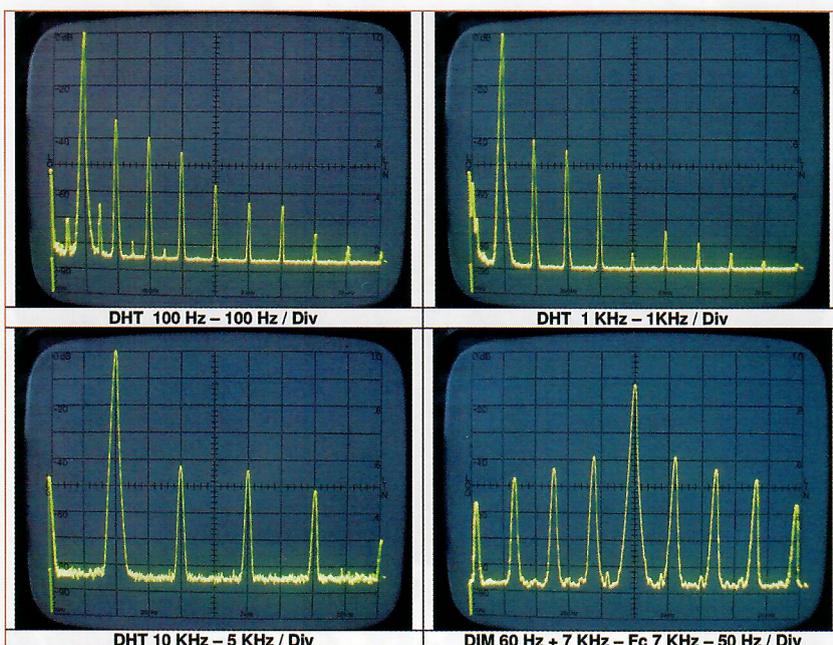
La réponse aux signaux carrés est

excellente. Le dépassement est inexistant et le temps de montée avoisine 6 μ s. La fréquence de coupure se situe vers 50 kHz à -3 dB. L'ajout d'une réactance composée d'une capacité de 1 μ F en série avec une résistance de 8 Ω laisse le signal imperturbable (figure 7).

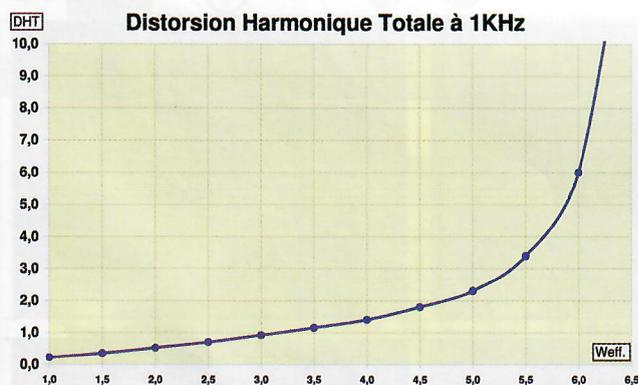
Le taux de distorsion à 1 dB de la puissance nominale s'élève à 2 %.

La représentation spectrale montre la prédominance de l'harmonique H2 à -40 dB et une décroissance progressive des harmoniques H3 à -46 dB et H4 à -52 dB.

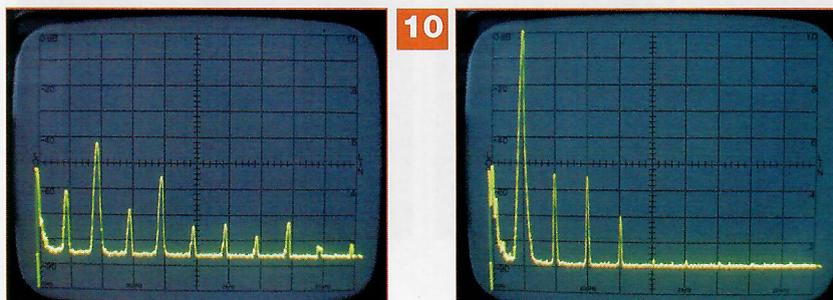
L'écrêtage commence vers 5 Weff, mais de manière assez douce.



8



9



11

Caractéristiques Techniques

Puissance nominale	2 x 6 Weff
DHT + Bruit à 4,8 Weff (-1 dB)	2%
DHT + Bruit à 1 Weff	< 0,3%
Distorsion d'intermodulation à 5 Weff	< 2%
Temps de montée	6 µSec
Sensibilité	1,1 Vac pour 6 W
Réponse en fréquence à -1 dB à 4,8W	40 Hz → 40 KHz
Diaphonie 100 Hz → 10 KHz	> 50 dB
Impédance de sortie	6-8 Ω
Impédance d'entrée	47 KΩ
Taux de contre-réaction (NFB)	14 dB
Impédance interne	1 Ω
Facteur d'amortissement (DF)	8
Bruit de fond (A-Weighted)	< 1mV
Rapport S/B (A-Weighted) à 1 W	> 70 dBA
Tubes: 2	7591A
Consommation	235 V - 300 mA - 72 VA
Dimensions	254x152x160 mm
Poids	6,0 Kg

12

La mesure de la distorsion d'intermodulation se fait en injectant deux signaux : l'un à 60 Hz et l'autre à 7 kHz, dans un rapport de 12 dB (4 à 1).

Les raies situées de part et d'autre de la porteuse à 7 kHz sont à 38 dB du signal pilote à 0 dBV (figure 8).

L'évolution de la DHT en fonction de la puissance est assez progressive (figure 9).

Le figure 10 montre les bruits et ronflements résiduels avec le niveau de référence placé à 0 dBV. A gauche du graphe, on distingue bien l'effet de l'alimentation non-stabilisée : le bruit décroissant de 0 à 20 Hz est celui des variations de la tension secteur.

L'ondulation à 50 Hz se trouve à -60 dB et celle à 100 Hz à -42 dB. Ceci nous donne un rapport signal/bruit supérieur à 52 dB-Lin ou 70 dB-A pour 1 W en sortie.

Le taux de distorsion à 1 Weff en sortie s'établit à 0,2% (figure 11).

Les caractéristiques techniques du prototype sont indiquées en figure 12.

Conclusion

D'un prix très modique, cette réalisation sera mise en œuvre sans aucune mauvaise surprise, tous les éléments étant disponibles. Elle se présente comme une « entrée en matière » simple pour une première réalisation d'amplificateur à tubes.

D'une puissance totale de 12 W, ce projet permet de sonoriser confortablement une pièce de 30 m².

Sa restitution musicale s'apparente à celle de l'EL84 : le message est bien détaillé, précis, voire brillant. La fréquence de coupure « basse » à 40 Hz ne se fait pas sentir, nous sommes en effet à la limite de la restitution des graves dans une pièce de séjour normale. De plus, aussi bien les haut-parleurs que les instruments de musique descendent rarement sous cette fréquence. Associé à des enceintes de bonne qualité, cet amplificateur restitue tous les genres avec une excellente musicalité.

J-L VANDERSLEYEN

Pour les données de fabrication, de la carte imprimée ou quelque problème d'approvisionnement, n'hésitez pas à contacter l'auteur à l'adresse jl.vandersleyen@skynet.be ou via son site www.novotone.com

E.S.O.

Le transfo qu'il vous faut !

Tous les transfos et selfs
parus dans les LED
et les Electronique Pratique
sont référencés chez E.S.O !

Electra Sud Ouest - MAGNETIC
ZAC de Gabardie - 19, rue Paule Raymond
31200 TOULOUSE
Tél. : 05.34.25.22.00 / Fax. : 05.34.25.22.01
Email : electrasudouest@wanadoo.fr
Site marchand : www.eso-transformateurs.com

Fabricant de transformateurs depuis près de 90 ans, toute l'équipe d'Electra Sud Ouest est à votre écoute pour l'étude et la réalisation de tous types de transformateurs **standard ou spécifiques**. (Transformateurs d'alimentation, transformateurs de sortie et selfs, ...)

Afin de satisfaire les demandes de nos clients audiophiles les plus exigeants, nos produits -grâce à un choix de **matières premières de qualité supérieure** et une étude sur mesure - vous permettrons d'obtenir **des sons d'une excellente qualité**.

CD-01
Led
Fichiers PDF - 145 pages

**TRIODES
TÉTRODES
PENTODES**

30 €

6L6 6550 845
2A3 845 7189/EL84
6V6 7189/EL84 300B

9 AMPLIFICATEURS
DE 9 Weff A 65 Weff

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

Des montages à la portée de tous
en suivant pas à pas nos explications

Je désire recevoir le CD-Rom (fichiers PDF) « Et si vous réalisiez votre ampli à tubes... »

France : 30 € Union européenne : 32 € Autres destinations : 33 € (frais de port compris)

Nom : _____ Prénom : _____

N° : _____ Rue : _____

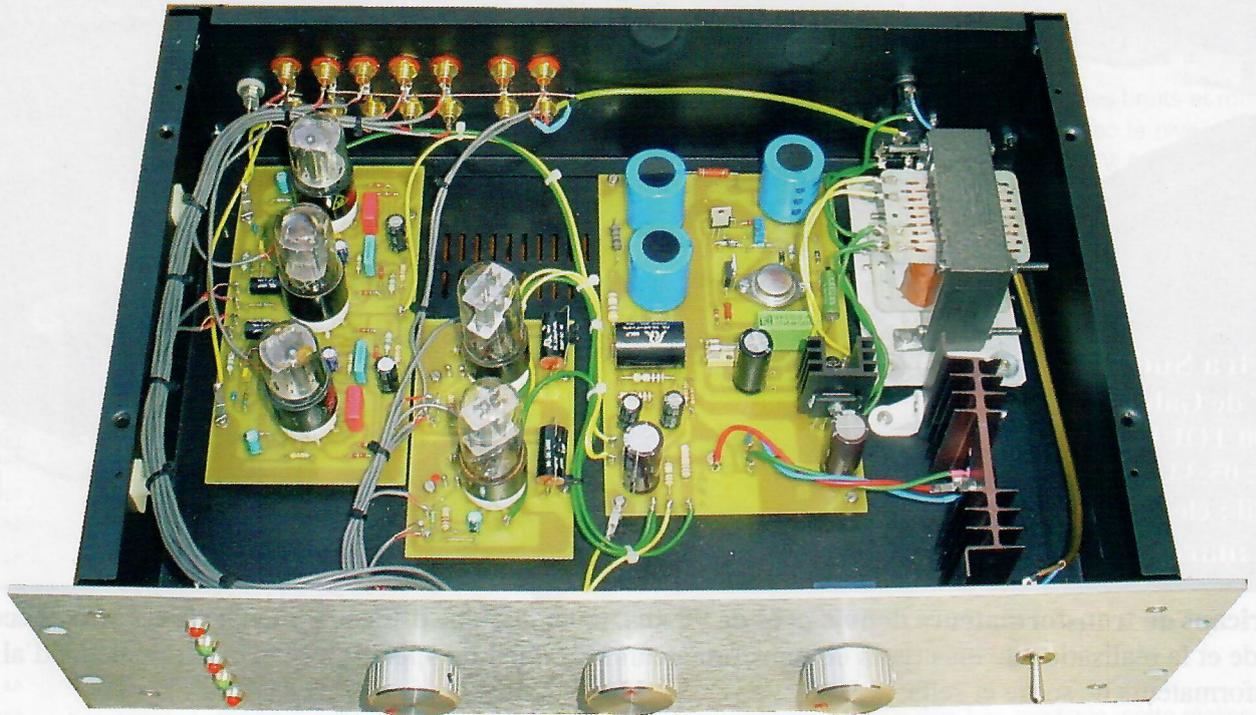
Code Postal : _____ Ville-Pays : _____

Tél. ou e-mail : _____

Je vous joins mon règlement par : chèque virement bancaire (IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445/BIC : CCFRFRPP)

A retourner accompagné de votre règlement à : TRANSOCÉANIC 3, boulevard Ney 75018 Paris Tél. : 01 44 65 80 80

Préamplificateur à triodes 6SN7/6SL7 avec étage RIAA pour disques vinyles



L'appareil proposé est de conception simple pour ne pas dénaturer le son. Il dispose d'un sélecteur de sources à cinq entrées (à contacts dorés), d'un correcteur RIAA pour les disques vinyles 33 et 45 tours, d'une commande de « balance » intéressante pour équilibrer les deux canaux et, enfin, d'un potentiomètre de volume.

Ce préamplificateur est très musical. Ses performances rivalisent avec celles d'appareils de grandes marques du commerce dont les coûts laissent rêveurs.

L'appareil se compose de trois cartes :

- Une carte « alimentation »

Celle-ci supporte deux étages : l'un destiné à la haute tension stabilisée; l'autre, également régulé, est utilisé pour la tension de chauffage des tubes.

- Une carte « préamplification » avec correction RIAA

Utilisée pour les disques vinyles, elle utilise des doubles triodes 6SL7.

- Une carte « SRPP »

Celle-ci va amplifier les signaux provenant des diverses sources linéaires : tuner, magnétophone, CD, etc. Elle est équipée de doubles triodes 6SN7. Le gain est de l'ordre de 17.

Ce qui nous intéresse dans ce tube c'est sa faible résistance interne qui permet de disposer des signaux stéréophoniques à basse impédance en sorties de l'appareil.

Les tubes utilisés

Au nombre de cinq, ils sont d'une utilisation fort courante dans le domaine de l'audio. Trois triodes 6SL7 se chargent d'amplifier les faibles signaux fournis par une cellule à aimant mobile d'une table de lecture (disques vinyles), tout en effectuant une correction dans la réponse en fréquence suivant le standard RIAA. Ces tubes sont utilisés pour leur gain élevé, de l'ordre de 70.

Les deux derniers tubes, des 6SN7 montés en configuration SRPP, ont un gain de 20 et procurent l'énorme

	6SL7	6SN7
Pa max	1 W	5 W
Ua	250 V	250 V
Ug	- 2 V	- 8 V
Ia	2,3 mA	9 mA
Gm	1,6 mA/V	2,6 mA/V
Gain	70	20
ρ	44 k Ω	7,7 k Ω
Tension de chauffage	6,3 V	6,3 V
I chauffage	0,3 A	0,6 A

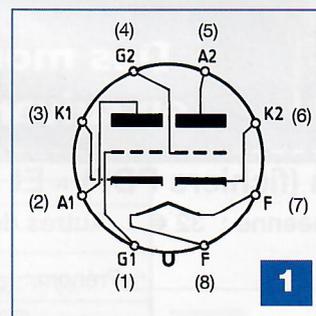
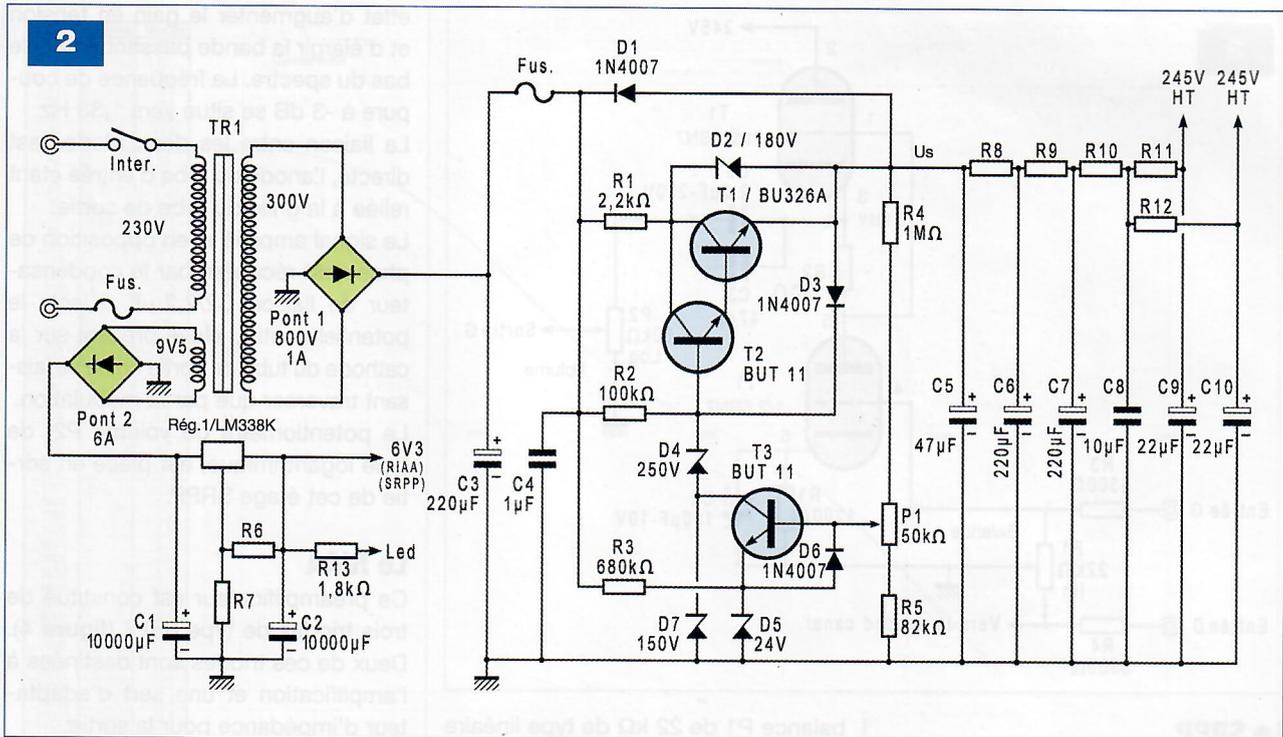


Tableau A

2



avantage de pouvoir disposer de la modulation à basse impédance.

Principales caractéristiques et brochage

Le **tableau A** permet de comparer les principales caractéristiques de chacune des triodes. Nous constatons que gains et résistances internes sont totalement différents. Le brochage de cette série Octal/8 broches vous est communiqué en **figure 1**.

Les circuits

L'alimentation haute tension

La haute tension de 300 V, issue du secondaire du transformateur, est connectée à un pont de diodes (**figure 2**). En sortie de pont, un condensateur de 220 µF/450 V filtre la tension redressée. On obtient ainsi une tension continue ou presque, la résiduelle alternative étant de faible amplitude.

Un fusible de 100 mA/T protège l'ensemble de la réalisation contre nos maladresses diverses et variées (« bricoleurs » que nous sommes !). Il est préférable de détruire un fusible qu'une série de diodes au hasard du passage d'un tournevis dont la lame est tout naturellement trop longue... La résistance R1 de 2,2 kΩ limite le courant et protège l'alimentation en

cas de surconsommation (par exemple, un court-circuit). Les transistors T1 et T2 sont montés en Darlington de façon à obtenir un gain en courant (β) important.

La diode zéner D2 de 180 V protège la jonction collecteur/émetteur de T1. La base du Darlington T1/T2 est portée à un potentiel stable, déterminé par les valeurs des zéners D4 et D7 reliées en série. Elles sont polarisées par la résistance R2 à partir de la haute tension.

Le transistor T3 est protégé et polarisé par les zéners D7 et D5, cette dernière étant alimentée par la résistance R3. Sa base est connectée au curseur d'un potentiomètre P1 de 50 kΩ dont les extrémités sont reliées, d'une part à la haute tension par la résistance R4 de 1 MΩ et, d'autre part, à la masse par la résistance R5 de 82 kΩ. On obtient ainsi un diviseur de tension.

En sortie de régulation, on retrouve un filtrage classique effectué par le condensateur C5 de 47 µF/450 V. Suivent trois cellules RC composées de R8/C6, R9/C7 et R10/C8.

Après ces cellules qui lissent parfaitement la tension continue stabilisée, nous retrouvons en complément deux autres cellules, R11/C9 et R12/C10, en sorties desquelles nous prélevons deux tensions de +245 V.

L'une de ces tensions est réservée à la platine « préampli bas niveau RIAA », l'autre à la platine « préampli haut niveau SRPP ».

Compte tenu de la faible consommation du préamplificateur, les transistors n'ont nul besoin d'être « coiffés » par un dissipateur thermique.

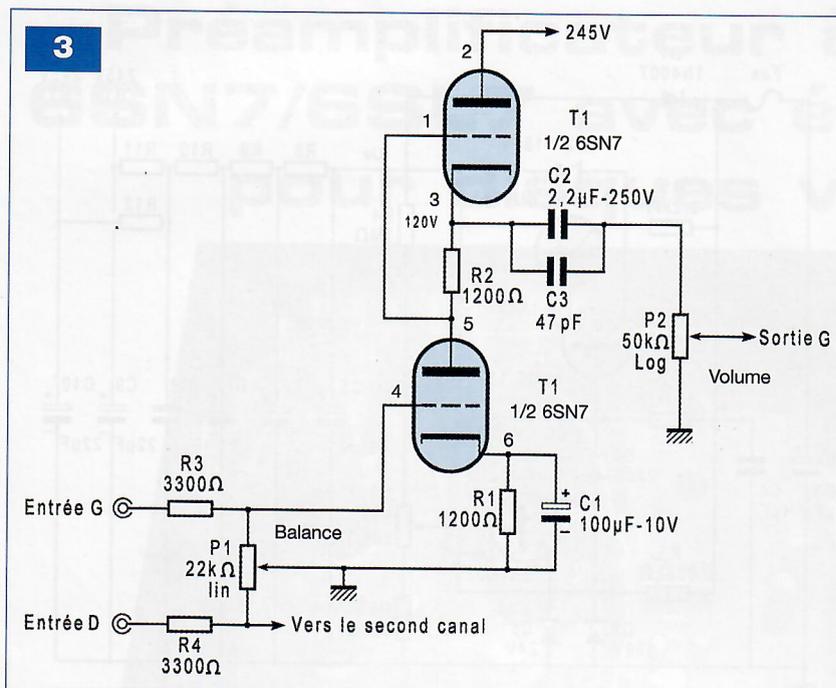
Il est évident que la tension de sortie U_s est ajustable avec le potentiomètre P1. Pour une plus grande souplesse de réglage, celui-ci peut être un modèle « multitours ». Il convient d'agir assez lentement pour tenir compte de la capacité des condensateurs.

Le chauffage « filaments »

La basse tension alternative en sortie du transformateur est de 9,5 V. Elle est connectée à un pont de diodes de 6A qu'il est indispensable de refroidir avec un dissipateur.

Le condensateur C1 de 10 000 µF/16 V permet d'obtenir un bon filtrage avant d'appliquer une tension continue de l'ordre de 13,5 V (à vide) à l'entrée du régulateur LM338K, refroidi lui aussi par un dissipateur thermique.

Enfin, le condensateur C2 lisse une dernière fois la tension avant de l'appliquer aux modules préamplificateurs, l'étage RIAA étant le plus sensible au bruit de par son gain en tension élevé.



Le SRPP

Cet étage est réduit à sa plus simple expression (figure 3), difficile de faire plus simple. Il utilise une double triode 6SN7 et, comme il se doit, l'anode de la triode d'entrée est reliée à la cathode de la triode de sortie par une résistance R2 de 1,2 kΩ. Les deux cathodes étant chargées par des résistances de même valeur ohmique, le potentiel de la cathode supérieure est porté à U/2, soit environ 120 V.

La grille du tube d'entrée est chargée par la moitié du potentiomètre de

balance P1 de 22 kΩ de type linéaire (quand les canaux D et G sont équilibrés). Son curseur permet de doser l'amplitude du signal provenant, soit d'une source « haut niveau », soit de la sortie du préamplificateur RIAA.

En fonction de la position du curseur de P1, les ponts diviseurs réalisés avec R3 et R4 permettent d'appliquer un signal plus ou moins atténué à la grille des triodes de chaque canal.

La résistance de cathode R1 de la triode d'entrée est découplée par un condensateur électrochimique de forte valeur, C1/100 μF. Ceci a pour

effet d'augmenter le gain en tension et d'élargir la bande passante dans le bas du spectre. La fréquence de coupure à -3 dB se situe vers 1,33 Hz.

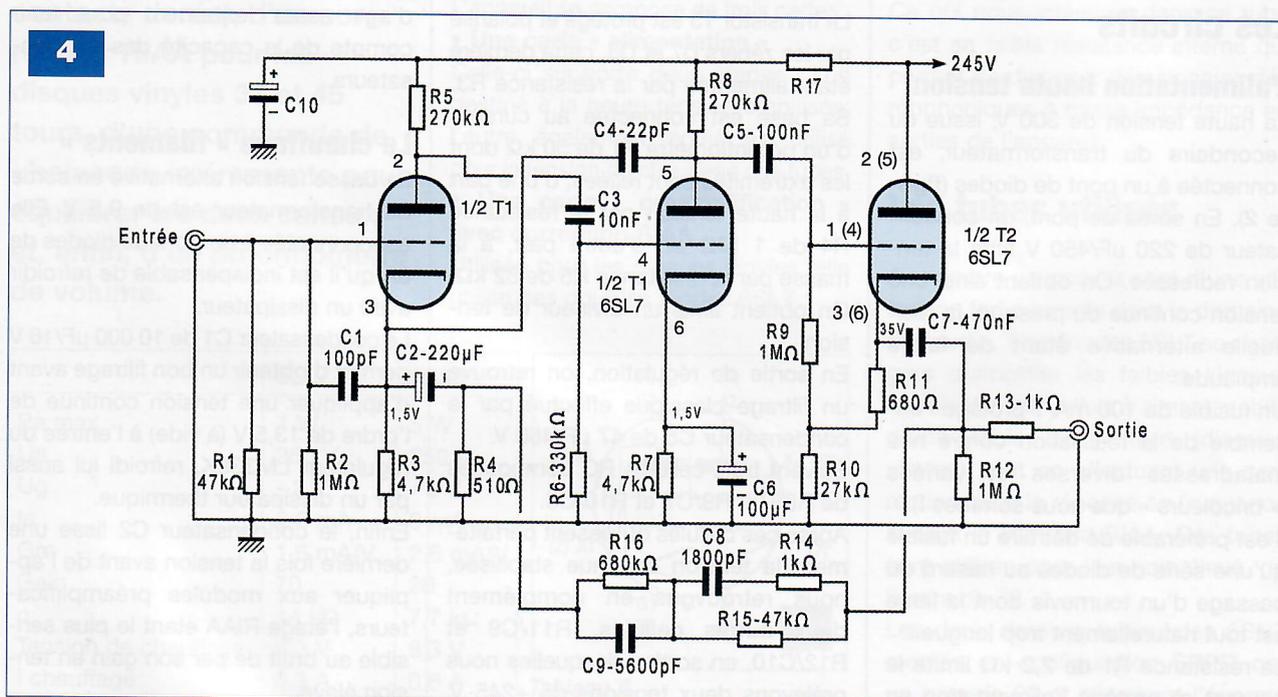
La liaison entre les deux triodes est directe, l'anode du tube d'entrée étant reliée à la grille du tube de sortie. Le signal amplifié et en opposition de phase est récupéré par le condensateur de liaison C2/2,2 μF. Il isole le potentiel continu élevé présent sur la cathode du tube de sortie en ne se laissant traverser que par la modulation. Le potentiomètre de volume P2, de type logarithmique, est placé en sortie de cet étage SRPP.

Le RIAA

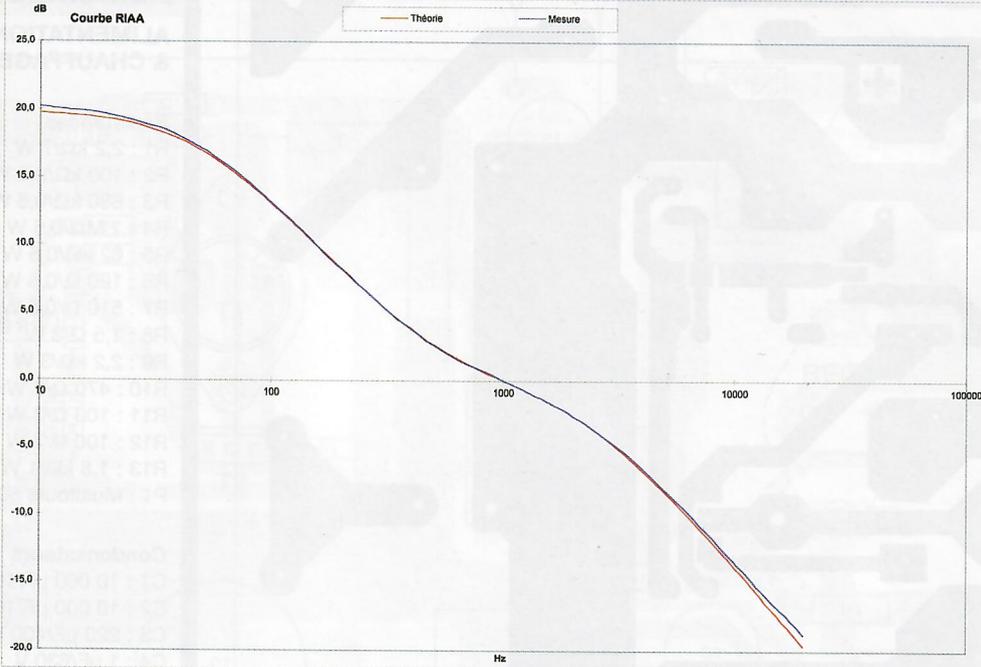
Ce préamplificateur est constitué de trois triodes de type 6SL7 (figure 4). Deux de ces triodes sont destinées à l'amplification et une sert d'adaptateur d'impédance pour la sortie.

La première triode amplifie un signal de très faible amplitude (quelques millivolts). Ce signal est à nouveau amplifié par la triode suivante, le gain en tension devant être très important. Monté en cathode follower, suit un étage adaptateur d'impédance, en sortie duquel va être récupéré le signal à basse impédance. Il sera également, au travers du correcteur RIAA, réinjecté au pied de la cathode du tube d'entrée.

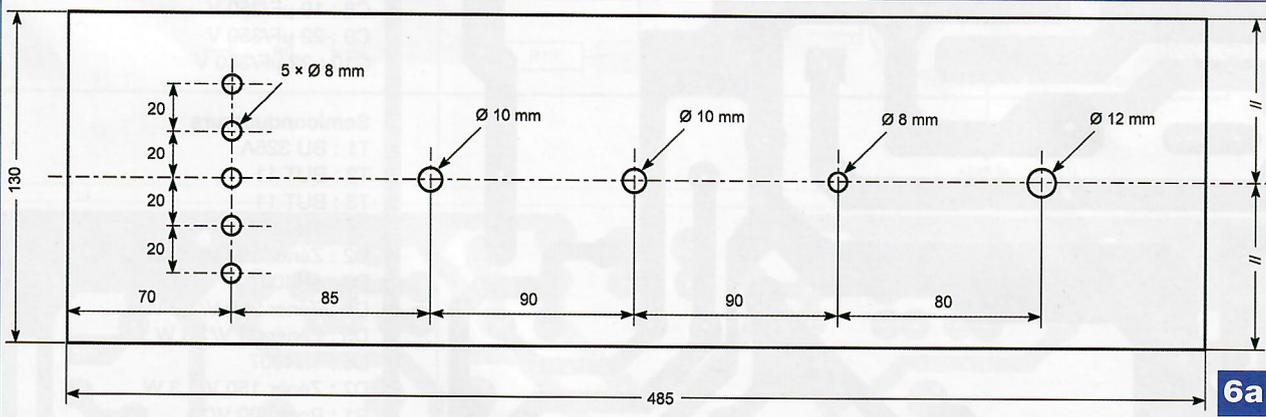
Notons la présence du condensateur C1 de 100 pF en entrée.



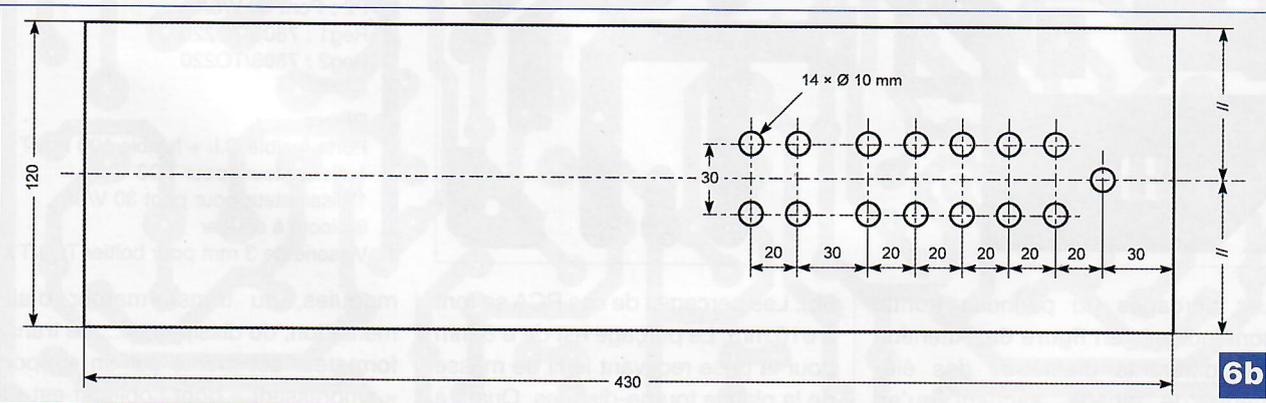
F (Hz)	Théorie	Mesure
10	19.7	20.2
15	19.6	20
17	19.5	19.9
20	19.3	19.6
25	19.0	19.2
30	18.8	18.8
35	18.2	18.5
40	17.8	18
45	17.4	17.5
50	16.9	17.1
60	16.1	16.2
70	15.3	15.4
80	14.5	14.6
90	13.8	13.8
100	13.1	13.1
130	11.3	11.3
150	10.3	10.3
170	9.4	9.3
200	8.2	8.2
250	6.7	6.7
300	5.6	5.5
350	4.5	4.5
400	3.8	3.8
450	3.2	3.1
500	2.6	2.6
600	1.8	1.8
700	1.2	1.2
800	0.7	0.8
900	0.3	0.4
1000	0	0
1300	-0.8	-0.9
1500	-1.4	-1.4
1700	-1.9	-1.9
2000	-2.6	-2.6
2500	-3.7	-3.7
3000	-4.7	-4.7
3500	-5.7	-5.6
4000	-6.6	-6.5
4500	-7.4	-7.3
5000	-8.2	-8.1
6000	-9.6	-9.4
7000	-10.8	-10.6
8000	-11.9	-11.8
9000	-12.9	-12.6
10000	-13.7	-13.4
13000	-15.2	-15.5
15000	-16.2	-16.6
17000	-16.8	-17.6
20000	-19.6	-18.9



5



6a



6b

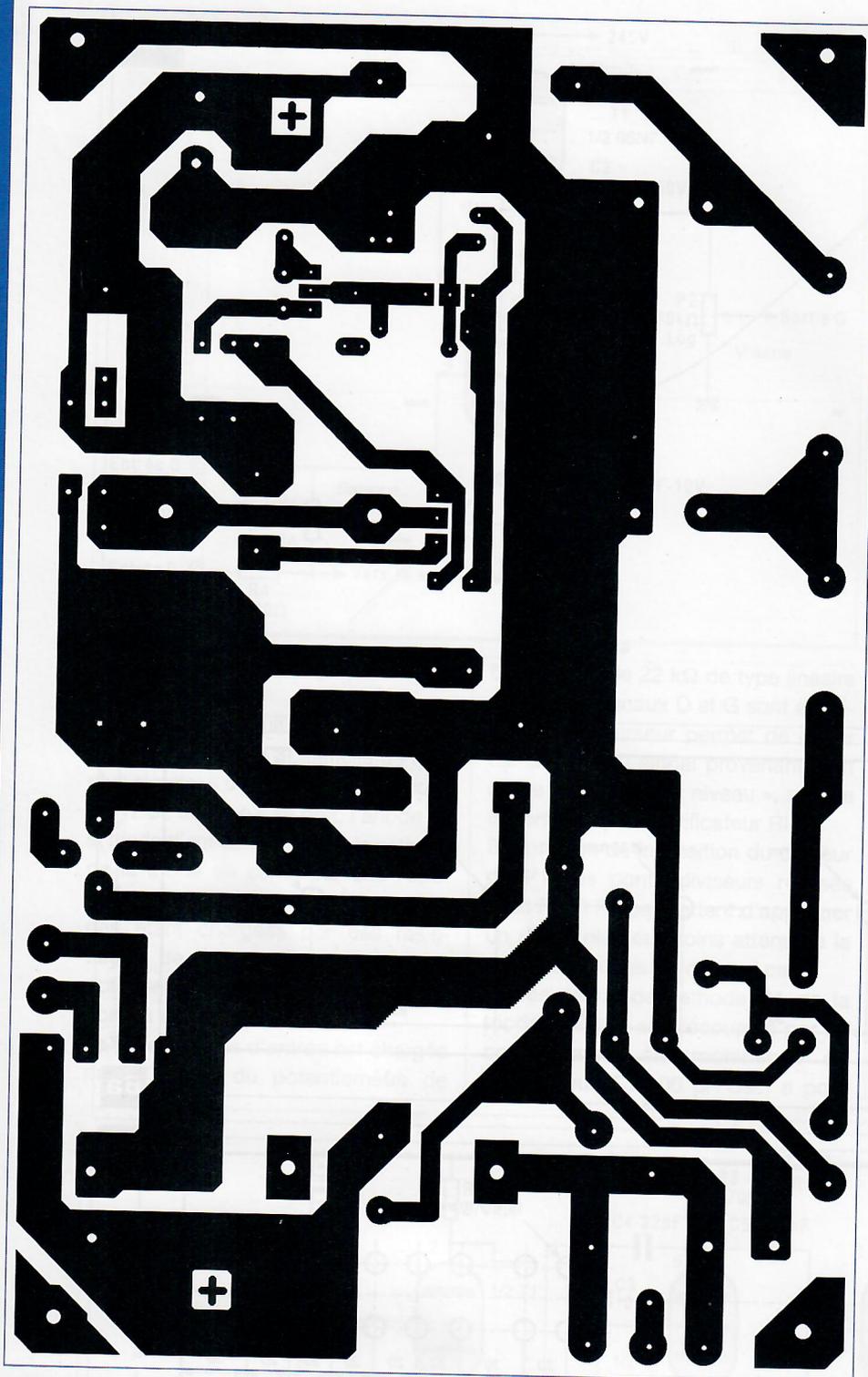
Partant du principe que le bras de la platine peut capter des émissions de radios locales, ce condensateur est destiné à limiter très fortement ces parasites indésirables. Un second condensateur C4 de 22 pF évite au montage d'entrer en

oscillation. La courbe RIAA de la figure 5, relevée sur ce préamplificateur, montre sa parfaite adaptation à cette fonction. Les écarts entre les valeurs théoriques et celles relevées sur la maquette sont infimes.

Réalisation

Le coffret

Le coffret utilisé est un modèle 3U. Sa profondeur de 300 mm suffit pour y loger tous les composants du pré-amplificateur.



7a

Les perçages du panneau frontal sont indiqués en **figure 6a**. Attention aux différents diamètres des éléments de façade, sachant qu'en général les embases des diodes électroluminescentes ont un diamètre de $\varnothing 8$ mm. Le repérage des polarités de ces diodes est simple, la patte la plus longue va au (+), la plus courte au (-). La face arrière reçoit quatorze prises RCA, dont cinq par canal destinées aux entrées et deux à la sortie (**figure**

6b). Les perçages de ces RCA se font à $\varnothing 10$ mm. Le perçage est de $\varnothing 8$ mm pour la prise recevant le fil de masse de la platine tourne-disques. Quant à l'embase « secteur », la découpe est à prévoir en fonction du modèle acheté. **NOTA.** Nous ne donnons pas de cotation pour les perçages à effectuer au fond du coffret. Il suffit de se reporter à la photo d'entrée (en début d'article) pour voir l'implantation adoptée : disposition des trois

Nomenclature

**ALIMENTATION HT + 245 V
& CHAUFFAGE + 6V3**

Résistances

R1 : 2,2 k Ω /7 W
R2 : 100 k Ω /0,5 W
R3 : 680 k Ω /0,5 W
R4 : 1 M Ω /0,5 W
R5 : 82 k Ω /0,5 W
R6 : 120 Ω /0,5 W
R7 : 510 Ω /0,5 W
R8 : 1,5 Ω /3 W
R9 : 2,2 k Ω /3 W
R10 : 470 Ω /3 W
R11 : 100 Ω /3 W
R12 : 100 Ω /3 W
R13 : 1,8 k Ω /1 W (ou 2,2 k Ω)
P1 : Multitours 50 k Ω

Condensateurs

C1 : 10 000 μ F/16 V
C2 : 10 000 μ F/16 V
C3 : 220 μ F/400 V
C4 : 1 μ F/630 V
C5 : 47 μ F/400 V
C6 : 220 μ F/400 V
C7 : 220 μ F/400 V
C8 : 10 μ F/250 V
C9 : 22 μ F/350 V
C10 : 22 μ F/350 V

Semiconducteurs

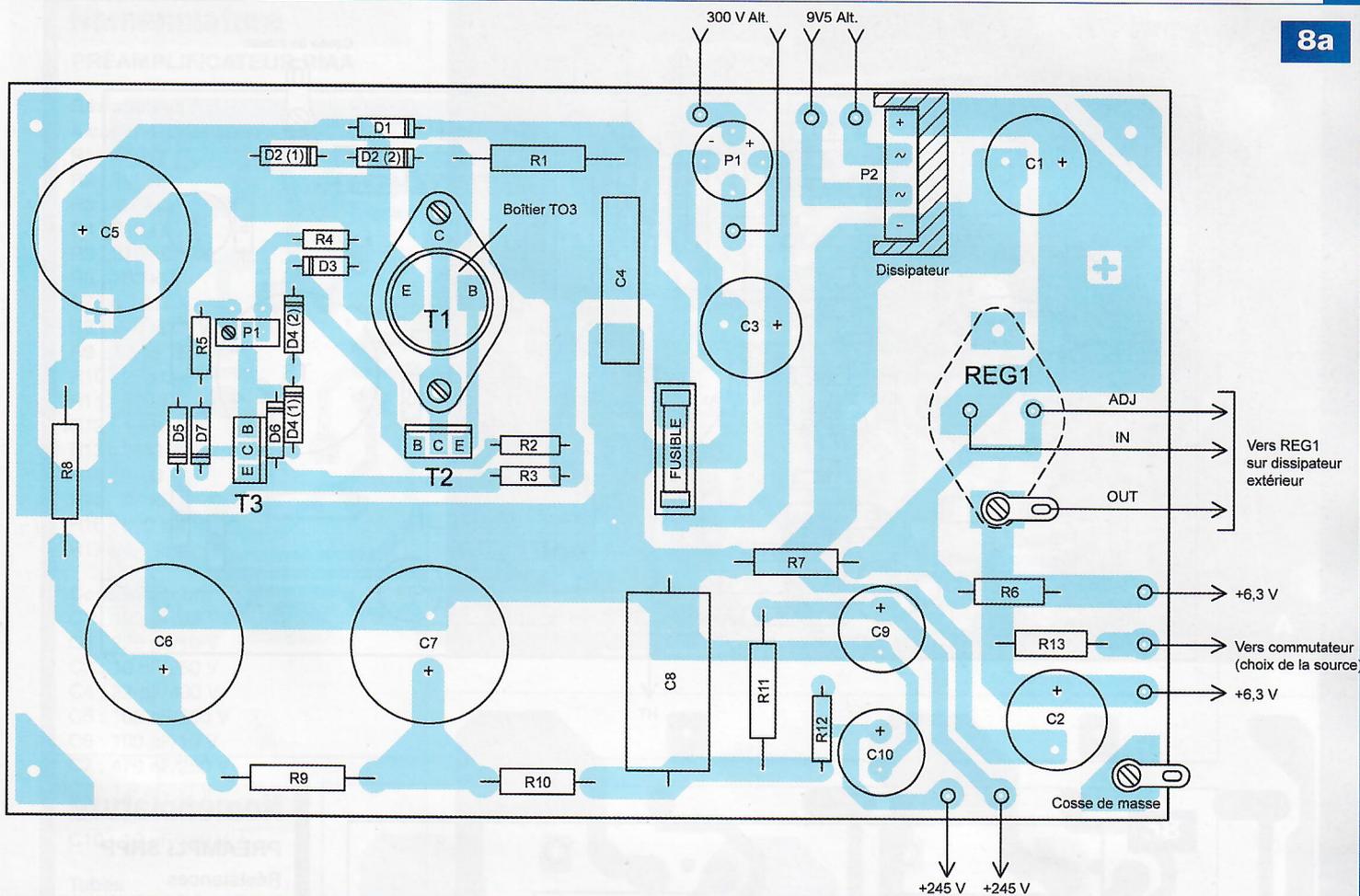
T1 : BU 326A
T2 : BUT 11
T3 : BUT 11
D1 : 1N4007
D2 : Zéner 180 V/1,3 W
D3 : 1N4007
D4 : Zéner 250 V/1,3 W
D5 : Zéner 24 V/1,3 W
D6 : 1N4007
D7 : Zéner 150 V/1,3 W
P1 : Pont 800 V/1A
P2 : Pont 30 V/6A
Reg1 : 7806/TO220
Reg2 : 7806/TO220

Divers

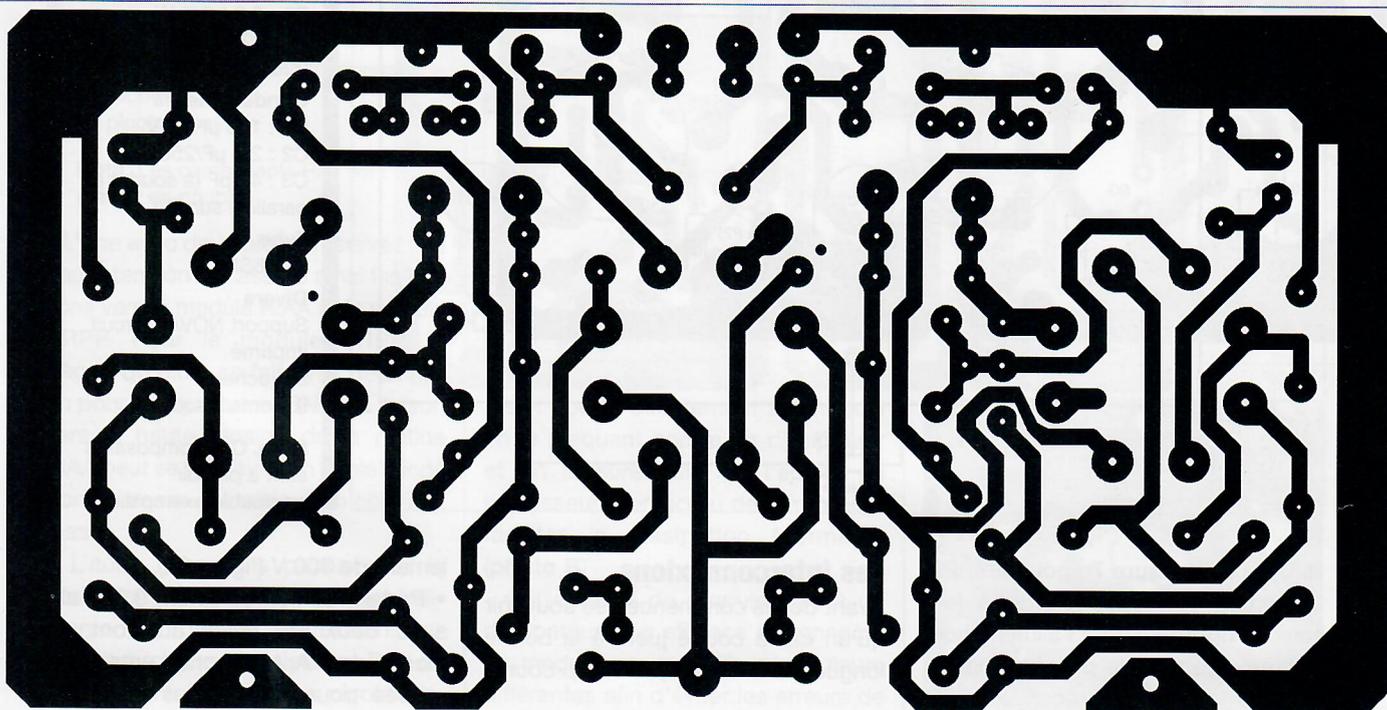
Porte fusible C.I. + fusible 100 mA/T
1 dissipateurs pour TO3
1 dissipateur pour pont 30 V/6A
9 picots à souder
Visserie de 3 mm pour boîtier TO3/T1

modules, du transformateur d'alimentation, du dissipateur... Le transformateur est monté sur un support « amortissant » dont l'objectif est de protéger les 6SN7 et 6SL7 des effets microphoniques. Ce support peut être de nature « caoutchouteuse ». Le dissipateur reçoit le régulateur LM 338K afin que celui-ci fonctionne à une température peu élevée. Il peut également, moyennant un échauffement plus important, être soudé directe-

8a



7b

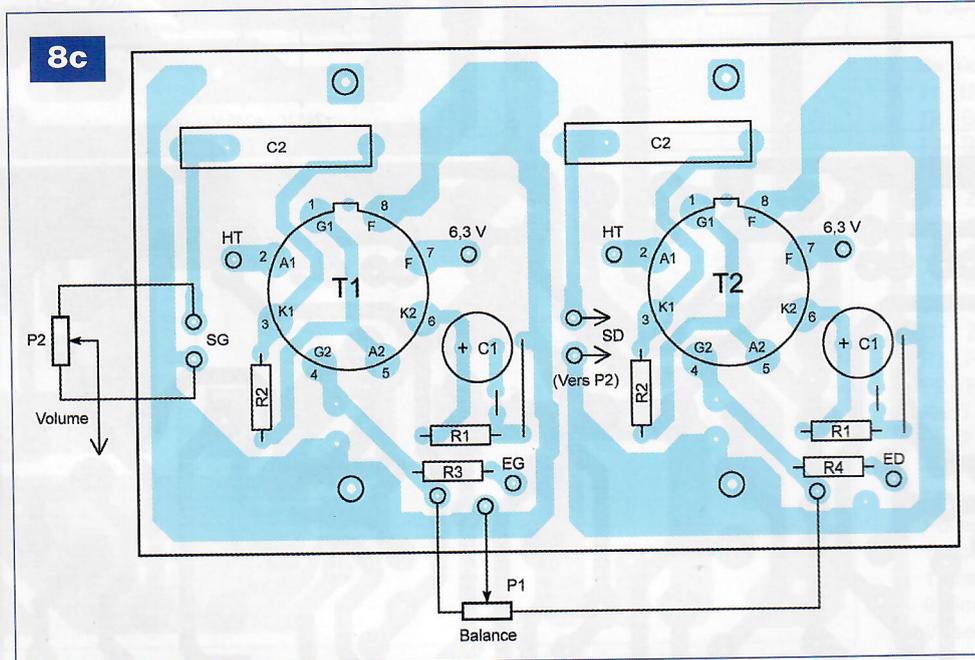
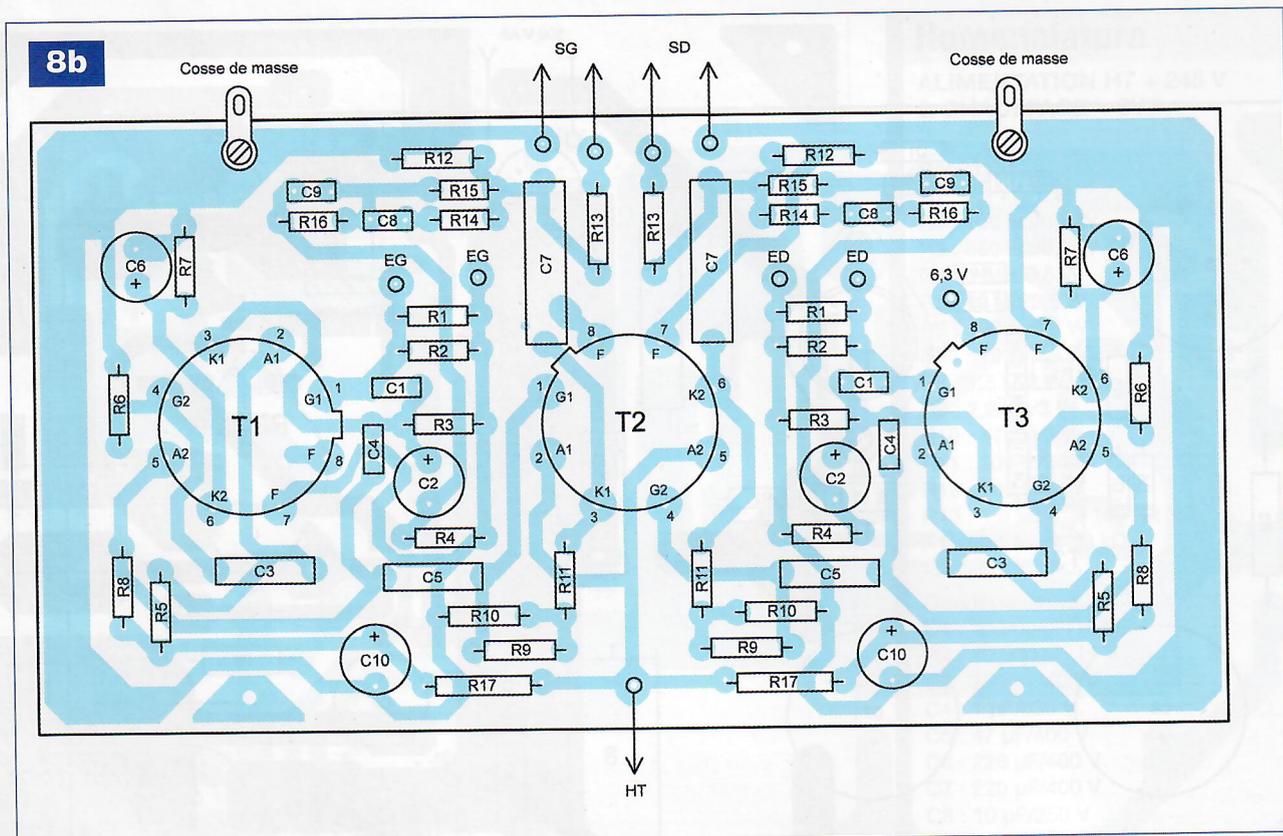


ment au circuit imprimé en intercalant, entre sa semelle métallique et l'époxy, un dissipateur de plus petite taille (ML16, par exemple). Dans ce cas, surélever de la hauteur d'un écrou

de 4 mm le dissipateur de la plaquette. Les repérages pour les trous de fixations des modules se feront, par commodité, avec les circuits imprimés vierges (avant câblage des composants).

Les modules

Avant toute chose, il nous faut graver les circuits imprimés qui font l'objet de la **figure 7a** pour l'alimentation, de la **figure 7b** pour le préamplificateur



Nomenclature

PRÉAMPLI SRPP

Résistances

R1, R2 : 1,2 k Ω /1 W

R3 : 3,3 k Ω /1 W

P1 : 22 k Ω lin

P2 : 2 x 50 k Ω log

Condensateurs

C1 : 100 μ F/16 V

C2 : 2,2 μ F/250 V

C3 : 47 pF (à souder en parallèle sur C2)

Tube

T1 : 6SN7

Divers

Support NOVAL/circuit imprimé

9 broches

6 picots à souder

Nota. Ces composants sont à prévoir en double exemplaire.

RIAA et de la **figure 7c** pour le SRPP. L'insertion des composants se fera selon la **figure 8a** pour l'alimentation, la **figure 8b** pour le préamplificateur RIAA et la **figure 8c** pour le SRPP, tout en se reportant aux nomenclatures.

Faire très attention au positionnement des supports Octal/8 broches. L'ergot détrompeur se situe entre les broches (1) et (8).

Les interconnexions

Avant de les commencer, se souvenir qu'un câble coupé juste à la bonne longueur s'avère toujours trop court !

Alimentation

La platine « alimentation » comporte deux entrées :

- La première est réservée à la haute tension. Deux picots sont prévus pour y souder les deux fils de l'enrou-

lement de 300 V (figure 8a).

- Partant de l'enroulement 9,5 V alt. avec deux fils reliés au pont de diodes de 6 A, la seconde entrée est utilisée pour chauffer les tubes en continu, condition sinon indispensable du moins intéressante pour améliorer le rapport signal/bruit du module RIAA.

À ces deux entrées, s'ajoutent également deux sorties :

Nomenclature

PRÉAMPLIFICATEUR RIAA

Résistances

à couche métallique $\pm 5\%$

- R1 : 47 k Ω
- R2 : 1 M Ω
- R3 : 4,7 k Ω
- R4 : 510 Ω
- R5 : 270 k Ω /1W
- R6 : 330 k Ω
- R7 : 4,7 k Ω
- R8 : 270 k Ω /1 W
- R9 : 1 M Ω
- R10 : 27 k Ω
- R11 : 680 Ω
- R12 : 1 M Ω
- R13 : 1 k Ω
- R14 : 1 k Ω
- R15 : 47 k Ω
- R16 : 680 k Ω
- R17 : 4,7 k Ω

Condensateurs

- C1 : 100 pF/63 V
- C2 : 220 μ F/10 V
- C3 : 10 nF/250 V
- C4 : 22 pF/400 V
- C5 : 100 nF/250 V
- C6 : 100 μ F/10 V
- C7 : 470 nF/250 V
- C8 : 1,8 nF/63 V
- C9 : 5,6 nF/63 V
- C10 : 10 μ F/350 V

Tubes

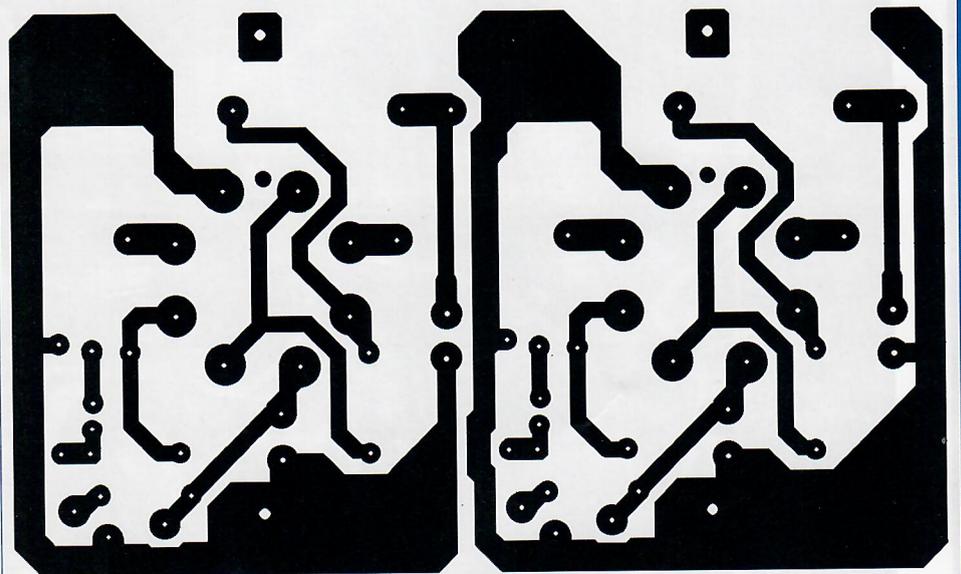
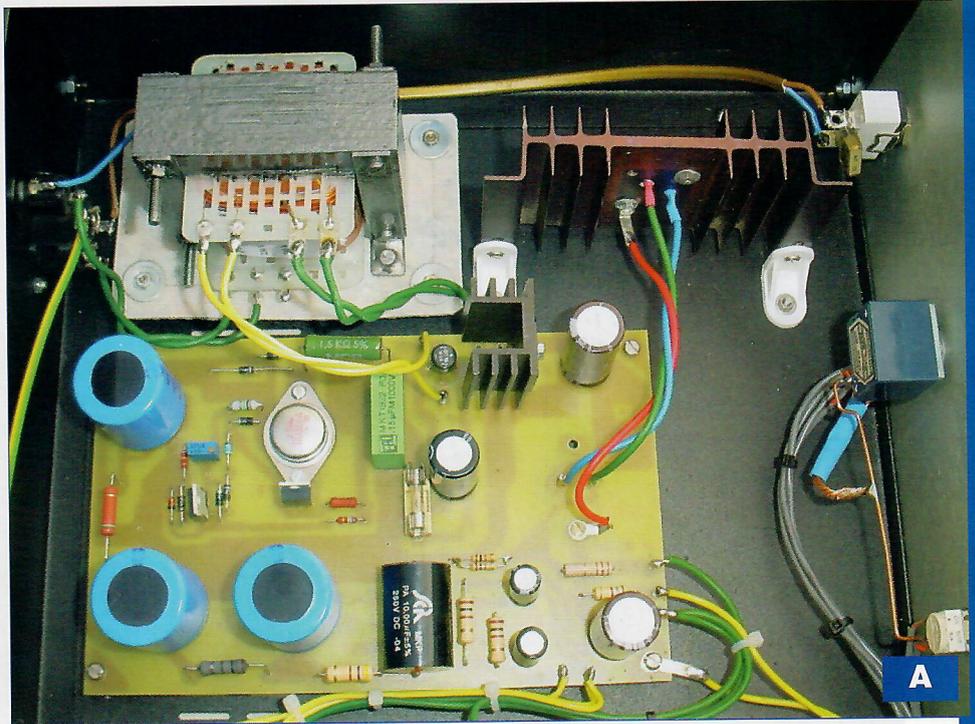
- T1, T2, T3 : 6SL7

Divers

- 3 supports NOVAL/circuit imprimé
- 9 broches
- 10 picots à souder

Nota. Les composants R/C sont à prévoir en double

- L'une avec deux picots réservés à la haute tension qui assure ainsi les liaisons vers le module RIAA et le module SRPP. Pour le module SRPP, le départ du picot se fait avec deux fils, un pour chaque tube 6SN7. La liaison vers la haute tension de la platine RIAA peut se faire avec un câble blindé dont la tresse est reliée d'un côté à la masse.
- L'autre avec trois picots pour la basse tension (6V3) dont un picot alimente les diodes électroluminescentes à travers la résistance R13 de 1,8 k Ω /1 W. Chacun des picots restants est réservé à un module : RIAA ou SRPP. Comme pour la haute tension, du picot réservé au module SRPP partent deux fils (**photo A**). Rappelons que le régulateur en boîtier TO3 peut être :



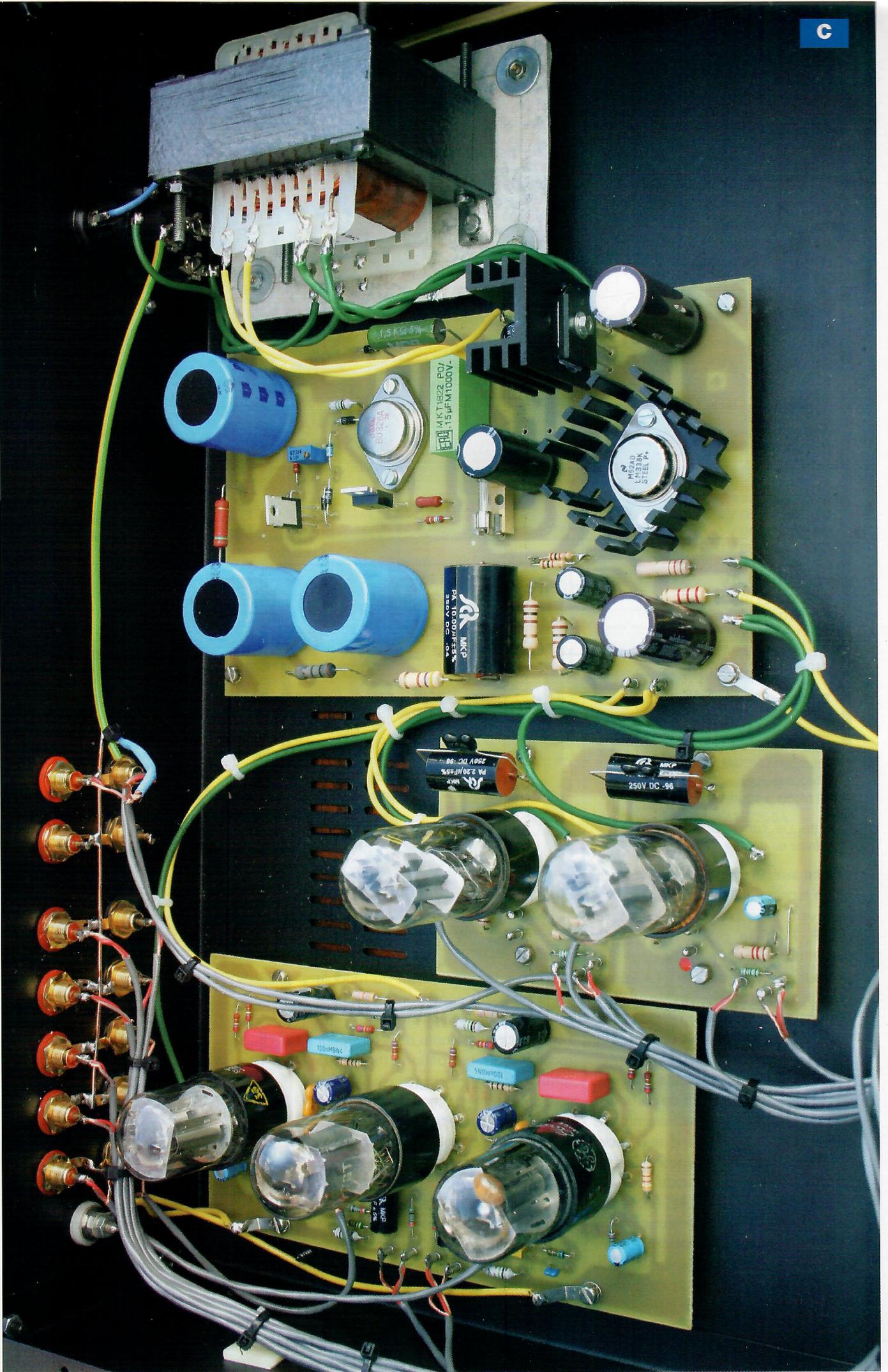
- soit soudé directement au module en le plaquant contre un dissipateur et en le surélevant de l'époxy de l'épaisseur d'un écrou de 4 mm pour faciliter la dissipation thermique (**photo B**)

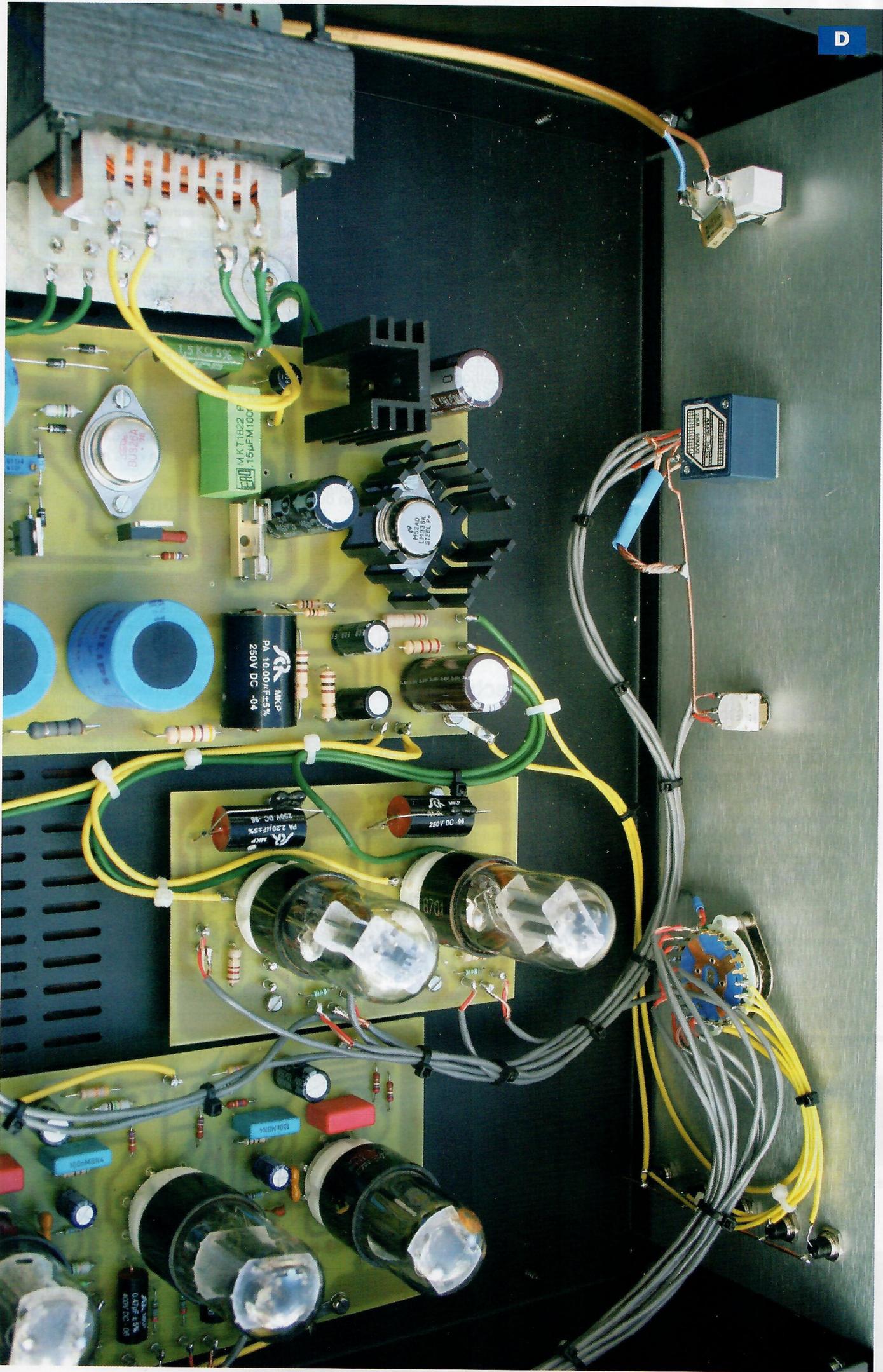
- soit déporté du module, fixé à un dissipateur plus efficace et connecté au module par trois fils de couleurs différentes afin d'éviter les erreurs de câblage (**photo A**).

En ce qui concerne l'enroulement primaire 230 V du transformateur, tout est classique. Deux fils partent de la prise secteur : l'un va vers le porte-fusible, l'autre vers l'interrupteur fixé



en face avant. Deux autres fils repartent ensuite de ces éléments et sont soudés aux cosses du transformateur.





Les masses

Tout d'abord parlons de la mise à la « masse du châssis ». Comme nous pouvons l'observer sur les deux photos réservées aux interconnexions, les modules sont fixés au fond du coffret et surélevés de celui-ci par des entretoises métalliques filetées de 10 mm de hauteur.

Il est évident qu'il faut bien gratter la peinture au niveau des fixations pour établir une bonne continuité de la masse, au minimum aux endroits qui correspondent avec les plans de masse des trois modules.

La prise de terre

Sur la **photo C**, nous voyons un fil de couleur verte qui part de la « cosse de terre » de la prise secteur, mais n'est pas relié à l'autre extrémité; ou bien ce fil est éliminé, ou il est soudé à la ligne de masse des prises Cinch. Lors de la première mise sous tension du préamplificateur, il faudra vérifier si ce fil élimine ou introduit du bruit pour prendre la décision de l'éliminer ou de le souder.

Les prises Cinch

Les cosses de masse des entrées « haut niveau », ainsi que celles des sorties (au nombre de quatre, dont deux inutilisées sur le prototype), sont reliées entre elles par du fil de cuivre de 10/10^e, étamé de préférence pour faciliter le soudage.

Il n'en est pas de même pour les entrées « bas niveau » avec les deux prises Cinch. Ces deux entrées sont connectées au module RIAA avec du câble blindé. L'âme est soudée au point « chaud » de la prise et la tresse de masse à la cosse. L'autre extrémité de chaque blindé est dégagée de sa tresse qui lui sert de blindage et seule l'âme qui véhicule la modulation est soudée au picot correspondant du module (EG ou ED). Un fil de câblage (de couleur jaune) est soudé sur chacune des cosses, puis soudé à l'autre extrémité à une cosse à œil, ce qu'indique la photo C.

Nous avons prévu une « mise au châssis » de la platine vinyle qui peut s'avérer très efficace contre le bruit si celle-ci dispose de cette possibilité (fil supplémentaire indépendant des

câbles blindés). Cette prise de « masse châssis » réalisée avec une fiche banane femelle (blanche sur la photo C) est à connecter à une cosse de masse d'une Cinch/RIAA.

NOTA. Cela peut paraître bizarre ! Concernant la modulation, nous avons utilisé du câble blindé deux conducteurs, de faible diamètre, avec tresse de masse unique. Ce n'est pas indispensable, à vous de voir pour votre prototype.

Les leds en face avant

Toutes les cathodes sont reliées entre elles avec du fil de cuivre de 10/10^e (**photo D**). Un fil de câblage de couleur jaune les met ensuite à la masse au niveau du module « alimentation » par l'intermédiaire d'une cosse à œil vissée à une entretoise de fixation du module (photo D).

Les potentiomètres

Le curseur du potentiomètre de « balance » est connecté aux cosses de droite du potentiomètre de « volume », ici un ALPS 2 x 50 kΩ.

Le sélecteur de source

Il a une double fonction :

- Faire s'illuminer une led en face avant suivant la source choisie, parmi les cinq disponibles,
- Véhiculer la modulation des prises Cinch « haut niveau » vers le module SRPP. Concernant le module RIAA, c'est le signal amplifié par les triodes 6SL7 qui transite par le sélecteur.

Dans un premier temps, nous allons relier avec du fil de câblage jaune les anodes de chacune des diodes leds. La diode supérieure (haut de la face avant) est soudée au premier plot du commutateur. Même opération pour les quatre leds suivantes. Le plot « commun » de ce premier circuit, toujours avec du fil jaune, va se souder à la résistance R13 du module « alimentation ».

Pour en terminer avec ce sélecteur, nous allons y souder tous les câbles blindés (photo D). Nous avons donc dix blindés : huit partent des prises Cinch et deux du module RIAA. Chaque circuit du commutateur va ainsi recevoir cinq blindés, soudés comme précédemment de plot en

plot. Attention à bien respecter le même ordre pour les deux circuits afin que le commutateur sélectionne simultanément la même source stéréophonique.

Pour s'y retrouver facilement, il est préférable de suivre le même ordre que celui déterminé par les prises Cinch situées à l'arrière du préamplificateur. Le premier plot de chaque circuit est donc réservé à la sortie du module RIAA.

Attention, en observant la photo C, nous constatons que les tresses de masse sont utilisées côté module.

Le plot « commun » de chaque circuit va relier le module SRPP et, comme précédemment à l'arrivée, la tresse de masse est utilisée côté module.

Les potentiomètres

Pour la « balance », les blindés sont soudés sans leurs blindages, comme des fils ordinaires.

Pour le « volume », la tresse de masse est utilisée côté module SRPP, picots SG et SD (photo D). Chacun des blindés va se souder au potentiomètre ALPS aux cosses opposées à celles déjà reliées au fil de cuivre de 10/10^e.

Restent les curseurs de ce potentiomètre, eux aussi soudés à des blindés.

Réunir entre elles les quatre tresses de masse. Elles passent dans une gaine de couleur bleue visible sur la photo D. Ces tresses torsadées sont soudées au fil de cuivre étamé en son centre.

Il ne reste plus qu'à relier les curseurs du potentiomètre de volume aux prises Cinch de sorties.

En observant la photo C, nous remarquons que les tresses de masse des câbles blindés sont soudées au fil de cuivre de 10/10^e reliant toutes les cosses des Cinch « haut niveau ». Sur la photo C, nous voyons deux Cinch inutilisées. Elles peuvent servir pour des sorties « enregistrement » si vous en avez l'utilisation.

La mise sous tension

Avant de mettre le préamplificateur sous tension, vérifier une dernière fois les interconnexions, puis insérer le fusible « primaire » dans son embase.

Nomenclature

DIVERS

- 1 coffret 3U - 30 cm de profondeur
- 1 sélecteur contacts dorés COPA2VCS145 (Electronique Diffusion)
- 3 boutons de potentiomètre - \varnothing 6 mm
- 35 picots à souder \varnothing 1,3 mm
- 7 embases châssis RCA rouges
- 7 embases châssis RCA noires
- 1 prise châssis banane 10A
- 12 entretoises métalliques mâle/femelle M3 - 1 cm
- 5 leds
- 5 embases métal pour diodes leds
- 4 plots en caoutchouc
- 1 interrupteur M/A
- 1 embase secteur avec porte fusible
- Fil de câblage de couleurs différentes
- Soudure
- Visserie M3
- Rondelles M3
- 1 transformateur 50 VA (Magnétic SA) 230V/300 V + 9V5

Celui de la haute tension (H.T.) n'est pas inséré dans le circuit « secondaire » car il s'agit tout d'abord de vérifier que la tension de chauffage des filaments est normale en sortie du régulateur, soit 6V3.

Contrôler l'illumination des diodes leds selon la position du sélecteur de source.

Cette étape franchie, mettre hors tension l'alimentation et placer le fusible H.T. de 100 mA/T. Attention, le premier condensateur est chargé.

Pour cette intervention, une seule main à l'intérieur de l'appareil suffit, l'autre étant impérativement hors de contact avec le châssis.

Mettre sous tension et contrôler la tension stabilisée. Ajuster en première approximation à +245 V pour une tension secteur de 230 V. Nous ne sommes pas à quelques volts près.

Après un moment de fonctionnement, la haute tension peut, selon la

course du potentiomètre, être trop faible ou trop élevée. Il faudra refaire un réglage fin pour obtenir les +245 V en sortie des cellules R11/C9 et R12/C10.

Il ne doit pas y avoir de surprise, tout se met à fonctionner sans difficulté et sans bruit.

Caractéristiques techniques

- 5 entrées : RIAA (aimant mobile), tuner, CD, magnétophone, auxiliaire
- Tubes du RIAA : 3 x 6SL7 ou équivalences
- Tubes du SRPP : 2 x 6SN7 ou équivalences
- Haute tension stabilisée et chauffage filaments régulé.

Mesures

Les mesures ci-dessous sont obtenues pour une tension de sortie de 1 V :

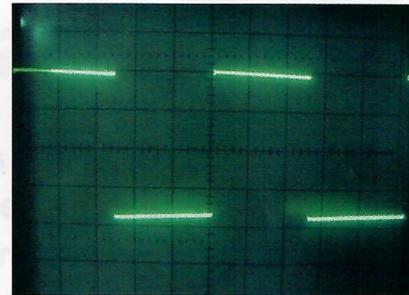
- Bande passante :
 - 1,5 Hz à 100 kHz à 0 dB
 - 1,5 Hz à 120 kHz à -3 dB
- Taux de distorsion : de 10 Hz à 100 kHz, 0,05 %
- Sensibilité d'entrée : 140 mV pour 1 V en sortie, soit un gain de 7
- Rapport signal/bruit : 95 dB
- Temps de montée à 20 kHz : 1,2 μ s
- Tension de sortie maximale : 25 V
- Taux de distorsion à 25 V : 3 %

Haute tension et précautions

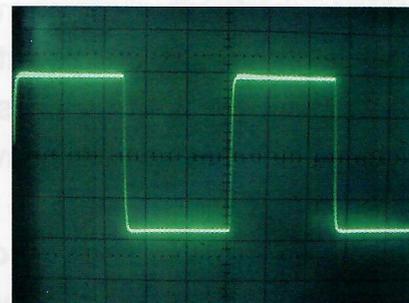
Attention. DANGER.

Toutes les tensions sont dangereuses et quelques précautions élémentaires mettent à l'abri des chocs électriques :

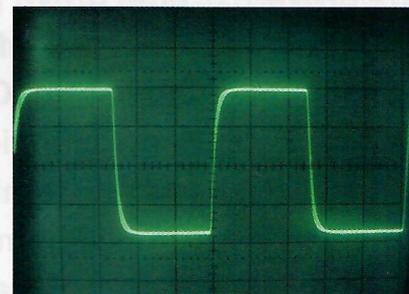
- Ne pas travailler inutilement dans un appareil sous tension ou porter des



Signal carré à 40 Hz



Signal carré à 10 kHz



Signal carré à 40 kHz

gants de travaux ménagers en caoutchouc.

- Ne mettre qu'une main à la fois dans l'appareil.

- Faire attention aux condensateurs qui restent chargés quelque temps bien que le préamplificateur soit mis hors service.

- Travailler dans un endroit sec, isolé du sol par un tapis ou une planche de bois.

R.CARIOU

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

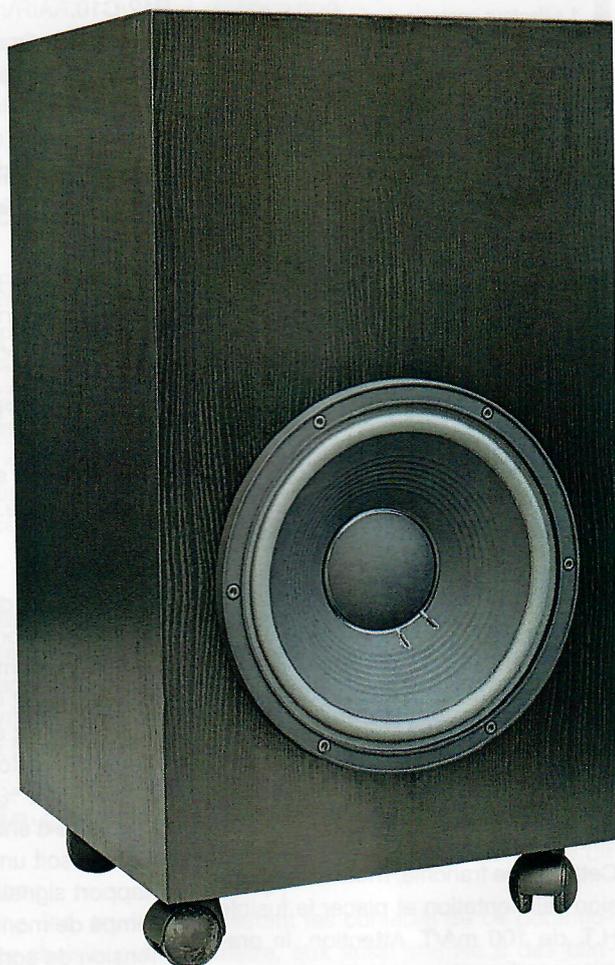
- "Technologie pooling" à prix attractifs
- de 1 à 8 couches
- de 1 à 1000 pièces
- délais à partir de 3 jours ouvrés

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

Caisson d'extrême

Tout récemment, Audax a repris la fabrication de quelques modèles de prestiges, dont le fameux PR330M0 proposé à 300 €, prix très raisonnable pour un composant de cette classe. Tirant profit de cette annonce, nous vous présentons un projet de caisson de grave particulièrement destiné à tous nos lecteurs qui désirent adjoindre à leurs enceintes un ou deux caissons de grave/extrême grave pour combler un manque d'information dans le bas du spectre. Que ce soit en configuration triphonique ou classique stéréophonique, notre caisson constitue le complément idéal de l'enceinte coaxiale présentée dans le Hors-série audio n°3 d'*Electronique Pratique*.



On peut tourner et retourner le problème : sans un certain volume, pas de succès. Les lois physiques sont, on le sait, immuables : pour produire des sons graves puissants, il faut de l'énergie et, par conséquent, déplacer de l'air. Certains caissons commercialisés ou réalisés par des audiophiles descendent presque aussi bas que le 75 litres que nous vous proposons, mais lorsqu'on leur demande de la puissance, le grave s'écroule lamentablement. L'expérience nous a prouvé que pour obtenir les résultats que nous nous sommes fixés, il est impossible de se passer d'électronique. C'est pourquoi, nous ne proposons pas de filtre passif. Nous préconisons de piloter le ou les caissons à l'aide d'amplificateurs précédés d'un filtre actif passe-bas efficace,

limitant scrupuleusement la bande passante qui nous intéresse.

Un ensemble caisson + filtrage actif + amplification directe permet d'obtenir un système triphonique comprenant un seul caisson équipé ou un ensemble stéréophonique performant avec des filtres actifs à deux ou trois voies.

Cette étude a nécessité temps et énergie pour valider le haut-parleur, entreprendre une campagne de mesures et de simulations, construire le prototype, mettre au point la procédure de fabrication, dessiner les plans, rédiger... Soucieux de faciliter votre tâche, nous avons dessiné non moins de dix-neuf plans pour ce caisson.

D'un volume de 75 litres, l'enceinte que nous vous proposons servira de charge acoustique au PR330M0 pour réaliser un système triphonique ou en double exemplaire pour compléter un

système en stéréophonie.

Ce transducteur présente un diamètre de 33 cm et offre les caractéristiques nécessaires à notre projet. Il présente un excellent rapport qualité/prix pour un encombrement encore raisonnable. Ses caractéristiques globales sont les suivantes :

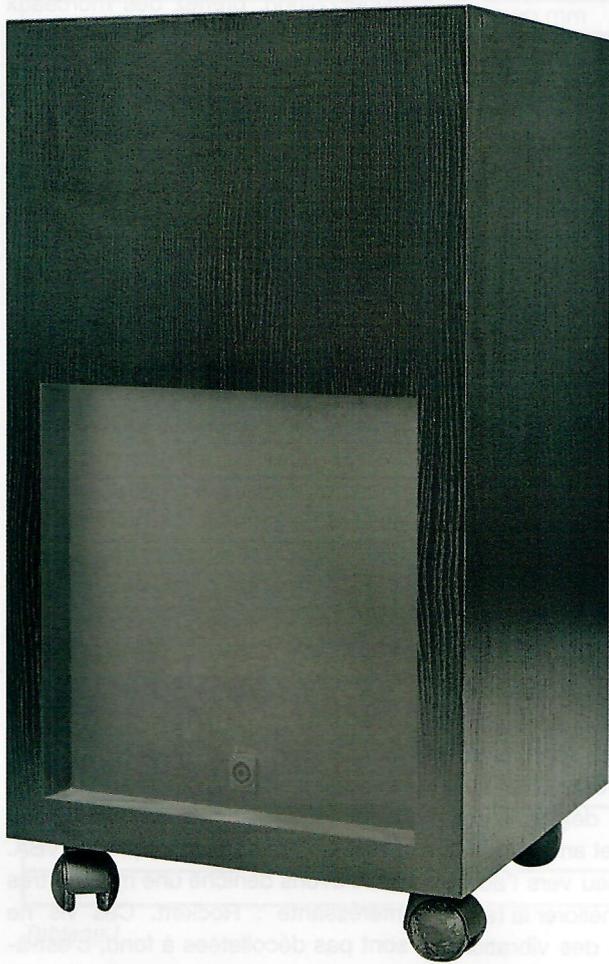
- une fréquence d'accord de 25 Hz à -3dB,
- une dynamique de 108/110 dB réels, sans compression (avec une correction active).

Pour bénéficier de toute la dynamique, une puissance de 50 W minimum est recommandée (voire davantage si possible).

L'informatique à notre secours

Nous avons parfois tendance à banaliser les composants habituels, tels

grave de 75 litres



Le problème se corse surtout pour les calculs de filtres complexes. Les logiciels présentent l'avantage incontournable de permettre d'élaborer de nombreuses simulations qui font gagner un temps précieux aux concepteurs. Ils offrent d'innombrables possibilités de tentatives et d'essais (extravagances comprises...). Ceci permet de faire progresser la technique au profit de la qualité des résultats finaux.

Certains puristes se complaisent à clamer à qui veut l'entendre que les logiciels de simulations et mesures ne remplacent pas l'oreille entraînée du mélomane. Il est prouvé qu'avec des logiciels sérieux de mesures et de simulations, les résultats sont très précis. Nos réalisations résultent de nos investigations à l'aide d'outils informatiques, démontrant ainsi la puissance de l'informatique et l'exactitude des mesures. Reste que l'oreille humaine, fort heureusement, portera le jugement définitif en appréciant ce qu'aucun ordinateur ne remplace : l'écoute.

Le matériau d'amortissement

Que d'erreurs commises, que d'inepties dites à ce sujet. Cet élément demeure primordial pour optimiser l'étude d'une enceinte acoustique, surtout s'il s'agit d'un caisson de grave : la pression et le déplacement de l'air à l'intérieur de la boîte sont tels, qu'on ne peut pas négliger de les traiter. En effectuant des mesures à l'embouchure des événements, nous avons découvert des accidents importants dans la courbe de réponse après la fréquence de 150 Hz. De mémoire de technicien, nous n'avons jamais constaté de tels accidents dévoilés sur une courbe de réponse publiée par des constructeurs. Personne n'en parle, pas plus que des mesures effectuées sur le rayonnement de l'événement. Pourquoi ce silence ? Répondez qui pourra ! Quoi qu'il en soit, il est impératif d'atténuer ces accidents. Cela prouve qu'il est important que la

les haut-parleurs. Pourtant, faut-il le rappeler, les composants d'apparence simple sont souvent les plus complexes à maîtriser. Manipuler et mesurer un haut-parleur électrodynamique avec son circuit magnétique, sa bobine mobile et sa membrane, permet de découvrir le grand nombre de paramètres électriques et mécaniques qu'il présente. Tous ces paramètres interdépendants les uns des autres compliquent notre vie de technicien curieux, coupeur de décibels en quatre, dont l'objectif est de tendre vers plus de qualité.

En acoustique, les valeurs relevées à l'aide d'instruments spécialisés, au cours des séances de mesures effectuées sur les composants constituant une enceinte acoustique (haut-parleurs, condensateurs, résistances, voire câbles), permettent d'obtenir des informations qui ali-

menteront les formules et équations complexes des calculs. Mais, malheureusement, chaque fois qu'un paramètre est modifié, cela a pour conséquence d'interférer sur d'autres paramètres. Ce qui nous oblige à recommencer la plupart des mesures, puis à recalculer pour vérifier et en constater les effets.

Ce travail fastidieux prend du temps et nécessite beaucoup de patience les déboires étant nombreux.

Heureusement, l'informatique vient à notre secours. Depuis quelques années, il existe des logiciels puissants, ainsi que des cartes d'acquisition très performantes. Tous deux assistent les ingénieurs aussi bien pour les mesures, que les simulations ou les calculs. Ces outils informatiques complexes et onéreux nécessitent néanmoins un apprentissage sérieux et une pratique irréprochable.

penne d'atténuation à la coupure « haute » du filtre soit franche, d'au moins 24dB/octave. Surtout, ne pas utiliser le haut-parleur de grave au-delà de 130/150 Hz et ne pas oublier de garnir l'intérieur du caisson avec un matériau amortissant efficace.

À ce sujet, nous sommes toujours des adeptes de la laine de verre Panolène PB Isover Telstar de Saint-Gobain que nous estimons la plus efficace. Après de nombreux essais sur les formes et les positions efficaces, nous avons abouti au même résultat que pour d'autres réalisations : ces coussins de matériau absorbant sont nécessaires.

Deux coussins de laine de verre de 100 mm d'épaisseur se chargeront avec succès d'apporter un remède à notre problème. De surcroît, cette laine de verre présente une linéarité d'absorption acoustique remarquable grâce à son coefficient « Sabine ».

La preuve de l'efficacité de cette laine de verre n'est plus à faire. On la trouve sous différentes formes, la plus courante étant un panneau de 100 mm d'épaisseur, équipé d'une feuille de papier kraft goudronnée. Veiller à ne pas oublier d'ôter cette feuille avant de placer le coussin dans le caisson.

Les matériaux de construction

Nous restons fidèles à notre matériau préféré : l'aggloméré CTBH. Hormis le médium hydrofuge, nous n'avons rien trouvé de mieux pour la fabrication des enceintes acoustiques.

Ce type de panneau est désormais couramment vendu par tous les spécialistes du bricolage. Attention toutefois aux imitations, dès qu'un produit se vend bien, les copieurs s'affairent pour profiter du gâteau... Seule la marque Isoroy (créateur et producteur) présente, à notre avis, la qualité requise. Les panneaux se reconnaissent aisément car les deux faces présentent un aspect bien poncé, de grain très fin et de couleur verte. L'aggloméré est constitué d'un mélange de particules nobles, sans paille. D'ailleurs, rien qu'à l'odeur, il est possible de reconnaître la qualité des panneaux. L'original sent le vrai bois, alors que l'imitation embaume forte-

ment la paille... Cette précision n'est pas inutile puisque la qualité intrinsèque du matériau s'en ressent. De surcroît, les coupes et perçages sont propres.

Nous avons trouvé des panneaux de CTBH faciles à transporter de par leurs dimensions (0,60 x 1,50 m), ce qui a son importance pour qui envisage d'effectuer la coupe lui-même. Ce sont des dalles de plancher hydrofuge.

Dernier conseil concernant l'aggloméré : si vous le faites couper par le vendeur, allez-y de bonne heure car chez les grands du bricolage, les lames de scie carbure sont remplacées tous les matins à l'ouverture. Vous aurez ainsi plus de chances d'obtenir des coupes précises et propres.

Les tasseaux

Les tasseaux de renfort seront en bois tendre, du sapin par exemple. D'une part, parce que c'est un matériau standard et, d'autre part, parce que nous nous sommes aperçus que les renforts en bois dur (chêne ou hêtre) présentent un défaut important : ils transmettent et amplifient les vibrations d'un panneau vers l'autre. Alors qu'ils doivent améliorer la tenue mécanique, ils créent des vibrations parasites indésirables et néfastes. Au contraire, un bois tendre les inhibera efficacement en vertu du principe du « silenblock ».

Attention ! Les producteurs ont la fâcheuse habitude de proposer leurs propres dimensions de tasseaux. Nous nous sommes ainsi retrouvés avec des tasseaux de 22 x 28 mm, croyant avoir acheté des tasseaux de 20 x 30 mm. Réponse surréaliste du vendeur : « *Nous indiquons les dimensions avant rabotage* ». Il vous faudra tenir compte de ces dimensions si elles sont différentes des nôtres. Nous avons finalement utilisé du 22 x 28 mm, taille qui semble la plus courante.

Le **tableau I** rassemble la liste des débits complets du caisson de 75 l. Les longueurs des tasseaux sont données à titre indicatif. Il conviendra de couper ces derniers au moment du montage. Ceci sera précisé en temps utile dans les indications de montage.

Si vous rencontrez des difficultés à trouver des tasseaux de section triangulaire (40 x 40 x 40 mm et 60 x 60 mm), demandez à un menuisier de vous les usiner. Sinon, prenez des morceaux d'aggloméré de 40 mm et 60 mm de largeur et faites deux coupes à 45° sur la longueur. Les renforts d'angles assurent une rigidité accrue du caisson, une meilleure fluidité de l'air et suppriment efficacement les vibrations.

La colle

La colle Ponal de chez Henkel est parfaite. Grâce à la grande mode du parquet flottant, nous disposons maintenant d'une autre colle de qualité qui offre les mêmes caractéristiques et qualités. Il s'agit de la colle AGO B3 « spécial sol humide » de Lambiotte. Disponible en biberon d'un kilogramme, sa manipulation pour l'encollage est aisée. Ce produit prévu pour résister à l'humidité reste souple comme un joint vinylique.

La quincaillerie

Il est impératif d'effectuer l'assemblage avec des vis spéciales pour panneaux de particules à empreinte VBA. Nous avons déniché une marque très intéressante : Rockett. Ces vis ne sont pas décollées à fond, c'est-à-dire que le filet auto-taraudeur s'arrête à 2 mm en dessous de la tête. Cette fabrication évite de casser la tige à la base de la tête lorsqu'on serre trop fort. Nous vous conseillons d'utiliser une visseuse électrique équipée d'un réglage dynamométrique. La forme du filet des vis Rockett est très particulière. La sciure produite par l'auto-taraudage est évacuée au fur et à mesure du vissage, empêchant ainsi le gonflement pour éviter de fendre le matériau. La pénétration de la vis dans l'aggloméré est d'une surprenante facilité, comparée à celle d'une vis ordinaire. La tête pratique aussi un fraisage à la fin du serrage. Prévoir quelques pointes sans tête de 35 et 50 mm de longueur et des vis VBA de 30 et 50 mm.

Les outils

La panoplie du petit bricoleur suffira amplement pour l'assemblage, surtout si les débits sont faits par le mar-

Débits pour un caisson PR330MO. Matière : aggloméré CTBH de 19 mm d'épaisseur					
MODELE	Largeur	Longueur	Quantité	Surface unitaire	Surface totale
	en mm	en mm		en m ²	en m ²
Face avant	426	725	1	0,3089	0,3089
Côte gauche	406	725	1	0,2944	0,2944
Côte droit	406	725	1	0,2944	0,2944
Dessus	388	406	1	0,1575	0,1575
Dessous	388	406	1	0,1575	0,1575
Face arrière	298	388	1	0,1156	0,1156
Event supérieur	228	388	1	0,0885	0,0885
Event arrière	388	628	1	0,2437	0,2437
Entretoise supérieure	40	387	2	0,0155	0,0310
Entretoise arrière	40	647	2	0,0259	0,0518
Entretoise inférieure	40	350	1	0,0140	0,0140
SURFACE TOTALE				en m ²	1,5996
				Longueur totale en m	Total en m
Tasseaux triangulaires	40 x 40	350	1	0,0570	
Tasseaux triangulaires	40 x 40	388	3	1,1640	1,2210
Tasseaux triangulaires	60 x 60	350	1	0,3500	0,3500
					Total
Tasseaux rectangulaires	22 x 28	628	1	0,6280	
Tasseaux rectangulaires	22 x 28	388	1	0,3880	
Tasseaux rectangulaires	22 x 28	328	1	0,3280	
				Longueur totale	1,3440 m

Tableau I

chand de bois. Un petit rabot sera le bienvenu pour ajuster les panneaux intérieurs. Même si les débits sont précis, quelquefois un ajustage est nécessaire. Pour le reste, se munir d'une râpe demi-douce, de papier de verre, de quelques presses (facultatif), d'une scie sauteuse, d'un marteau et d'une éponge humide.

Utiliser des mèches et des fraises spéciales pour le bois. Leur pointe de centrage facilite le pointage et l'attaque du matériau. Elles doivent tourner à basse vitesse si vous désirez les ménager.

Nous avons utilisé un outil très pratique qui assure le perçage et le fraisage du panneau en une seule opération : une mèche à bois équipée d'une fraise réglable en fin de course. Le travail est propre et plus rapide. Cet outil est commercialisé par la société Triplex et s'achète chez tous les bons quincailliers et en grande distribution.

Le décor

Les initiés et les courageux pourront s'attaquer à la partie décorative des caissons. Chacun fera selon ses goûts, ses fantasmes, son intérieur et ses compétences en la matière. Tout est possible, du plus classique au plus extravagant.

Si on s'oriente vers le stratifié, un outillage plus sophistiqué, comme une affleureuse ou une défonceuse équipée d'une fraise de 15° à roulement de guidage, sont indispensables. Cette opération réclame du savoir-faire, mais rien n'est impossible, la preuve, nous nous sommes lancés sans filet et sommes satisfaits du résultat.

Attention à manipuler avec précautions l'affleureuse ou la défonceuse. Ces engins tournent à 28 000 t/mn et un accident est vite arrivé à qui n'observe pas les consignes de sécurité...

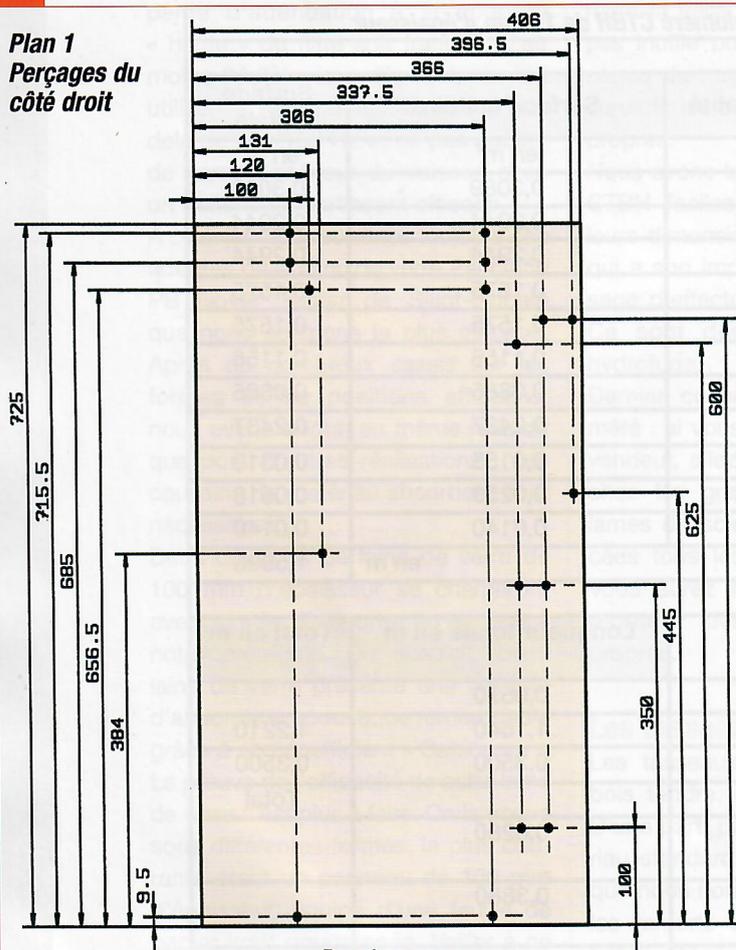
et nous tenons à conserver tous nos lecteurs !

Nous avons opté pour un placage de stratifié « frêne noir » de 0,9 mm d'épaisseur. Il existe une multitude de décors. Les imitations d'essence de bois sont d'une incroyable perfection. Voici un petit secret, le placage en stratifié apporte un avantage acoustique inattendu. Nous nous sommes aperçus qu'un caisson nu sonnait différemment du même plaqué avec du stratifié.

En acoustique, les vibrations sont l'ennemi majeur. Sous l'effet des pressions internes, les panneaux des enceintes acoustiques génèrent des vibrations indésirables. Le placage stratifié se fait avec un double encollage de néoprène étalé sur toute la surface des panneaux extérieurs des caissons et des feuilles de stratifié.

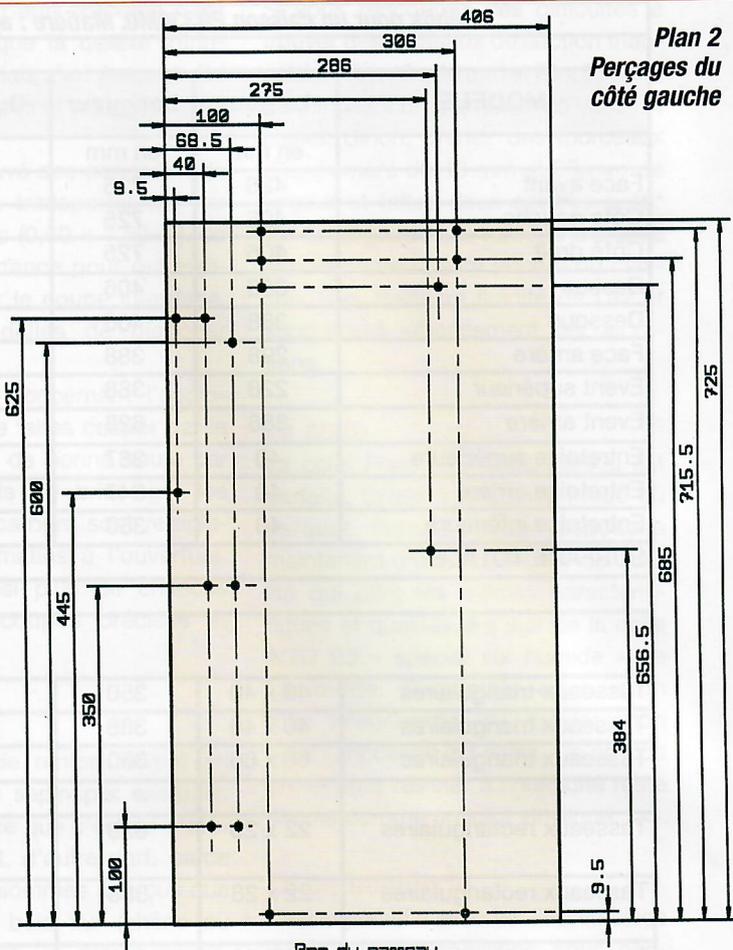
À ce stade, nous préconisons la colle Aggoplac liquide de Lambiotte. Cette

Plan 1
Perçages du côté droit



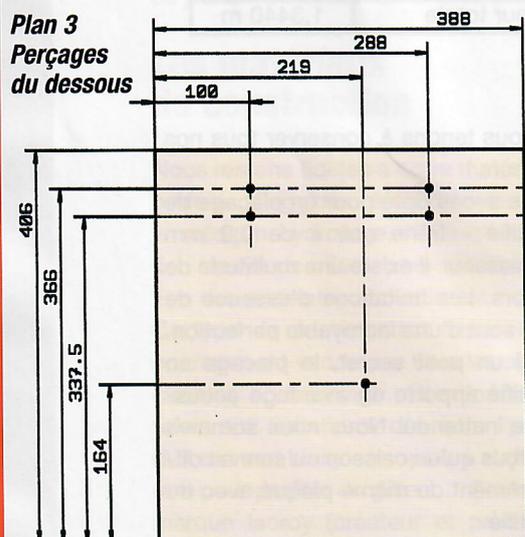
Bas du panneau
17 trous fraisés de \varnothing 4 mm

Plan 2
Perçages du côté gauche

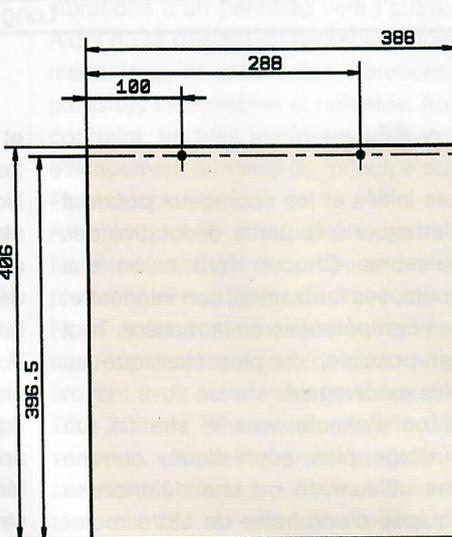


Bas du panneau
17 trous fraisés de \varnothing 4 mm

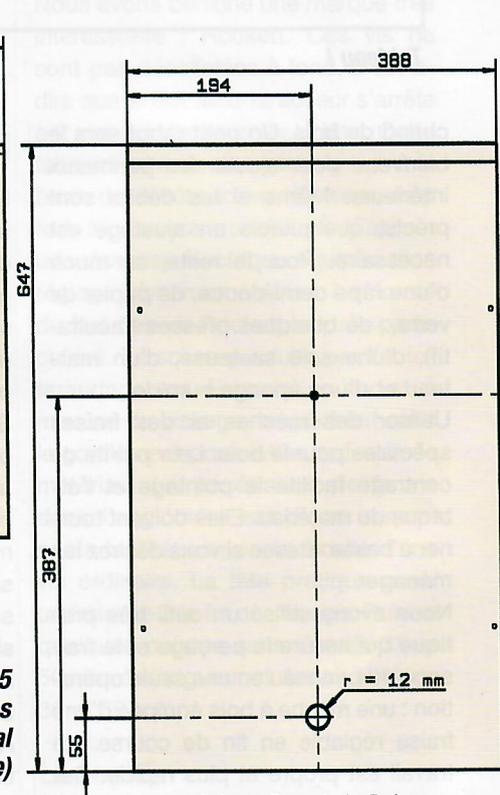
Plan 3
Perçages du dessous



Avant
5 trous fraisés de \varnothing 4 mm



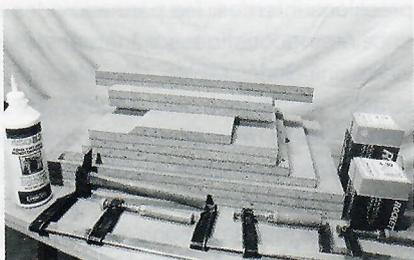
Avant
2 trous fraisés de \varnothing 4 mm



1 trou fraisé de \varnothing 4 mm

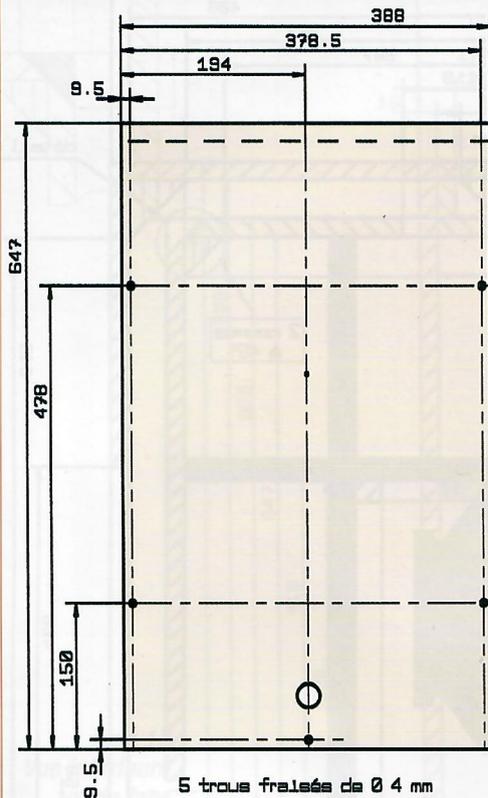
Plan 4
Perçages du dessus

Plan 5
Perçages de l'évent vertical (vue de l'arrière)

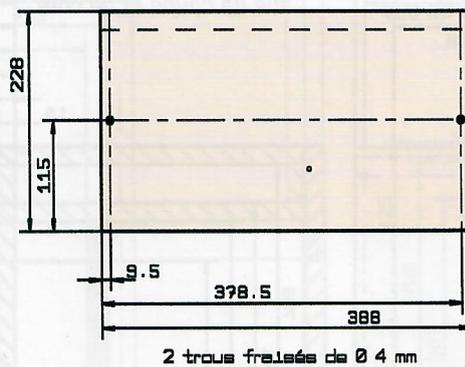


A

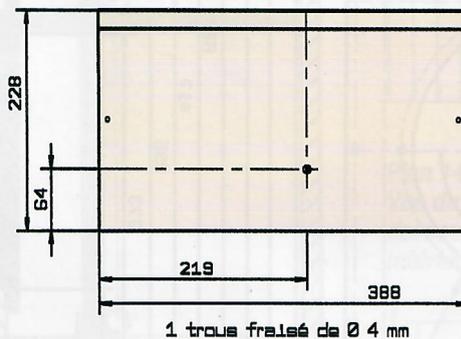
Plan 6
Perçages de l'évent vertical (vue intérieure)



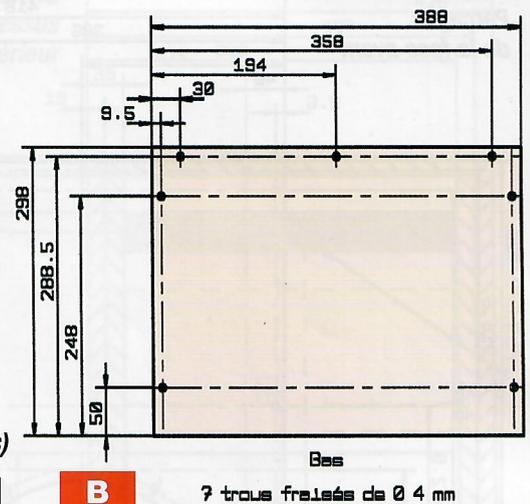
Plan 7
Perçages de l'évent supérieur (vue de dessous)



Plan 8
Perçages de l'évent supérieur (vue de dessus)

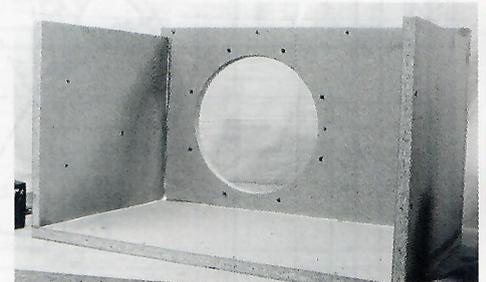


Plan 9
Perçages du fond



B

7 trous fraisés de Ø 4 mm



colle néoprène, prise en sandwich entre l'aggloméré et la feuille de stratifié, agit comme un brise-vibration. Cette technique, vieille comme le monde, est utilisée dans l'industrie. Il suffit de coller un morceau de carton bituminé sur une surface subissant des vibrations pour remédier au problème. Au lieu de fabriquer des enceintes avec des parois épaisses, cet artifice suffira à obtenir un bon résultat.

Ultimes conseils

Lorsque tous les panneaux sont découpés et percés, les dépoussiérer avec un aspirateur, surtout les tranches, car la sciure de découpe s'y dépose et produira un collage médiocre.

Avant chaque encollage, passer un coup d'abrasif sur la face à coller, afin de favoriser la pénétration de la colle. Le CTBH a tendance à paraffiner en surface à cause de la colle phénolique employée pour lier les particules. Ne pas hésiter à charger en colle : il vaut mieux en mettre trop que pas

assez. Lorsqu'un panneau est monté, passer le doigt sur la bavure afin d'assurer un joint parfait. Surtout, bien nettoyer les surplus de colle avec une éponge humide, régulièrement rincée à l'eau claire.

Pour la connexion, nous avons choisi le modèle de prise haut-parleur Speakon devenu un standard dans le domaine de l'audio professionnelle. À la place du modèle carré, il existe un modèle circulaire qui peut être encastré ou en applique dans le panneau de la face arrière. Si vous préférez un autre type de prise, ne tenez pas compte du trou de 24 mm prévu sur le plan. Mais n'oubliez pas que ce connecteur, d'excellente qualité, est bon marché.

Le montage

Heureux lecteurs, le travail vous est mâché ! Après avoir assemblé six caissons, notre méthode est parfaitement au point ! En suivant scrupuleusement nos explications et conseils, étape par étape, le succès est garanti. Même ceux qui ne disposent pas de

presses réussiront, puisque les nombreuses vis servent à faciliter l'assemblage et le maintien pendant le séchage complet de la colle.

Aucune difficulté majeure n'est à craindre. Nos plans très détaillés et nos nombreuses photos vous guideront dans votre entreprise. Il est important de bien observer et étudier l'ensemble afin de s'imprégner de la conception du caisson.

Nous voilà prêts, l'ouvrage est sur la table (**photo A**). C'est parti !

- Commencer par le tracé des perçages et des découpes à l'aide des **plans 1 à 10**;

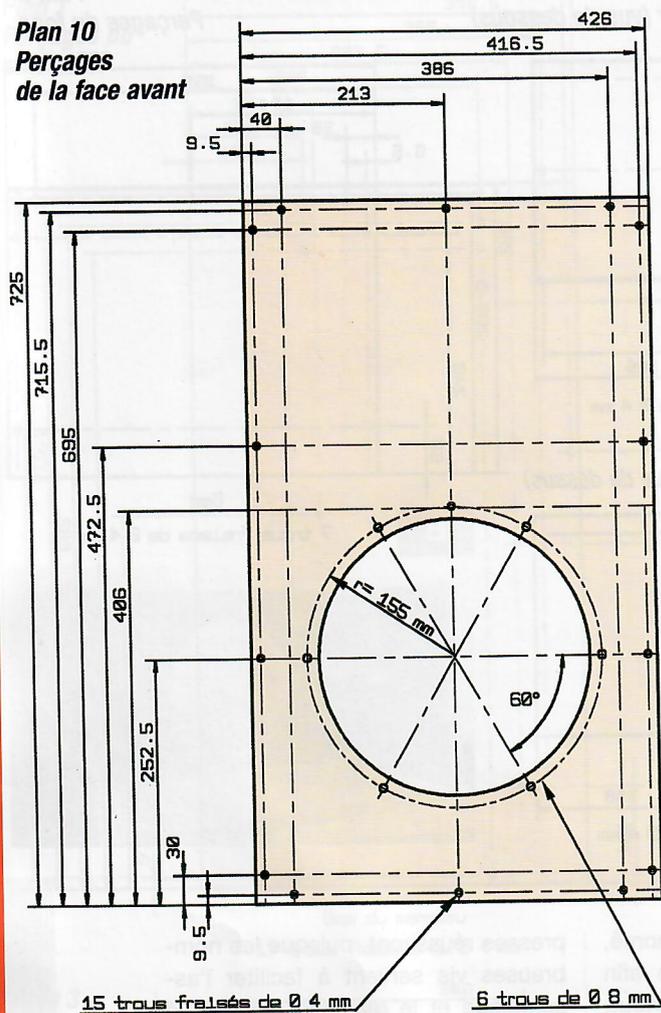
- Vérifier calmement le tracé en le comparant avec les cotes sur les plans correspondants;

- Usiner la découpe du haut-parleur sur les deux faces avant (une seule pour le triphonique);

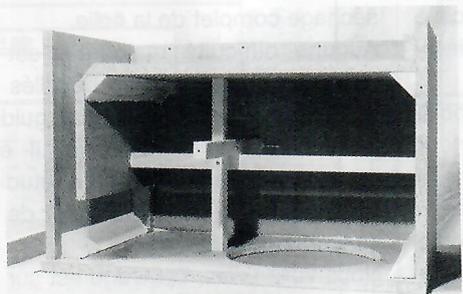
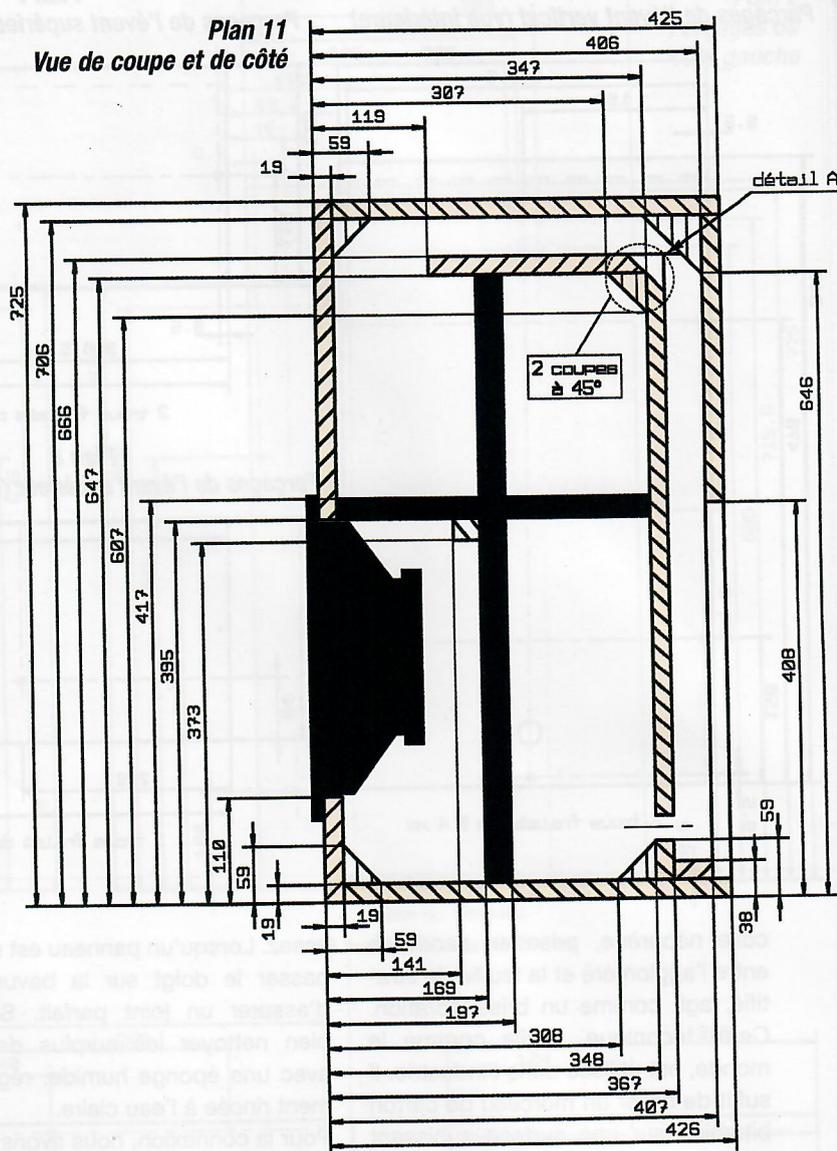
- Passer un coup de papier de verre pour ébavurer les coupes et dépoussiérer les pièces;

- Encoller, assembler et visser (vis de 50 mm) la face avant avec le côté droit, puis le dessus et le dessous, comme sur la **photo B**;

Plan 10
Perçages
de la face avant



Plan 11
Vue de coupe et de côté

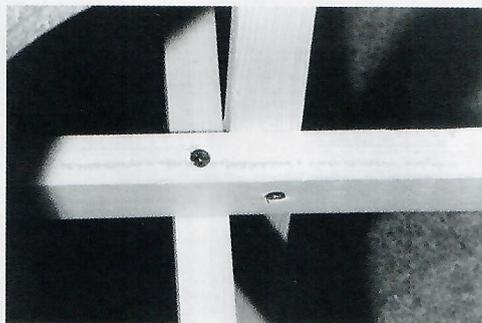
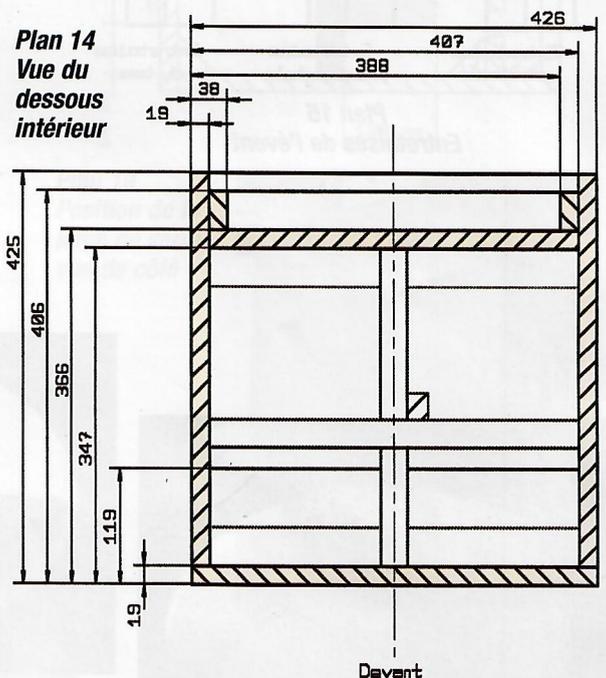
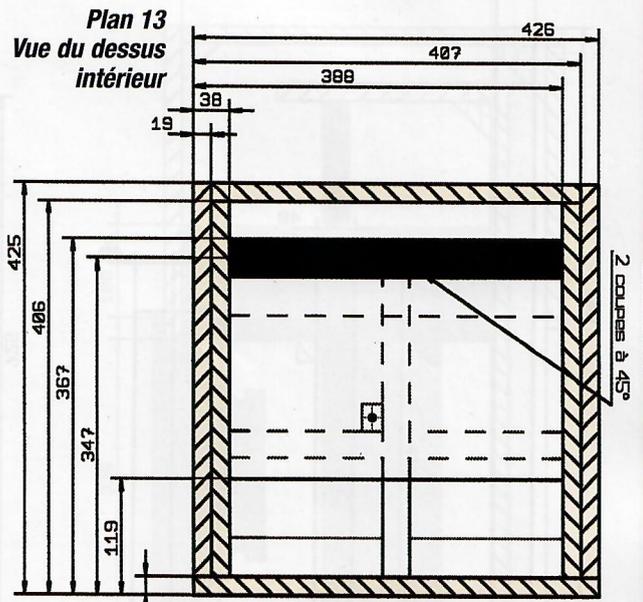
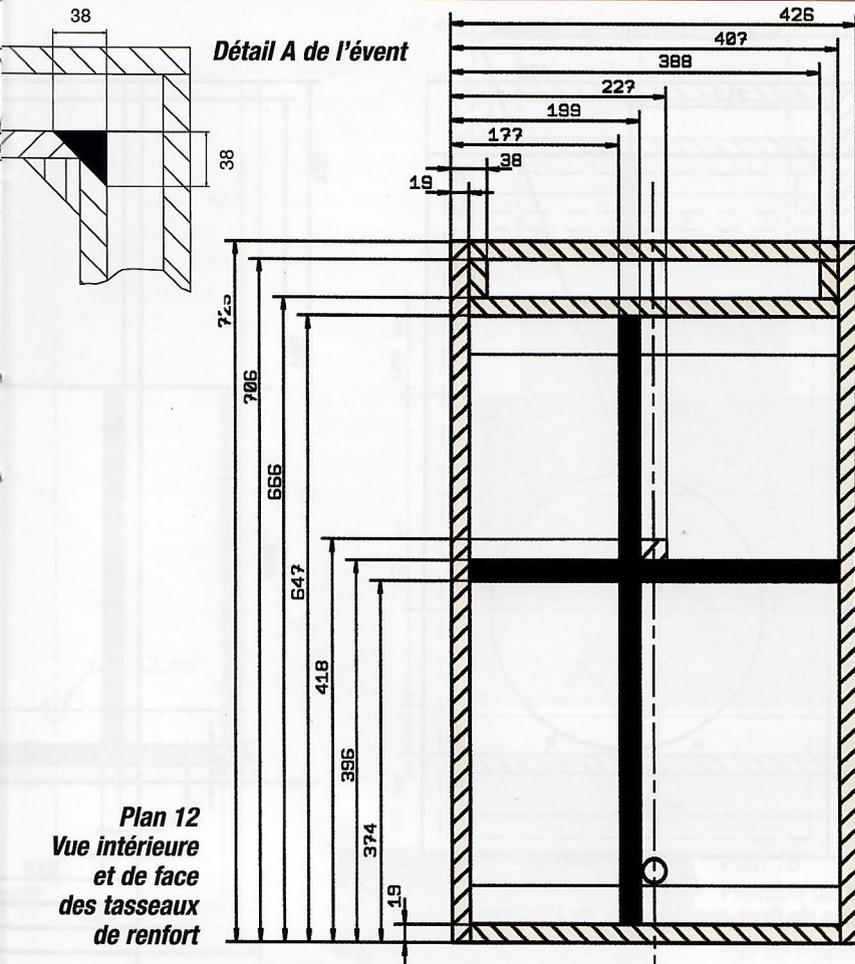


C

- Pour toutes ces opérations, s'aider des plans 11 à 17;
- Nettoyer les bavures de colle sur les parties qui seront collées ultérieurement;
- Vérifier les alignements et les rectifier si nécessaire, avec de légers coups de marteau aux bons endroits;
- Laisser sécher la colle environ une heure;
- Monter le côté gauche, sans colle, uniquement avec les vis de 50 mm;
- Poursuivre l'opération avec le fond, toujours sans colle;
- Ajuster à nouveau les alignements;

- Par l'intérieur, placer et coller les entretoises hautes et verticales sur le flanc intérieur gauche avec des vis de 30 mm à l'extérieur, les fixer;
- Même opération pour le flan intérieur droit;
- Démontez rapidement le fond et le côté droit;
- Nettoyer la colle sur les deux panneaux démontés et les mettre de côté;
- Prendre la mesure exacte du tasseau reliant le fond au panneau supérieur de l'évent et le couper;
- Encoller une extrémité du tasseau et le fixer sur le panneau supérieur

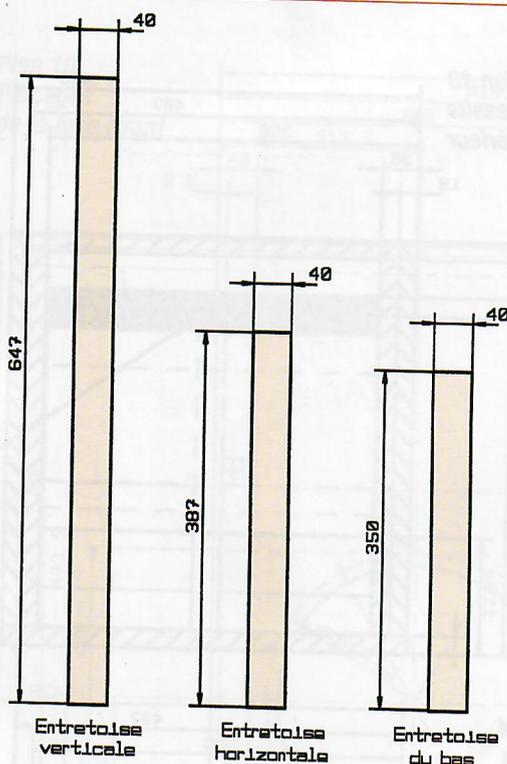
- avec une vis de 50 mm en vérifiant l'orientation (plans 11, 12, 13 ou 14);
- Encoller le panneau supérieur de l'évent et l'autre extrémité du tasseau préalablement fixé, seulement les parties à assembler sur le montage existant;
- Placer le panneau et le fixer avec les vis prévues à cet effet, de 30 mm sur l'entretoise intérieure et de 50 mm pour le côté et le tasseau sur le fond (**photo C**);
- Prendre la mesure exacte du tasseau reliant la face avant au panneau vertical de l'évent et le couper;



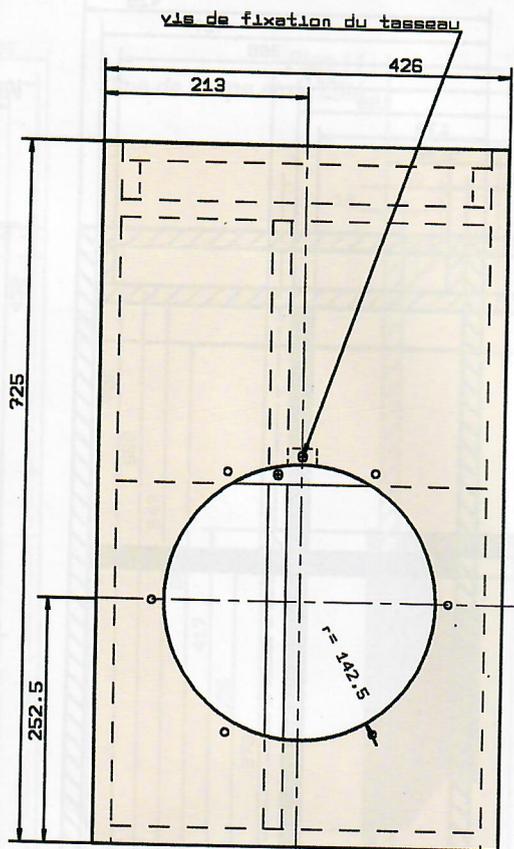
- Encoller une extrémité du tasseau et le fixer sur le panneau vertical de l'évent avec une vis de 50 mm, en vérifiant l'orientation (plans 11, 12, 13 ou 14);
- Encoller le panneau vertical de l'évent et l'autre extrémité du tasseau préalablement fixé, seulement les parties à assembler sur le montage existant;
- Placer le panneau et le fixer avec les vis prévues à cet effet, de 30 mm sur les entretoises intérieures et de 50 mm pour le côté, le fond et le tasseau sur la face avant (photo C);

- Préparer le tasseau reliant les côtés gauche et droit, encoller une extrémité et le fixer sur le côté gauche avec une vis de 50 mm;
- Respecter cet ordre de montage afin d'éviter tout problème pour passer les tasseaux;
- Comme le montre la **photo D**, placer deux vis de 50 mm aux croisements des tasseaux;
- Prendre les mesures des quatre tasseaux triangulaires de 40 x 40 mm et les couper. Remarque : celui de l'entrée de l'évent est plus court que les trois autres car s'y ajoute l'épais-

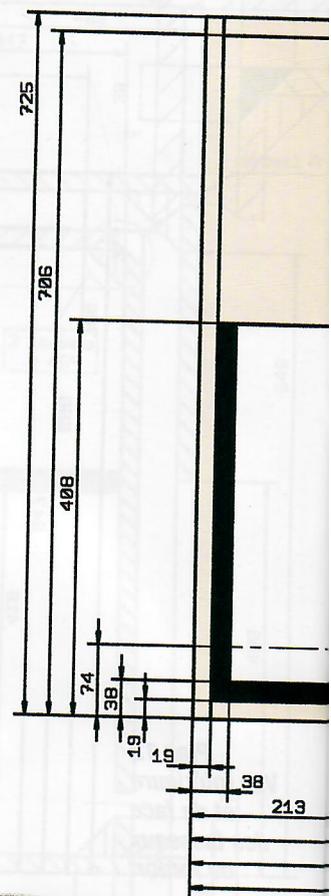
- seur de l'entretoise déjà fixée sur le côté droit. Casser l'arête (1 mm au moins) qui va se placer dans l'angle des panneaux car il se peut qu'il reste un dépôt de colle sèche;
- Encoller ces tasseaux, les placer puis les fixer avec quatre pointes de 35 mm;
- Vérifier si le travail effectué correspond bien aux plans et aux photos B, C et D;
- Encoller toutes les parties prévues pour recevoir le côté gauche : panneaux intérieurs de l'évent + extrémité des tasseaux + face avant + dessus et dessous;



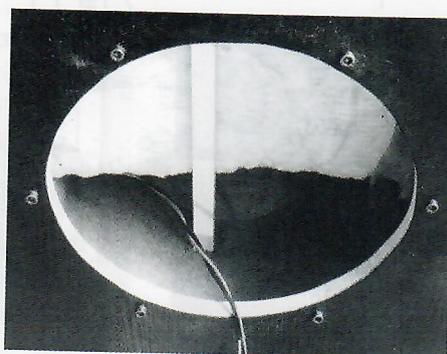
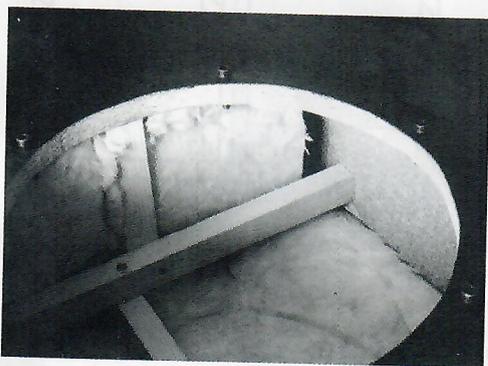
Plan 15
Entretoises de l'évent



Plan 16
Vue de face avec détails de l'intérieur



E



F

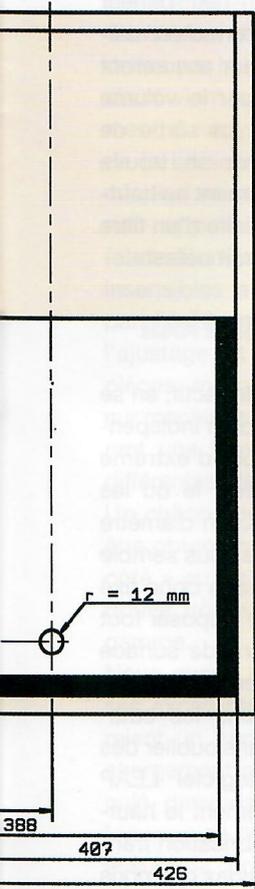


J

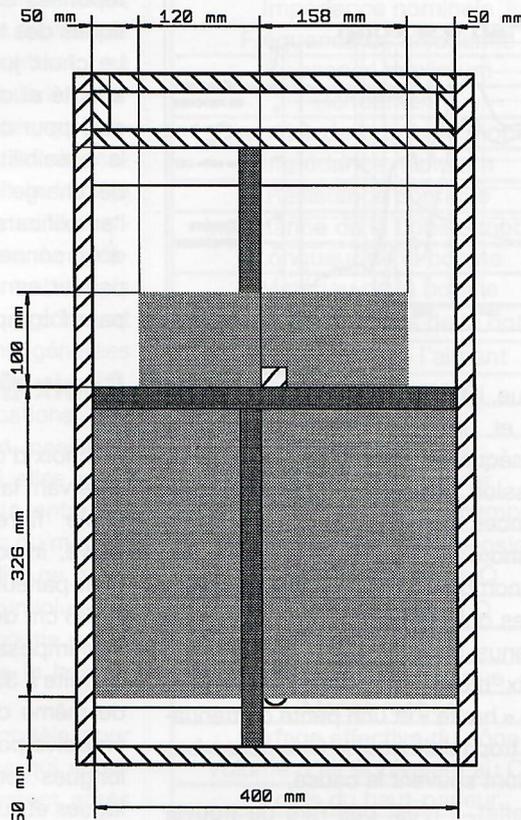
- Reprendre le côté gauche et encoller toutes les parties à fixer;
- Présenter ce dernier sur le montage, l'emboîter dessus, puis placer les vis et vérifier les alignements à mesure qu'on les bloque;
- Ne pas oublier les vis de 30 mm des panneaux de l'évent, à l'intérieur;
- Nettoyer les bavures de colle avec une éponge humide;
- Couper deux morceaux d'aggloméré de 19 mm (voir **plan du détail A**);
- Déposer une noisette de colle dans

- chaque trou de l'angle des entretoises;
- Placer les deux morceaux préalablement préparés et les fixer avec une pointe de 35 mm;
- Couper le tasseau triangulaire de l'évent de 60 x 60 mm, encoller une face et la placer dans l'évent par l'arrière (plan 11);
- Fixer ce tasseau avec une pointe de 50 mm, de chaque côté du caisson afin de le maintenir en attendant de monter le fond;

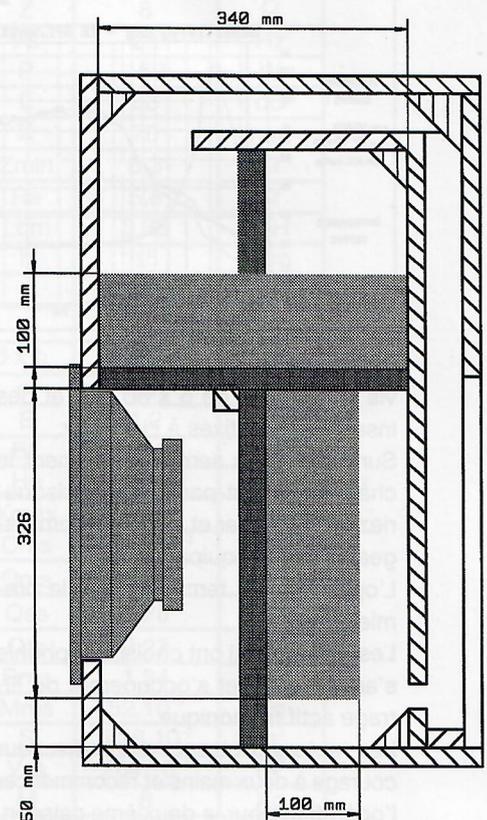
- Terminer en encollant toutes les parties recevant le panneau arrière ainsi que le panneau arrière lui-même, puis l'emboîter et le fixer définitivement avec l'ensemble des vis prévues.
- Placer les coussins de laine de verre dans le caisson. Les **plans 18** et **19** vous aideront au débit des panneaux et au positionnement dans le caisson. Afin de bloquer ces coussins, nous avons augmenté leur largeur d'un centimètre seulement pour



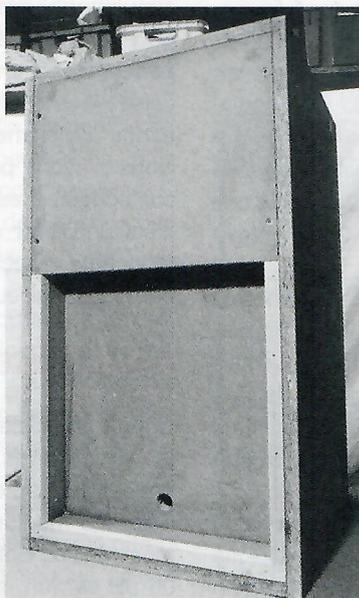
Plan 17
Vue de la face arrière



Plan 18
Position de la
laine de verre
vue de l'avant



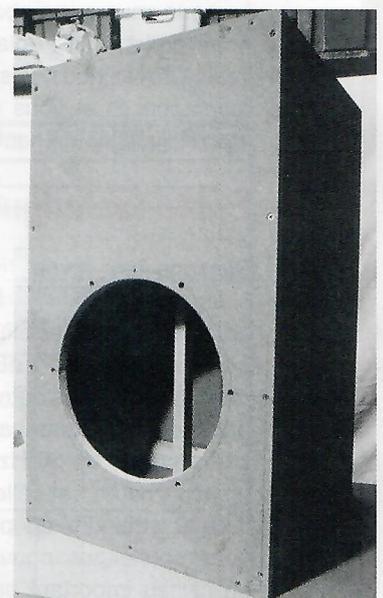
Plan 19
Position de la
laine de verre
vue de côté



G



I



H

ne pas risquer de les plier. Sur les côtés qui touchent les parois du caisson, on pourra déposer un peu de colle blanche pour empêcher le glissement des panneaux.

La **photo E** montre la position du coussin de laine de verre dans la partie basse du caisson.

La **photo F** montre le détail du positionnement des coussins supérieurs. Les **photos G, H, et I** montrent le travail terminé du caisson de 75 litres.

On peut figurer ce travail en com-

blant l'espace laissé par les entretoises de l'évent, avec des tasseaux de 19 x 19 mm. Cette finition sera très utile si on choisit de recouvrir le caisson de stratifié. Coller sur une largeur de 19 mm est, en effet, une opération délicate (photo E).

Reste la décoration des caissons. Placage ou stratifié ? A vous de choisir ! Admirez le résultat du placage de stratifié noir de notre caisson.

Sur la photo I, on aperçoit la prise femelle Speakon fixée à l'arrière.

Avant de la monter, il convient de la câbler avec deux longueurs (70 cm) de fil de forte section (minimum 1,5 mm²) sur les bornes (1+) et (1-).

Attendre quelques jours pour monter les haut-parleurs afin de s'assurer que la colle est complètement sèche.

- Raccorder le haut-parleur avec les deux conducteurs 1,5 mm² de section venant de la prise Speakon, avec le fil (+) sur la borne rouge et le fil (-) sur la borne noire;

- Monter le haut-parleur à l'aide des

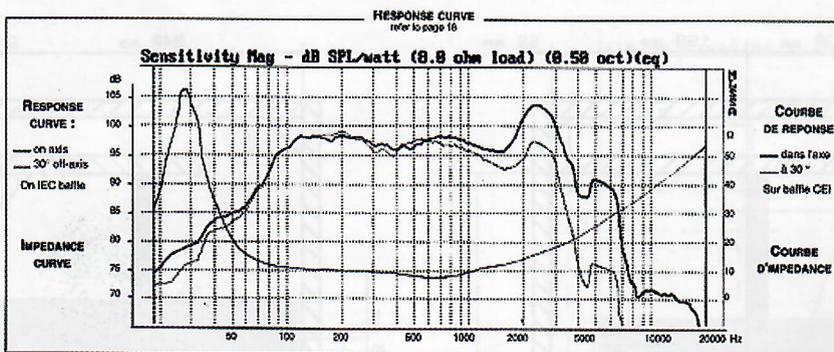


Figure 1

vis BTR noires de 6 x 30 mm et des inserts à griffe fixés à l'intérieur.

Surtout ne pas serrer brutalement le châssis du haut-parleur, vous risqueriez de le fausser et ce serait dommageable pour l'équipage mobile.

L'opération est terminée pour le premier caisson.

Les lecteurs qui ont choisi la triphonie s'arrêteront là et s'occuperont du filtrage actif triphonique.

Les autres doivent reprendre leur courage à deux mains et recommencer l'opération pour le deuxième caisson. Lorsque vous aurez abouti à la fin de notre projet, tout le plaisir sera pour vous. Croyez-nous, vos efforts seront récompensés et vous serez fiers de vos réalisations de haut de gamme.

Étude technique

Passons en revue le cahier des charges.

La fréquence (cruciale) de coupure basse de 25 Hz à -3 dB détermine la majeure partie des autres paramètres primordiaux du futur haut-parleur.

La fréquence de 30 Hz nous semble un peu « haute » et celle de 20 Hz difficile à atteindre en puissance, car nous souhaitons pouvoir reproduire un niveau important sans compression. Une coupure à 25 Hz (-3 dB) apparaît donc comme un excellent compromis.

Nous avons pour objectif un volume inférieur à 80 dm³.

On peut voir, ici ou là, des caissons d'un volume relativement faible qui prétendent réaliser des performances assez ahurissantes pour 100 à 300 W, avec une coupure « basse » de 20 Hz à -3 dB.

La physique a tout de même encore quelques règles insurmontables car, avec un haut-parleur électrodyna-

mique, il faut toujours un certain volume et une surface de membrane conséquente pour créer le champ de pression correspondant aux fréquences basses que nous voulons atteindre.

De nombreux mélomanes et audiophiles ont été déçus par les résultats obtenus avec certains caissons. Le choix d'une fréquence de coupure trop « haute » et une pente d'atténuation trop faible pour le filtre passe-bas en sont souvent la cause.

En effet, il n'est pas rare de trouver des caissons présentant des fréquences de coupure « haute » à 200 Hz, voire 300 Hz, avec des pentes de coupure de seulement 12 dB/octave. L'expérience et les mesures nous ont conduits à retenir la valeur de fréquence maximale de 150 Hz avec une pente d'atténuation de 24dB/octave minimum.

Par conséquent, il nous semble extrêmement difficile, voire impossible, de réaliser un système avec un ou deux caissons de grave de très haute qualité en utilisant des filtres passifs. Ceci pour les raisons suivantes :

- difficulté d'effectuer correctement la sommation des voies gauche et droite sur un caisson central unique (sauf en utilisant un haut-parleur à deux bobines mobiles);
- les valeurs prohibitives imposées par les basses fréquences mises en jeu (de l'ordre de la centaine de hertz), pour les selfs et les condensateurs, si l'on souhaite utiliser des composants de haute qualité;
- nécessité d'obtenir une pente raide pour les filtres.

L'utilisation d'un filtre actif procure une plus grande souplesse de réglage et de mise au point, tout en permettant de modeler les courbes de

réponses en fonction des caractéristiques des haut-parleurs utilisés.

Le choix judicieux d'un haut-parleur adapté et d'un circuit correcteur calculé pour ce haut-parleur assureront la possibilité de diminuer le volume de charge nécessaire. La sortie de l'amplificateur de grave se trouve donc connectée directement au haut-parleur, sans l'intermédiaire d'un filtre passif complexe qui serait néfaste.

Choix du haut-parleur

Le choix d'utiliser un filtre actif, en se réservant la possibilité d'un indispensable filtre correcteur d'extrême grave, impose de trouver le ou les haut-parleurs adéquats. Un diamètre de 38 cm de membrane nous semble trop imposant, nous avons donc fixé la limite à 33 cm afin de disposer tout de même de la plus grande surface émissive possible. Il s'en est suivi de longues recherches dans les catalogues et sur le Web, sans oublier des simulations avec le logiciel LEAP pour sélectionner finalement le haut-parleur de 33 cm de fabrication française : le PR330M0 d'Audax que nous avons déjà mentionné (photo J). Nous n'avons pas d'idée préconçue sur l'origine des haut-parleurs, mais c'est un plaisir de constater que les fabricants français figurent toujours parmi les meilleurs en ce domaine.

Découverte du PR330M0

Conçu spécialement pour restituer les sons graves, cet imposant haut-parleur de 8 kg est capable de reproduire les médiums jusqu'à pratiquement 2 kHz. Son haut rendement de 96 dB est fort intéressant pour notre application. Le constructeur a obtenu un tel rendement grâce à un système magnétique largement dimensionné (couronne de ferrite de 180 mm de diamètre), associé à une bobine tournée avec du fil de cuivre plat sur champs, sur un support Kapton renforcé par de la fibre de verre et une membrane en fibre de cellulose (papier).

La suspension est du type mousse, étudiée pour fonctionner plus particulièrement en système bass-reflex accordé. Un châssis moulé ultra rigide

en zamac injecté, de couleur noire, comporte de nombreuses ailettes de refroidissement qui permettent une dissipation efficace des calories produites par la bobine. Un usinage judicieux vient compléter le refroidissement du noyau et accroît la fiabilité de la bobine dans le domaine thermique. Les caractéristiques du matériau appelé zamac permettent la fabrication de châssis rigides et insensibles aux vibrations générées par l'équipage mobile. De surcroît, l'ajustage et les rectifications des pièces mécaniques sont possibles sur machines-outils. Ainsi, elles assurent une bonne continuité entre les différentes pièces polaires du moteur. Un châssis de cette qualité ne peut être obtenu avec « de l'aluminium tricoté » ou de la tôle emboutie qu'on trouve trop souvent dans le bas de gamme.

Nous avons retenu ce modèle pour ses excellents paramètres qui auguraient un bon fonctionnement après chargement par un volume bien calculé, dans les limites du raisonnable. L'excursion linéaire (Xmax) de 4 mm assure la possibilité éventuelle de « booster » le grave afin d'obtenir la fréquence d'accord recherchée de 25 Hz à - 3 dB. Enfin, le coût raisonnable permet la réalisation de caissons performants pour un prix de revient très abordable.

Le PR330M0 est équipé de bornes de raccordement efficaces et de très belle facture. Après des recherches sérieuses et objectives, nous pouvons conclure que nous sommes en présence d'un haut-parleur de conception et de fabrication française, composant de haut de gamme offrant des paramètres intrinsèques remarquables.

La **figure 1** représente la courbe de réponse efficace du PR330M0 et le **tableau II** dévoile les valeurs quasi complètes des caractéristiques de ce transducteur de qualité.

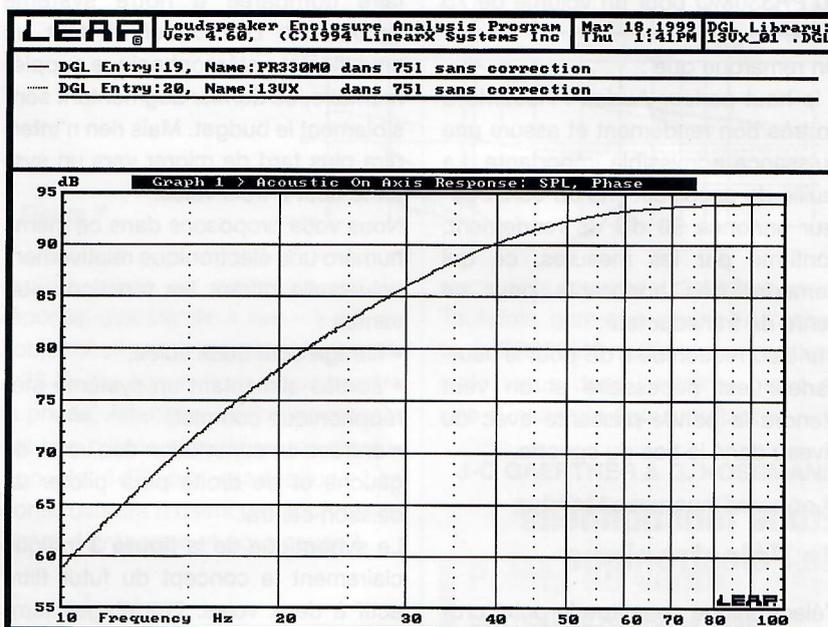
Charge du haut-parleur

D'emblée, nous avons exclu l'enceinte close car nous voulions diminuer le volume de charge à l'aide d'un correcteur électronique adapté finement. Or, avec une enceinte close, le dépla-

Impédance nominale	Z	8	Ω
Fréquence de résonance	Fs	28	Hz
Puissance maximum	P	150	W
Rendement	E	98	dB
Diamètre de la bobine mobile	\varnothing	70	mm
Impédance minimum	Zmin	6,3	Ω
Résistance continue	Re	5,8	Ω
Inductance de la bobine mobile	Lbm	0,38	mH
Longueur de la bobine	h	15	Mm
Matériau de la bobine		Kapton	
Nombre de couches de la bobine	n	1	
Dimensions de l'aimant	$\varnothing \times h$	184x20	Mm
Poids de l'aimant	m	1,91	Kg
Densité du flux	B	1,2	T
Facteur de force	BL	13,5	NA ⁻¹
Hauteur de l'entrefer	He	7	Mm
Excursion linéaire de la membrane	Xmax	± 4	Mm
Compliance de la suspension	Cms	$0,65 \cdot 10^{-3}$	mN ⁻¹
Facteur mécanique Q	Qms	6,69	
Facteur électrique Q	Qes	0,28	
Facteur Q total	Qts	0,27	
Résistance mécanique	Rms	1,34	kg s ⁻¹
Masse mobile	Mms	$52 \cdot 10^{-3}$	Kg
Surface effective du cône	S	$5,38 \cdot 10^{-2}$	m ²
Volume d'air équivalent au Cas	Vas	$264 \cdot 10^{-3}$	m ³
Poids du haut-parleur	M	8	Kg

Tableau II

Figure 2



cement de la membrane augmente lorsque la fréquence diminue.

Ce déplacement devient vite incompatible avec le niveau recherché.

Après avoir essayé, sans réel succès, les enceintes passe-bande accordées, nous nous sommes orientés vers des charges de type « Bass

reflex » où un évent prend le relais du haut-parleur dans une bande étroite de fréquences.

Bass-reflex sous amorti

Compte tenu de la fréquence de coupure de 25 Hz, de la tenue en puis-

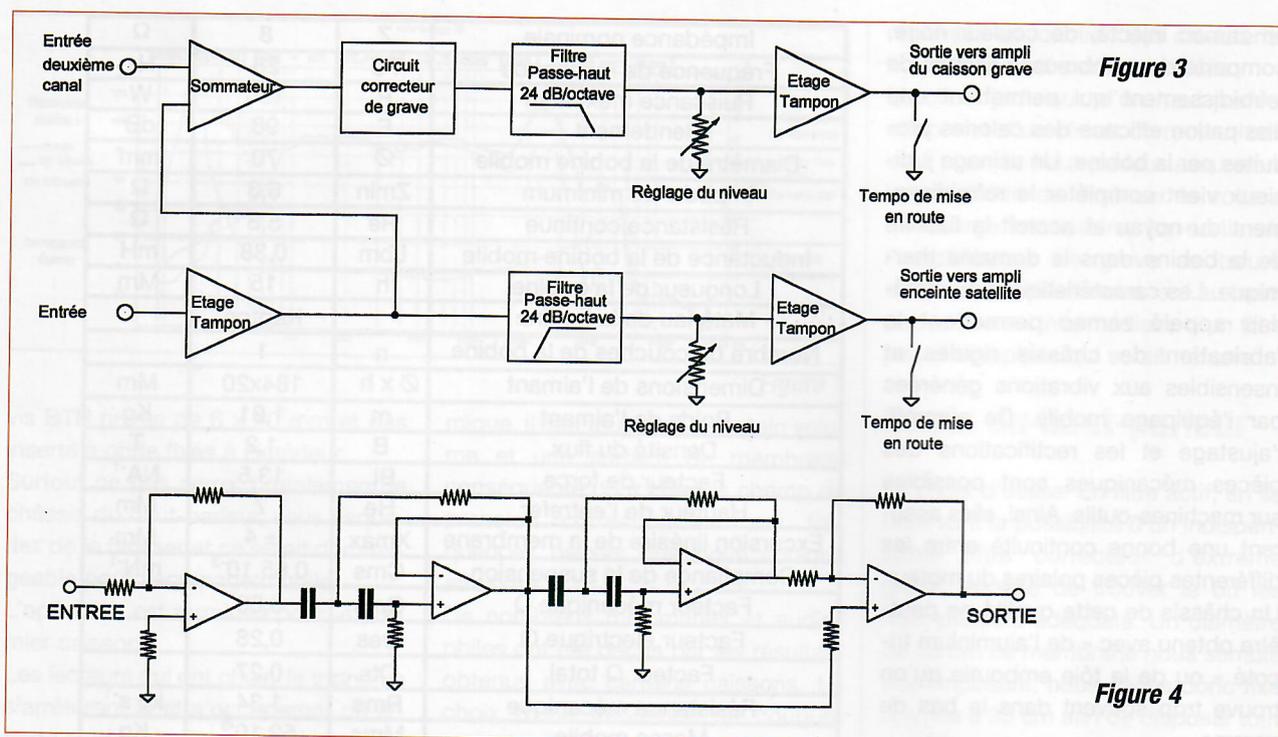


Figure 3

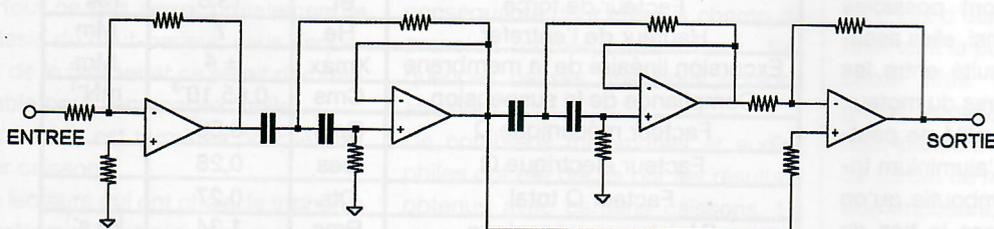


Figure 4

sance des haut-parleurs et des limites de déplacements des membranes, nous avons retenu la fréquence de 27 Hz pour l'accord de l'évent. La **figure 2** vous montre la réponse amplitude/fréquence (pour 2,83 volts) du PR330MO pour un volume de 75 litres.

On remarque que :

- le haut-parleur Audax PR330MO a un très bon rendement et assure une puissance admissible importante. La feuille de spécifications du constructeur annonce 96 dB de rendement, confirmé par les mesures, ce qui demeure très honorable pour ce genre de transducteur;
- une correction de 8 dB pour le haut-parleur est nécessaire si on veut étendre la bande-passante avec du niveau dans le bas du spectre.

Étude fonctionnelle de l'électronique

L'électronique constitue le point crucial de cette étude. Pour mieux comprendre ses enjeux, nous abordons le développement théorique permettant d'aboutir à une réalisation matérielle complète avec une nomenclature détaillée des composants et leurs valeurs. Les lecteurs intéressés par les enceintes « coaxiales » (cf. EP Hors série audio n°3) attendent une version de filtre actif à deux voies

pour compléter leur système. Notre filtrage passif est déjà très élaboré et efficace, il ne nécessite pas un nouveau filtrage actif.

Un filtrage actif à trois voies ne représente pas une amélioration spectaculaire comparée à notre système actif/passif. De surcroît, il faut un amplificateur stéréophonique supplémentaire, ce dernier augmentant sensiblement le budget. Mais rien n'interdira plus tard de migrer vers un système actif à trois voies.

Nous vous proposons dans ce même numéro une électronique relativement universelle offrant les fonctions suivantes :

- filtrage actif deux voies;
- sorties alimentant un système stéréophonique complet;
- entrées en sommation des voies de gauche et de droite pour piloter un caisson central.

Le synoptique de la **figure 3** indique clairement le concept du futur filtre actif à deux voies. Les étages tampon d'entrée et de sortie sont présents pour assurer l'adaptation d'impédance nécessaire entre les différents éléments des filtres passe-haut et passe-bas, ainsi que le circuit correcteur. Le circuit de sommation permet d'additionner les canaux gauche et droit dans le cas d'une utilisation en mode triphonique avec un seul caisson de grave central.

Enfin, sur chaque sortie, une temporisation dérive les signaux vers la masse permettant aux différents circuits de se stabiliser pendant le temps de temporisation. Par cette fonction, on évite tous les bruits de commutation, protégeant ainsi les haut-parleurs.

Le circuit correcteur

La **figure 4** montre le circuit correcteur qui fait l'originalité du filtre que nous vous proposons. Nous avons besoin d'un circuit qui permette de régler de façon indépendante l'amplitude et la largeur de correction. Nous en avons profité pour introduire un filtre passe-haut du deuxième ordre (12 dB/octave) afin de limiter les déplacements de la membrane dans l'infra-grave. Nous avons utilisé le logiciel Calsod afin d'optimiser les valeurs des composants en fonction de notre objectif. Les valeurs de ces composants sont d'une grande précision. Il sera impératif de les respecter scrupuleusement lorsqu'elles seront indiquées.

Le filtre passe-bas

Sur la **figure 5**, qui représente le filtre passe-bas, nous avons utilisé deux filtres de deuxième ordre dans une structure « Sallen & Key » en série pour obtenir un filtre du quatrième

ordre de 24 dB/octave. Nous avons choisi des filtres de type « Linkwitz Riley ». Ce type de filtre nous semble particulièrement bien adapté puisqu'il offre une réponse en phase à la coupure et une réponse transitoire acceptable. L'idéal aurait été d'utiliser un filtre de type « Bessel » proposant une meilleure réponse transitoire, mais l'atténuation dans les premières octaves était insuffisante pour cette application.

Le filtre « Linkwitz Riley » est le résultat d'une simple mise en série de deux filtres de type « Butterworth ». Nous vous suggérons de fixer la fréquence de coupure à 150 Hz pour un système à deux caissons et plutôt en dessous de 100 Hz pour un caisson unique.

Le filtre passe-haut

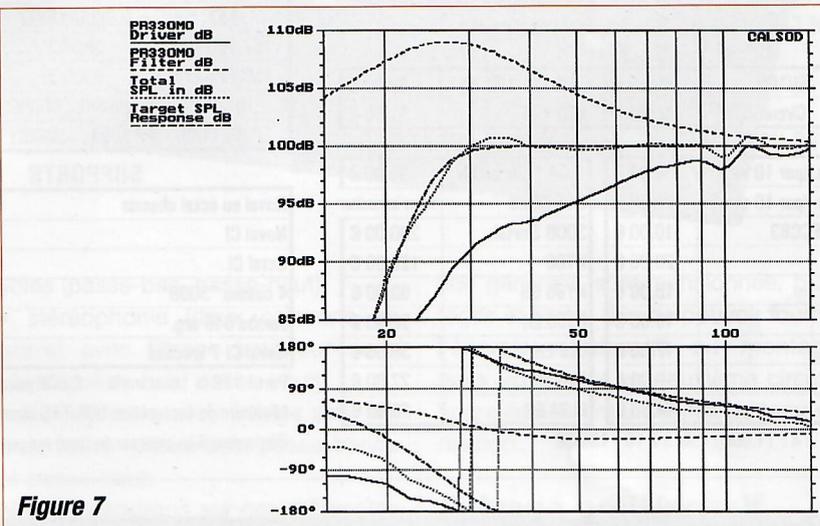
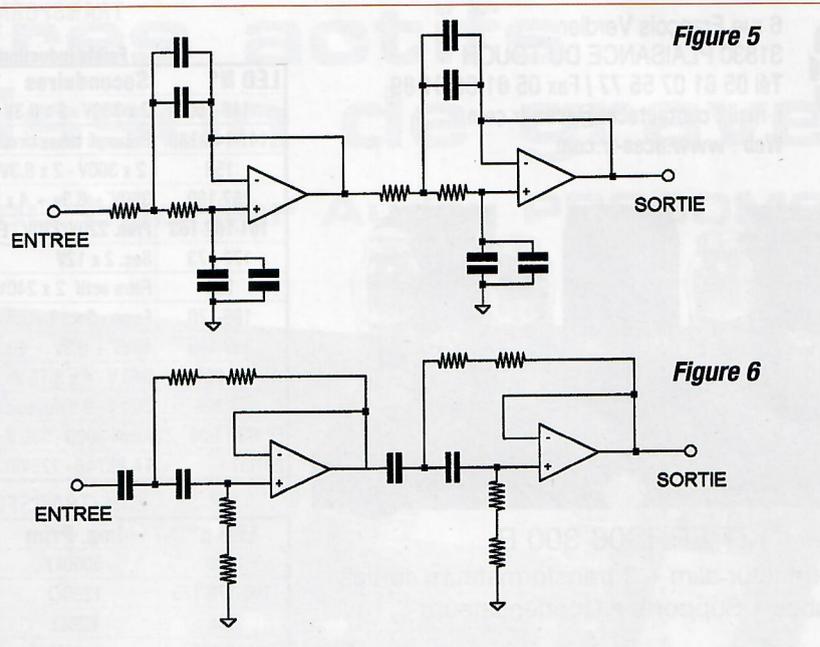
De nombreux systèmes n'utilisent pas de filtre passe-haut pour les enceintes principales, peut-être par souci de simplification. Il semble pourtant judicieux de filtrer l'extrême grave pour soulager les haut-parleurs des enceintes principales, qui pourront alors laisser s'exprimer le grave et le médium de manière optimale.

Le filtre passe-haut de la **figure 6** est de structure identique à celui du passe-bas, toujours avec la mise en série de deux filtres « Butterworth » d'ordre 2.

Les résultats et mesures

Nous avons mesuré le caisson de 75 l équipé du PR330M0 avec le système MLLSA, puis importé les résultats des mesures dans le logiciel Calsod (**figure 7**). Notons que la mesure dans le grave d'une enceinte à événement ou à plusieurs haut-parleurs est toujours délicate. Nous avons employé la technique développée par D.B. Keel en 1974 et présentée dans le journal de l'Audio Engineering Society sous le titre *Low Frequency Loudspeaker Assesment by nearfield Sound Pressure Measurement JAES*, Vol. 22 n°3, avril 1974. Nous recommandons vivement cet excellent article aux lecteurs intéressés.

La courbe en trait plein correspond à la réponse du haut-parleur sans cor-



rection, celle en pointillés est la réponse globale de + ou - 1 dB de l'objectif et une correction de 8,5 dB de 20 à 28 Hz. La figure du dessous montre la phase. Attention, l'échelle verticale est très dilatée et indique une résolution de 1dB par graduation. Les constructeurs n'osent pas montrer ce genre de réponse et pour cause !

Conclusion

Le PR330M0 offre des résultats tels qu'on les espérait en respectant l'objectif fixé. Nous sommes en présence d'un caisson de haut de gamme, au prix de revient raisonnable et dont le volume demeure facilement logeable dans une pièce de dimensions moyennes. Ce caisson trouvera aisément sa place au sein des systèmes

manquants de grave et d'extrême grave. Toutefois, gare aux voisins ! A l'écoute, le PR330M0 révèle une exceptionnelle tenue dans l'extrême grave et une dynamique époustouflante.

J-C GAERTNER & G. KOSSMANN
gabriel.kossmann@orange.fr

Points de vente

Le PR330M0 AUDAX se trouve aisément dans les points de vente suivants :

- **MocAudio**
56, rue de Suède, Bât.5, 37100 Tours,
Tél. : 09 51 37 31 86 ou 06 22 42 49 11
- **La Maison du Haut-parleur**
- 138 avenue Parmentier, 75011 Paris,
Tél. : 01.43.57.80.55
- 46 rue Juliette Recamier, 69006 Lyon,
Tél. : 04 72 74 15 18
- 8 rue Ozenne, 31000 Toulouse,
Tél. : 05 61 52 69 61

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



KIT EPHS06 300 B

1 transformateur alim + 2 transformateurs sorties
Tubes • Supports • Condensateurs

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

SELF

LED 146-152	EI/10H	60.00 €	LED 161-162 7H	49.00 €
LED 151-170	Circuit C/3H	49.00 €	LED 175	31.50 €

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 €
GZ34	19.00 €
6SN7 EH	14.50 €

LAMPES APPAIREES

EL34 Tesla ou EH	35.00 €
845 Chine	nous consulter
300B Sovtek	200.00 €
KT90	120.00 €
KT88 EH	69.00 €
6550 EH	58.00 €
6L6 EH	35.00 €
6V6 EH	27.00 €
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
146-150	2 x 380V - 2 x 6.3V - 5V	100.00 €
147-148-188	Préampli tubes circuits "C" 2 x 220V - 2 x 6.3V	82.00 €
152	2 x 300V - 2 x 6.3V	106.00 €
157-160	380V + 6.3v + 4 x 3.15V	99.00 €
161-162-163	Prim. 220V/230V - Ecran - 2 x 330V - 6.3V en cuve	191.00 €
172-173	Sec. 2 x 12V	92.50 €
163	Filtre actif 2 x 240V + 12V	59.00 €
166-170	Ecran - Sec. 2 x 230V + 6.3V - 4.5A	95.00 €
167-169	400V + 6.3V + 4 x 3.15V + 75V	113.50 €
EP 299	340 V - 4 x 3.15 V - 75 V - 6.3 V	90.50 €
EP 305	300 V - 9 V - circuit C	79.50 €
EP HS 11/06	Ampli 300B - 350 V - 75 V - 6.3 V - 4 x 5 V - En cuve	146.50 €
EP 331	TA P674B - 225V/0.3A - 6.3V/1.9A En cuve	112.50 €

TRANSFORMATEURS DE SORTIE

LED n°	Imp. Prim	Imp. Sec	Puissance	Prix TTC
138	5000Ω	4/8Ω	5W	57.00 €
140-170-175	1250Ω	8Ω	Single 20W	88.00 €
145	625Ω	4/8Ω	Single 40W	113.50 €
146-150	6600Ω	4/8Ω	50W	113.50 €
152	2,3/2,8/3,5KΩ	4/8/16Ω	30W circuit C en cuve	234.00 €
157-160-169	3800Ω	4/8/16Ω	80W	113.50 €
159-171-173	3500Ω	4/8Ω	15W Circuit C en cuve	155.00 €
161-162	Single 845 - 8000Ω	4/8Ω	uit C en cuve	272.00 €
EP HS 11/06	PP 300B - 3000Ω	4/8Ω	30 W - En cuve	153.50 €

SUPPORTS

Noval ou octal chassis	4.60 €
Noval CI	3.30 €
Octal CI	4.60 €
4 cosse "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 + 6.00€ par transfo supplémentaire

Minimum de facturation 50€ TTC sinon frais de traitement 6.50€

Règlement à la commande (tout moyen de paiement accepté sauf CB)

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)

HSS

Filtres actifs pour caisson de grave

Étude adaptée au boomer Audax PR330M0



Après la réalisation du caisson de grave/extrême grave, passons à la phase suivante : l'étude et la réalisation d'un filtrage actif avec son circuit de correction de niveau. Lequel va nous permettre de booster le PR330M0 afin d'en tirer le meilleur.

Cette étude théorique s'achèvera sur la réalisation complète d'un filtrage actif adapté et surtout accordé à notre caisson de grave associé à la Coaxiale (enceinte deux voies décrite dans le hors-série n°3 d'*Electronique Pratique*, aujourd'hui épuisé) ou d'autres réalisations dont le niveau de grave fait défaut.

Ce filtre peut se décliner en plusieurs combinaisons, en fonction des besoins de chacun, par exemple :

- triphonie (un seul caisson de grave) avec filtrage actif/passif sur deux

voies (passe-bas, passe-haut);

- stéréophonie (deux caissons de grave) avec filtrage actif sur deux voies (passe-bas, passe-haut);
- stéréophonie avec filtrage actif sur trois voies : passe-bas, passe-bande et passe-haut.

Nous reviendrons sur ces différentes possibilités.

Quel que soit le nombre de voies du filtrage (deux ou trois voies ou triphonique), la structure de base du filtre reste identique. La différence réside seulement en certaines valeurs, dans le câblage des résistances, des condensateurs appropriés et sur le nombre de circuits imprimés.

Composition du filtre

Le système est constitué d'un circuit imprimé recevant le filtrage actif à deux voies (un passe-bas + un passe-haut) et le filtre correcteur/booster intégré, accordé pour le PR330M0 monté dans un caisson de 75 litres. Il sera doublé pour une utilisation stéréophonique.

Sur un deuxième circuit, trouveront place tous les éléments de l'alimenta-

tion générale, surdimensionnée, protégée et filtrée, afin de pouvoir fournir l'énergie nécessaire au montage deux voies. Sur ce deuxième circuit, figure également un circuit de temporisation.

Filtrage actif/passif

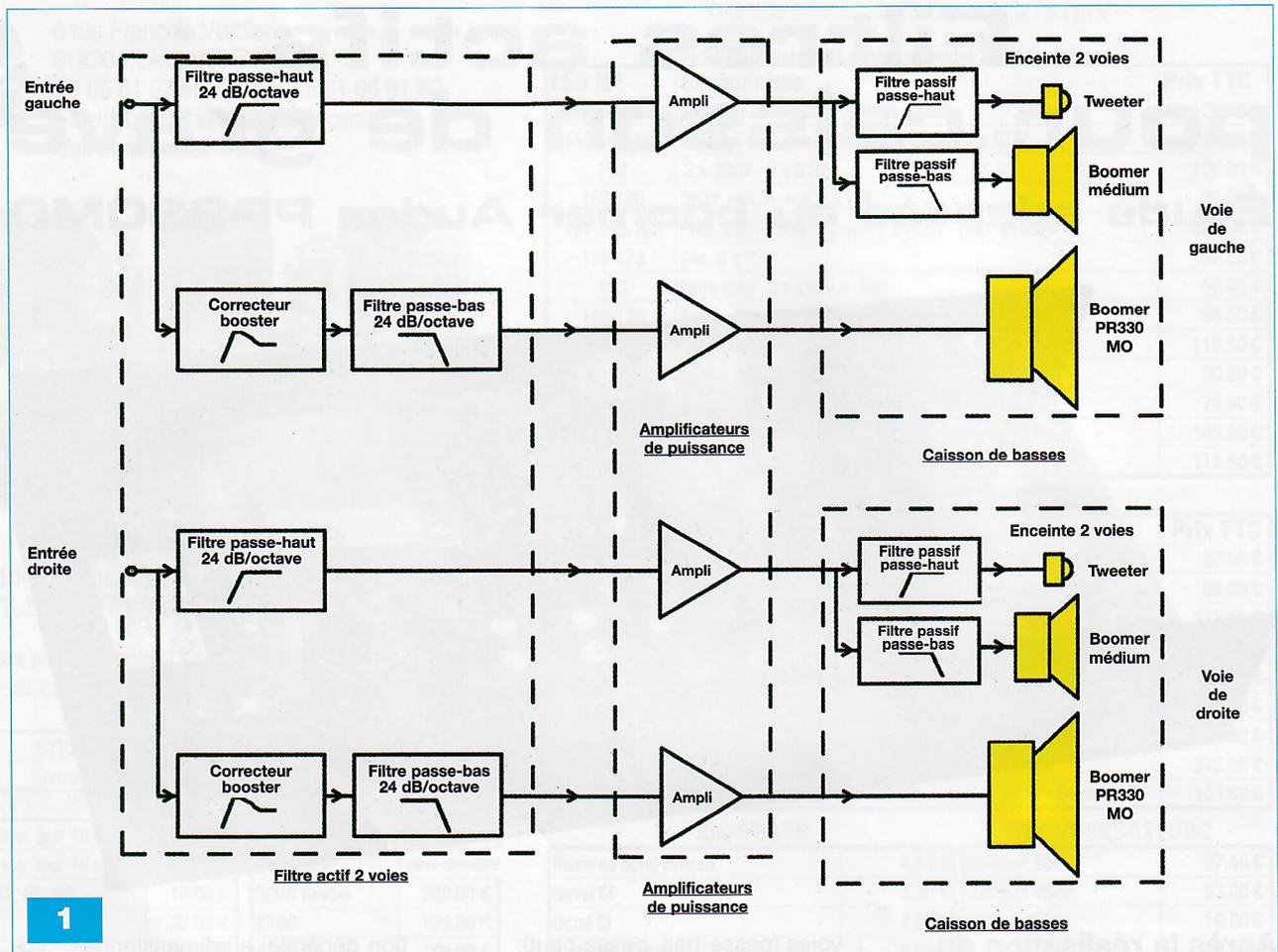
Dans la partie consacrée au caisson de grave, nous évoquons les difficultés rencontrées pour calculer le bon filtre « passif » capable de canaliser le signal « audio » sur les différents haut-parleurs d'une enceinte acoustique.

Notre étude porte, par conséquent, sur un ensemble comprenant deux satellites et un ou deux caissons de grave équipés du PR330M0 Audax.

La **figure 1** représente le synoptique du fonctionnement d'un système stéréophonique à deux voies (avec filtrage mixte actif/passif).

Le signal « audio » filtré se présente sur deux sorties actives : un passe-haut et un passe-bas. Les basses fréquences inférieures à 150 Hz sont corrigées et « boostées ».

Les sorties sont ensuite dirigées vers



1

des amplificateurs. Lesquels alimentent les enceintes satellites via leurs filtres passifs à deux voies et les caissons de basses.

Ce principe nécessite donc deux amplificateurs stéréophoniques.

La **figure 2** rappelle le principe d'un système triphonique avec caisson central de grave. Avec ce concept, on utilise toujours le filtre actif passe-haut pour les satellites. En revanche, les fréquences graves des deux canaux sont sommées, puis corrigées, boostées et filtrées sur un seul circuit passe-bas. Le signal résultant est amplifié pour alimenter le caisson unique restituant les basses. Dans ce cas, un amplificateur stéréophonique et un monophonique suffisent.

Avantages du filtre actif

Cette étude s'adapte parfaitement à l'enceinte Coaxiale, formant ainsi un système mixte actif/passif.

Les dispositifs actifs présentent de nombreux avantages comparés aux passifs.

De nombreux articles, dont voici les

principaux points, ont été écrits à ce sujet.

- Il est plus facile d'ajuster les niveaux entre les haut-parleurs malgré les rendements différents;
- Chaque amplificateur se trouve raccordé directement avec le haut-parleur, ce qui évite la mise en œuvre de volumineuses et onéreuses selfs, surtout pour le grave;
- Aucune influence des variations d'impédance des transducteurs et des câbles de liaisons sur les filtres actifs;
- Chaque amplificateur « alimente » une bande de fréquences plus étroite et maîtrise donc mieux les caprices des transducteurs. La distorsion d'intermodulation s'en trouve diminuée;
- Augmentation sensible de la dynamique.

Le filtre deux voies

Le filtrage actif présente deux avantages : une utilisation facile et une simplification des calculs pour obtenir les fréquences de coupures.

L'association en série de cellules offre des possibilités de pentes d'atténuation différentes et des combinaisons de filtres passe-bas, passe-haut et passe-bande.

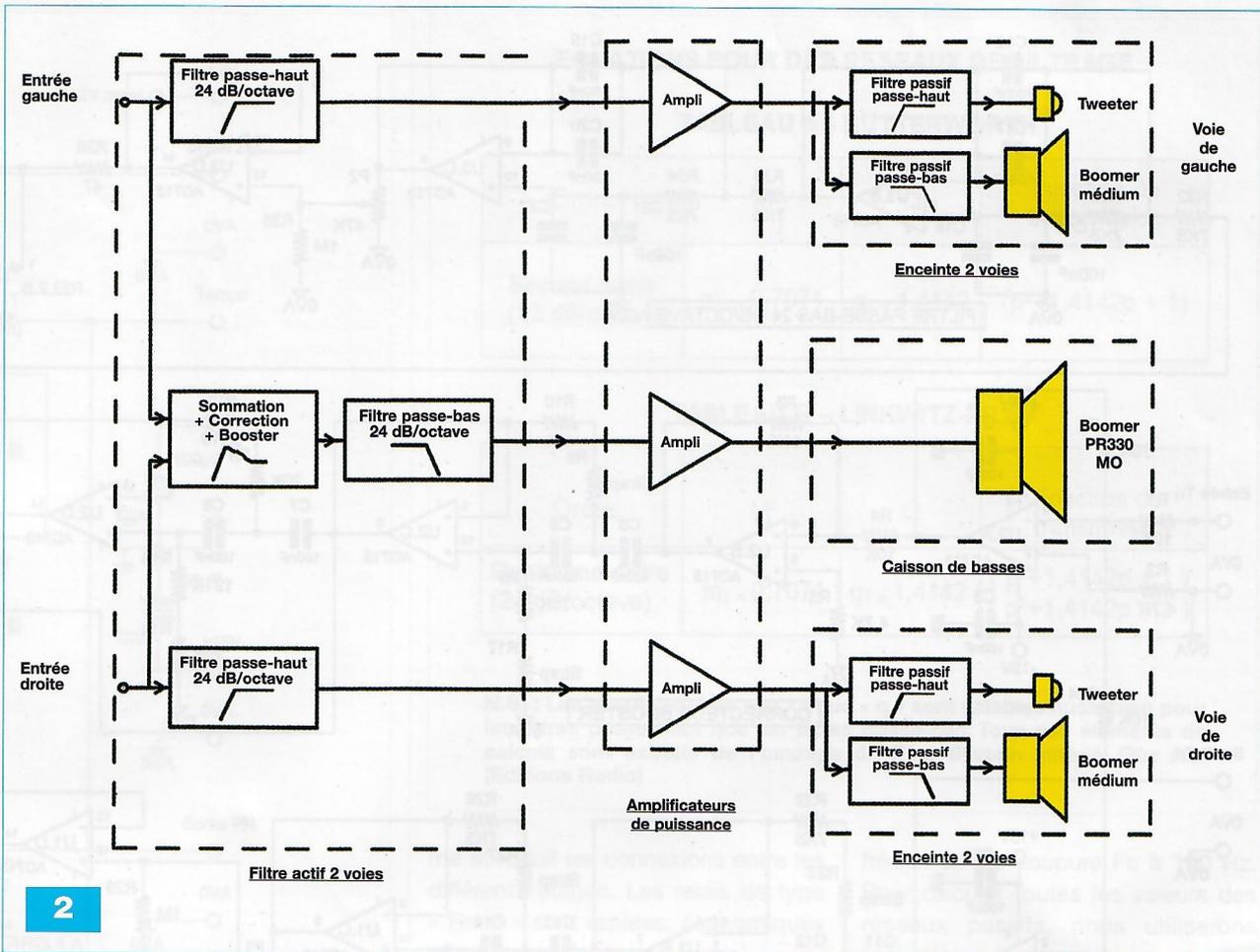
Ces filtres ne nécessitent que des composants courants : résistances et condensateurs.

Nous avons choisi une structure du quatrième ordre appelée « Structure Linkwitz-Riley ». Celle-ci combine toutes les qualités d'un circuit de Butterworth, avec une bonne réponse en phase autour de la fréquence de coupure. Pour obtenir ce filtrage, il suffit de cascader deux cellules de Butterworth identiques du deuxième ordre, quant à leurs composants, ce qui représente un avantage fort appréciable.

La **figure 3** présente la structure de principe d'un filtrage passe-bas du quatrième ordre Linkwitz-Riley et la **figure 4**, la structure du filtrage passe-haut de même type.

La cellule passe-haut

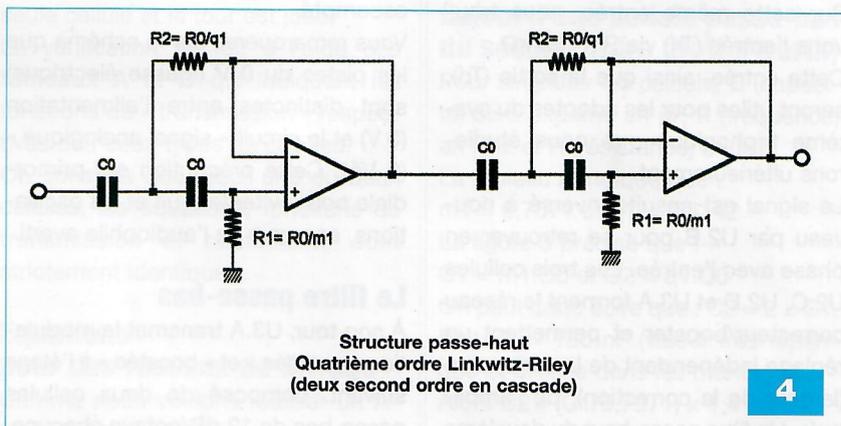
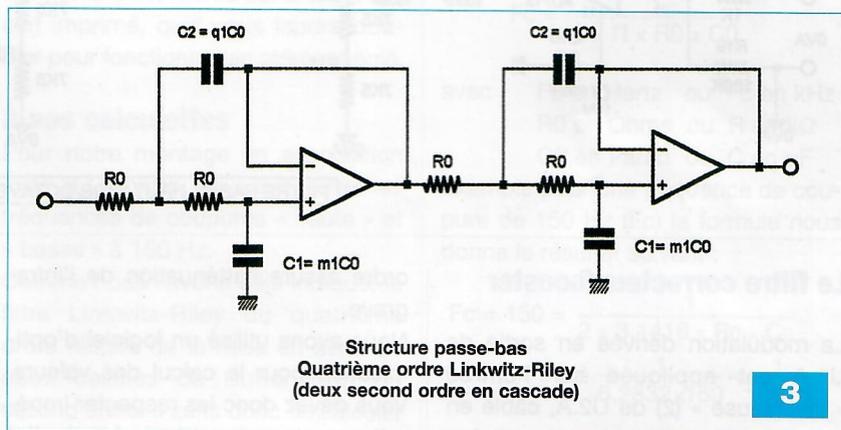
Le signal audio « pleine bande » dis-

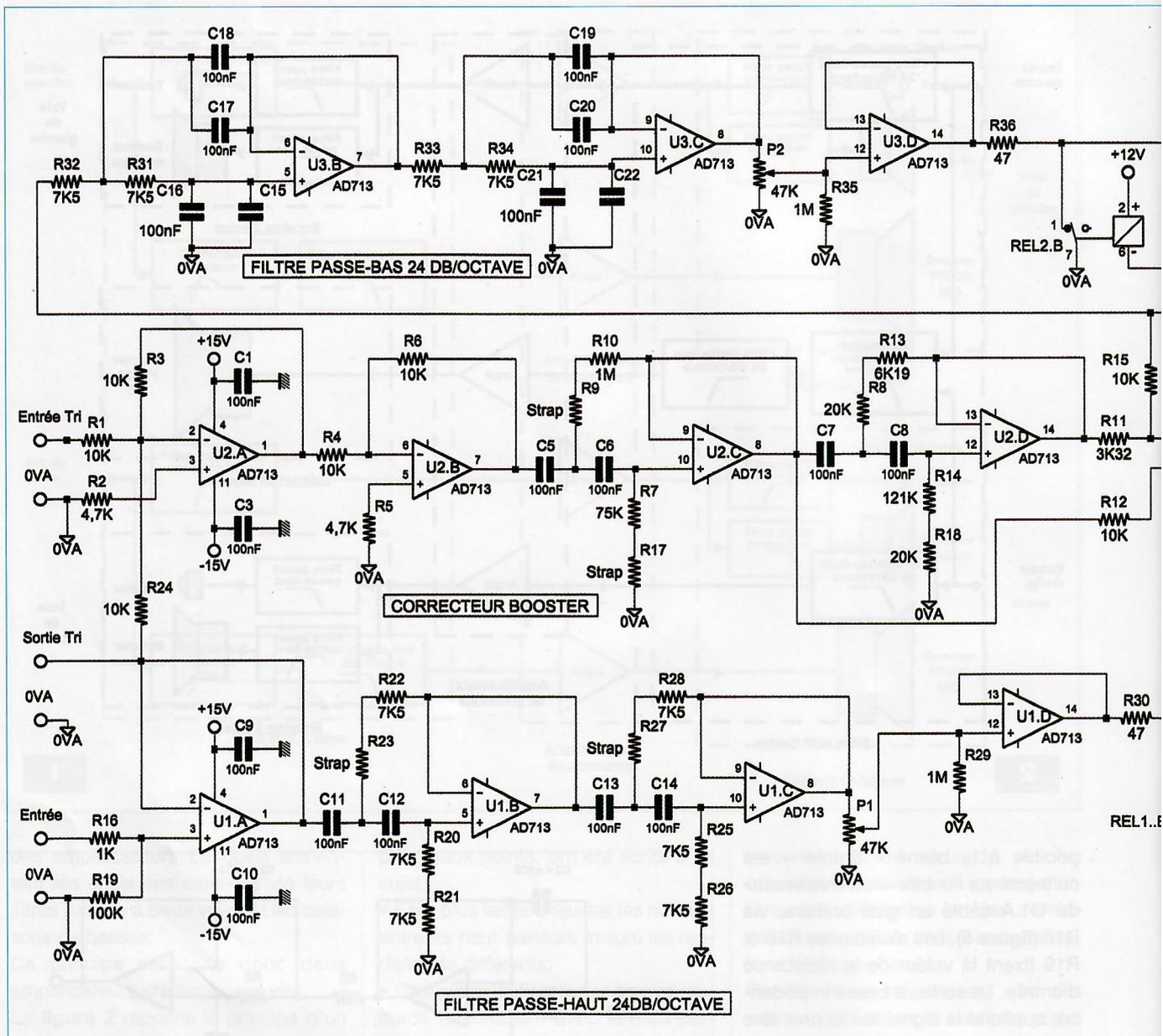


ponible à la borne « Entrée » est connecté sur l'entrée « non inverseuse » de U1.A câblé en gain unitaire, via R16 (figure 5). Les résistances R16 et R19 fixent la valeur de la résistance d'entrée. La sortie, à basse impédance, applique le signal sur la première cellule passe-haut d'une pente de 12 dB/octave. Puis, on traverse la deuxième cellule, identique à la première. Les deux cellules réunies forment le filtre du quatrième ordre de 24 dB/octave d'atténuation.

La sortie (8) de U1.C transmet le signal « filtré » au potentiomètre P1-47 kΩ. Son curseur est raccordé à l'entrée « non inverseuse » (12) de U1.D. Lequel, à son tour, avec un gain unitaire, délivre à basse impédance les fréquences médiums et les aigus disponibles sur la sortie (14) et prélevées sur la borne nommée Sortie PH.

La résistance R30 - 47 Ω protège la sortie et le contact REL1.B commute le 0 V analogique pendant toute la durée de la temporisation de la mise sous tension du montage réalisé.





Le filtre correcteur/booster

La modulation dérivée en sortie de U1.A est appliquée sur l'entrée « inverseuse » (2) de U2.A, câblé en montage sommateur de gain unitaire. Sur cette même entrée, nous trouvons l'entrée (Tri) via R1 - 10 k Ω . Cette entrée, ainsi que la sortie (Tri), seront utiles pour les adeptes du système triphonique que nous étudierons ultérieurement. Le signal est ensuite inversé à nouveau par U2.B pour se retrouver en phase avec l'entrée. Les trois cellules U2.C, U2.D et U3.A forment le réseau correcteur/booster et permettent un réglage indépendant de la surtension (largeur de la correction), de l'amplitude. Un filtre passe-haut du deuxième

ordre assure l'atténuation de l'infra-grave.

Nous avons utilisé un logiciel d'optimisation pour le calcul des valeurs. Vous devez donc les respecter impérativement pour obtenir le résultat escompté.

Vous remarquerez sur le schéma que les pistes du 0 V (masse électrique) sont distinctes entre l'alimentation (0 V) et le circuit « signal analogique » (0 VA). Cette précaution est primordiale pour éviter le bruit et les oscillations, ennemis de l'audiophile averti.

Le filtre passe-bas

À son tour, U3.A transmet la modulation « corrigée » et « boostée » à l'étage suivant, composé de deux cellules passe-bas de 12 dB/octave chacune.

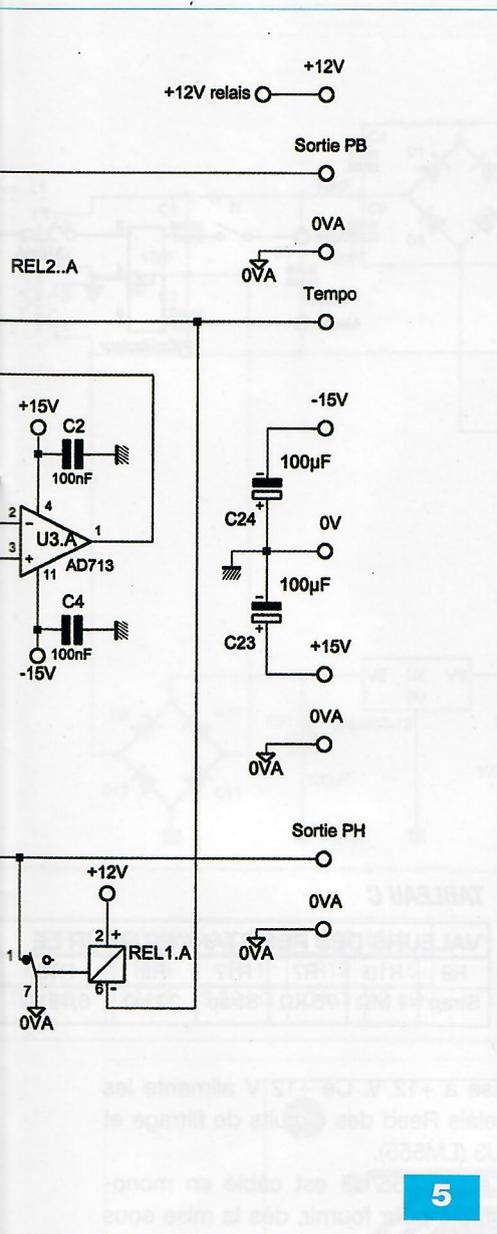
Comme pour le circuit passe-haut, le signal filtré est récupéré sur P2.

U3.D, à son tour, via R36 - 47 Ω , délivre les fréquences basses à faible impédance, sur la « Sortie PB ».

Comme pour la sortie passe-haut, le relais REL2.B applique le 0 V analogique pendant la temporisation. Tous les circuits intégrés sont découplés au niveau des alimentations par des condensateurs polyester de 100 nF. Les deux condensateurs chimiques C24 et C23 de 100 μ F constituent un réservoir d'énergie pour chaque circuit câblé.

Les composants

Les réseaux passifs des cellules de filtrage (condensateurs polyester et résistances à 1 % de tolérance) sont



5

prévus, soit avec deux résistances reliées en série, soit avec deux condensateurs reliés en parallèle, selon le type de cellule. Ceci facilite les combinaisons proposées des valeurs calculées. Choisir des résistances à couche métallique dans la série E96 à 1%. Quant aux condensateurs polyester ou polypropylène, il faudra, de préférence, les trier et les coupler à l'aide d'un capacimètre. Notre choix s'est ici porté sur les amplificateurs opérationnels AD 713 d'Analog Devices car ils présentent d'excellentes qualités électriques et « audio » pour un coût raisonnable. De surcroît, ils renferment quatre amplis par boîtier, ce qui facilite le dessin d'implantation du circuit imprimi-

EQUATIONS POUR DES RESEAUX DE FILTRAGE

TABLEAU A - BUTTERWORTH

Ordre	M	Q	Fonction de transmission
Second ordre (12 dB/octave)	$m_1 = 0,7071$	$q_1 = 1,4142$	$(p^2 + 1,4142p + 1)$

TABLEAU B - LINKWITZ-RILEY

Ordre	M	Q	Fonction de transmission
Quatrième ordre (24 dB/octave)	$m_1 = 0,7071$	$q_1 = 1,4142$	$(p^2 + 1,4142p + 1)$ $(p^2 + 1,4142p + 1)$

N.B. : Les coefficients de « m » et de « q » sont valables aussi bien pour les filtres passe-haut que les filtres passe-bas. Tous ces éléments de calculs sont extraits de l'ouvrage de Paul Bilstein intitulé *Filtre actif* (Editions Radio)

mé et réduit les connexions entre les différents étages. Les relais de type « Reed » sont rapides, économiques et peu gourmands en énergie. L'ensemble est monté sur un seul circuit imprimé, qu'il vous faudra doubler pour fonctionner en stéréophonie.

À vos calculettes

Pour notre montage en association avec la Coaxiale, nous avons fixé les fréquences de coupures « haute » et « basse » à 150 Hz.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le filtre Linkwitz-Riley du quatrième ordre résulte de la mise en série de deux cellules de Butterworth du second ordre. Il suffit donc de calculer les valeurs des composants pour une seule cellule et le tour est joué. La vérification se fait à l'aide des **tableaux A et B** qui indiquent les fonctions de « transmission » respectives des deux types de cellules. On constate que, pour une ou deux cellules, les équations, fonctions de transmission et coefficients sont strictement identiques.

Équations pour des réseaux de filtrage

Comme nous voulons réaliser un filtrage à deux voies, nous avons fixé la

fréquence de coupure F_c à 150 Hz. Pour calculer toutes les valeurs des réseaux passifs, nous utiliserons l'équation suivante :

$$F_c = \frac{1}{2 \times \pi \times R_0 \times C_0}$$

avec F_c en Hertz ou F_c en kHz
 R_0 en Ohms ou R en kΩ
 C_0 en Farad ou C en µF

Exemple pour une fréquence de coupure de 150 Hz (F_c) la formule nous donne le résultat suivant :

$$F_c = 150 = \frac{1}{2 \times 3,1416 \times R_0 \times C_0}$$

$$R_0 \times C_0 = \frac{1}{6,2832 \times 150} = \frac{1}{10610}$$

Calcul d'une cellule passe-bas du second ordre (Butterworth)

Pour simplifier les calculs, C (capacité) sera exprimé en µF, F (fréquence) en kHz et R (résistance) en kΩ. La tableau A indique que : $m_1 = 0,7071$ et $q_1 = 1,4142$. La figure 3 précise que : $C_1 = m_1.C_0$ et $C_2 = q_1.C_0$. On peut donc écrire que : $C_2 = 2 \times C_1$. Soit $C_1 = 100$ nF (valeur très répandue et utilisée dans les montages). Alors $C_2 = (C_1/0,7071) \times 1,4142 = 200$ nF

Calculons C0 :

$$C1 = m1.C0 = 0,7071 \times C0$$

$$\text{Donc } C0 = C1/m1 = 100\text{nF}/0,7071 = 141,42 \text{ nF}$$

soit C0 = 0,14142 μ F

Calculons R0 :

$$R0 = \frac{1}{2 \times 3,1416 \times 0,14142 \times 0,150} = 7,5 \text{ k}\Omega$$

Pour notre montage, nous obtenons donc :

$$R0 = R32, R31, R33, R34 = 7,5 \text{ k}\Omega$$

$$C1 = C16 \text{ et } C21 = 100 \text{ nF}$$

C15 et C22 = rien

$$C2 = C17 + C18, C19 + C20 = 200 \text{ nF} \text{ (100 nF + 100 nF en parallèle)}$$

Calcul du passe-haut du second ordre (Butterworth)

La figure 4 indique que $R1 = R0/m1$ et $R2 = R0/q1$, on peut donc écrire que $R2 = R1/2$

Par conséquent :

$$R1 = R0/0,7071 \text{ et } R2 = R0/1,4142$$

Soit C0 = 100 nF

Calculons R0 :

$$R0 = \frac{1}{2 \times 3,1416 \times 0,100 \times 0,150} = 10,61 \text{ k}\Omega$$

donc $R1 = R0/m1 = 10,61 \text{ k}\Omega/0,7071$

$$R1 = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = R1/2 = 15 \text{ k}\Omega/2 = 7,5 \text{ k}\Omega$$

Pour les valeurs des réseaux passifs (voir figure 4) :

$$R2 = R22 \text{ et } R28 = 7,5 \text{ k}\Omega$$

R23 et R27 = strap

$$R1 = R20 + R21, R25 + R26 = 15 \text{ k}\Omega$$

$$C0 = C11, C12, C13, C14 = 100 \text{ nF}$$

Avec des valeurs standards E96, nous obtenons un filtrage précis et efficace.

Le correcteur Booster

Les valeurs sont fixées pour le haut-parleur PR330M0 Audax.

Pour cet élément, le **tableau C** indique les valeurs des composants nécessaires au caisson. Nous ne publions pas leurs calculs, trop complexes, que nous avons confiés à notre ordinateur.

Concernant les condensateurs, nous avons sélectionné la valeur de 100 nF pour la normaliser avec ceux des réseaux passe-haut et passe-bas et ceux des découplages des alimentations des circuits AD 713.

Comme il est impératif de trier les capacités des réseaux passifs, cha-

cun en utilisera une quantité suffisante pour effectuer le tri. Les capacités qui ne correspondent pas au tri seront réservées pour les découplages.

Par conséquent, on aura :

C5, C6, C7, C8, C11, C12, C13, C14, C16, C21 = 100 nF triés.

L'alimentation

Relativement classique, cette alimentation symétrique $\pm 15 \text{ V}$ utilise les régulateurs « positif » LM 317 (U2) et « négatif » LM337 (U1) pour alimenter la partie « audio » (**figure 6**).

En revanche, le filtrage est assuré efficacement par deux cellules en II : C8/R1/C10 et C19/R2/C18.

Les résistances R1 et R2 lissent l'ondulation subsistant à ce niveau.

Cette technique, employée dans les alimentations « haute tension » pour les circuits à tubes, a fait ses preuves. Compte tenu de la faible consommation de notre montage, nous pouvons nous permettre de l'utiliser.

Les régulateurs U2 et U1 assurent une bonne régulation et les condensateurs C14 et C9 « figurent » un réservoir d'énergie présentant une faible résistance de sortie.

La tension secteur alimente le primaire du transformateur L1 via une cellule de filtrage L2 qui atténue les parasites véhiculés sur le réseau EDF. N'oublions pas la coupure par l'interrupteur I1 et la protection par le fusible F1.

Les deux secondaires de 15 V ~ sont filtrés en mode commun et différentiel par les condensateurs C1, C2 et C3. Les diodes D1, D3, D6 et D8 forment un pont pour le redressement en double alternance fournissant les tensions « positive » et « négative » aux cellules de filtrage. Les condensateurs polyester C4, C5, C6 et C7 terminent le travail de filtrage en amortissant les pics de commutation des diodes.

Les valeurs de R3 et R4 ont été calculées afin d'obtenir les tensions continues de $\pm 15 \text{ V}$ en sorties des régulateurs.

L'un des deux secondaires du transformateur L1 fournit la tension alternative au pont formé par les diodes D9, D10, D11 et D12.

Il est chargé de redresser la tension alternative que C21 filtre et U4 stabi-

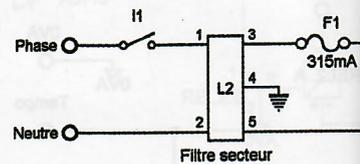


TABLEAU C

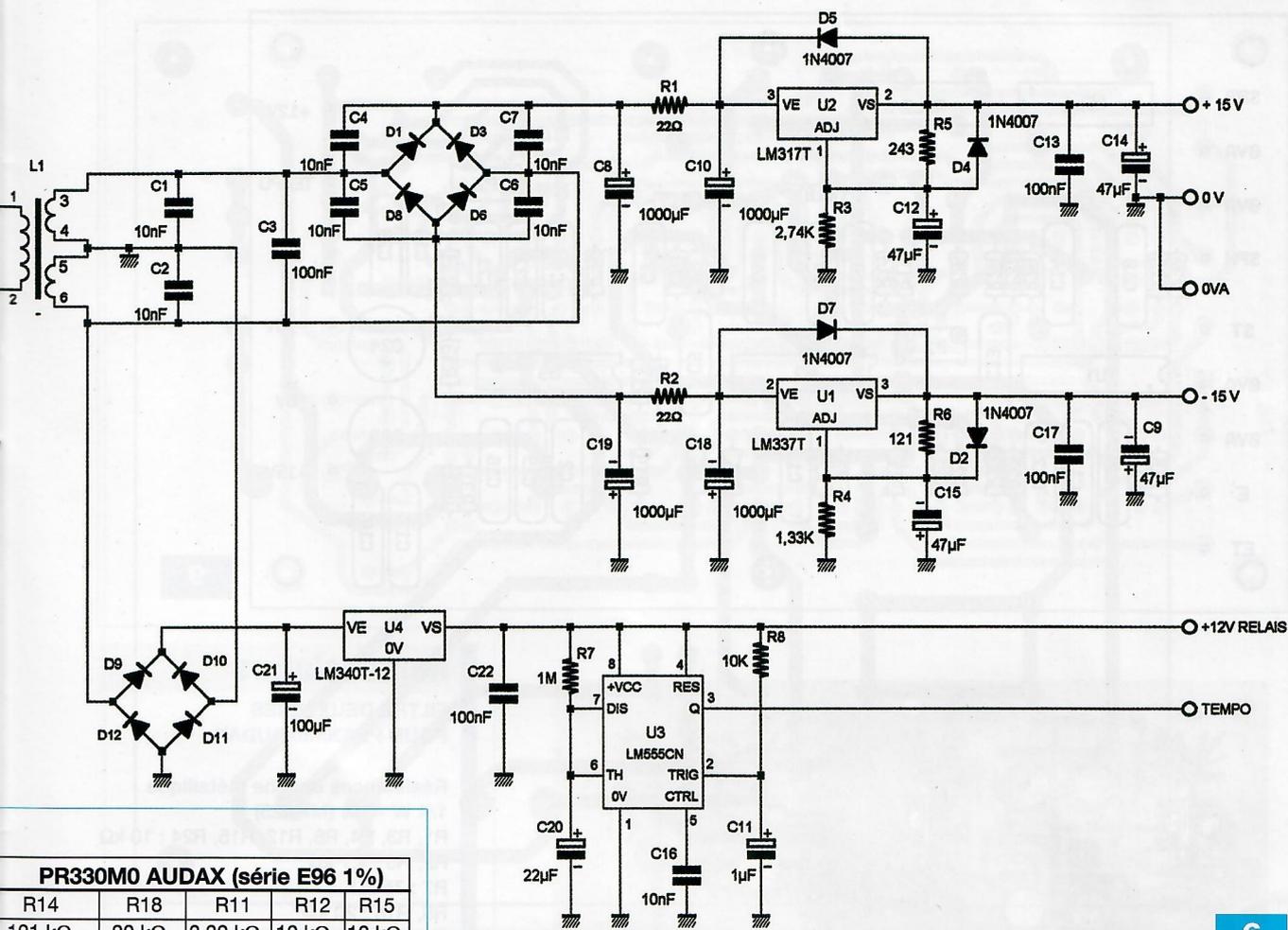
VALEURS DES RESISTANCES POUR LE					
R9	R10	R7	R17	R8	R13
Strap	1 M Ω	75 k Ω	Strap	20 k Ω	6,19 k Ω

lise à +12 V. Ce +12 V alimente les relais Reed des circuits de filtrage et U3 (LM555).

Le LM 555/U3 est câblé en monostable pour fournir, dès la mise sous tension générale, une impulsion positive de +12 V d'une durée d'environ 20 s, impulsion appliquée aux bornes des relais Reed. Ceci a pour effet d'envoyer au 0 V analogique, les sorties « audio » filtrées laissant le temps à l'alimentation $\pm 15 \text{ V}$ d'atteindre son maximum. Cette fonction évite d'entendre des « plocs » intempestifs et destructeurs de haut-parleurs.

Le temps de 20 s écoulé, sur la patte (3) de U3 apparaît un 0 V qui fait commuter les relais qui ouvrent leurs contacts et libèrent les sorties « audio ».

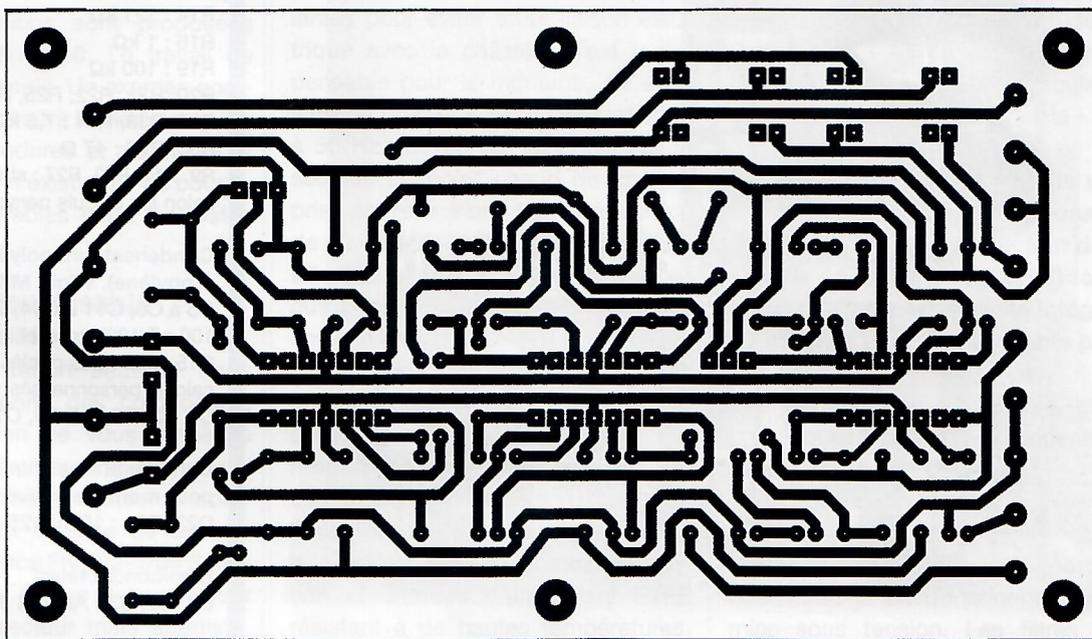
La constante de temps C11-R8 sert à bloquer, avec une courte impulsion négative, l'entrée 2 (trigger) assurant ainsi l'état positif sur la patte (3), même en cas de mise sous tension rapprochée.



PR330M0 AUDAX (série E96 1%)

R14	R18	R11	R12	R15
121 kΩ	20 kΩ	3,32 kΩ	10 kΩ	10 kΩ

6



7

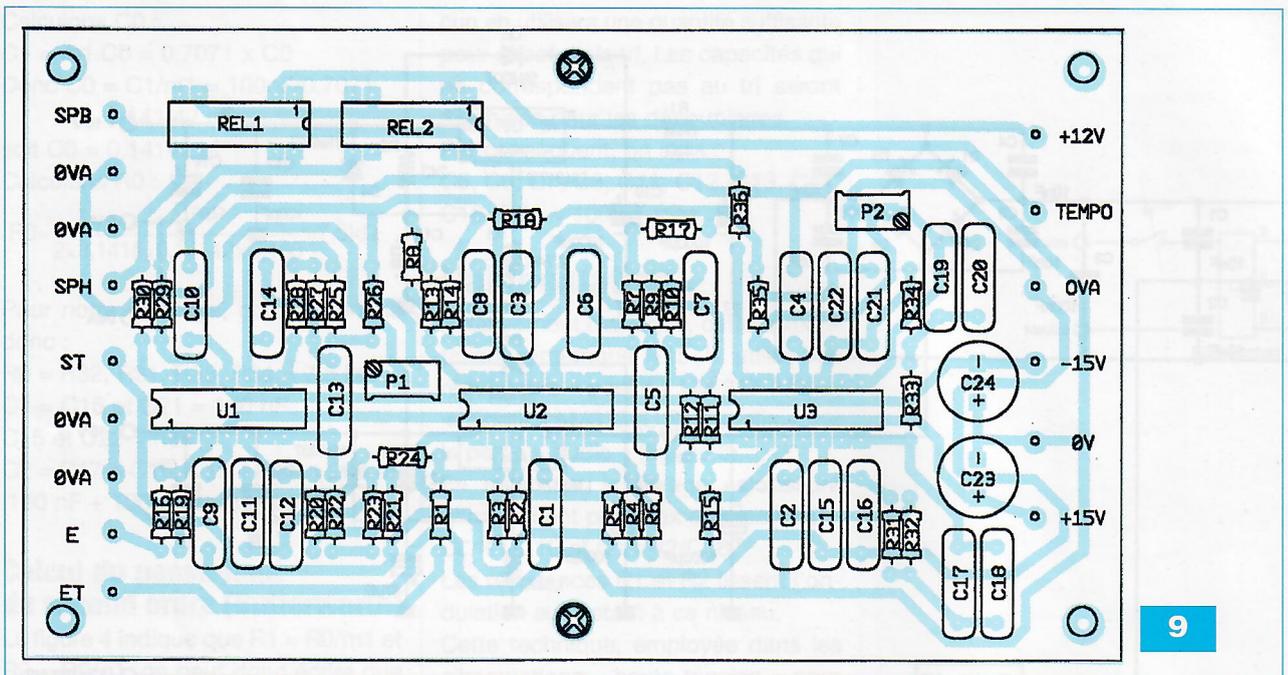
La durée de l'impulsion sur la patte (3) est fixée par R7 et C20. Si cette durée ne convient pas à l'équipement dont vous disposez, voici la formule de calcul : $t = R \times C$.

Dès la coupure de l'alimentation secteur 230 V, les relais Reed précédemment évoqués décollent immédiatement, forçant ainsi les sorties au 0 V analogique.

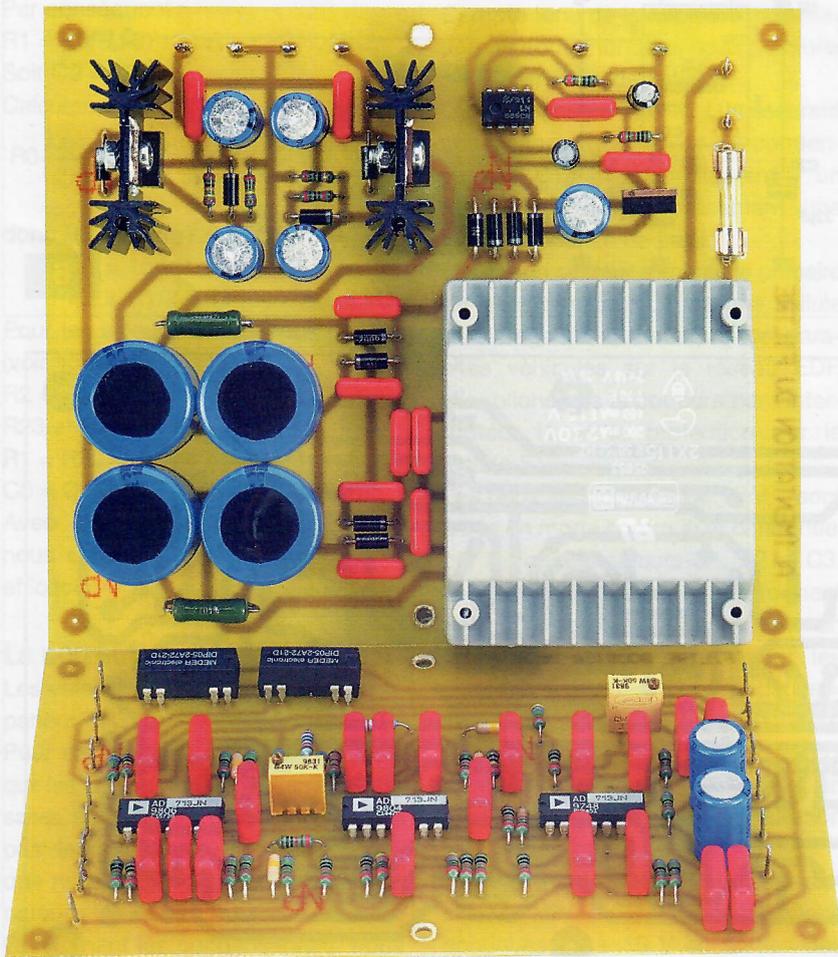
Réalisation

Les circuits imprimés

Les figures 7 et 8 dévoilent les tracés à l'échelle 1 des deux circuits imprimés.



9



més. N'oubliez pas de doubler les circuits du filtre. Cette opération ne représente pas de difficulté majeure, chacun usera de sa technique pour la gravure. Les dimensions du filtre deux voies

sont de 144 x 84 mm, celles de l'alimentation de 145 x 122 mm. La majeure partie des trous sera percée à $\varnothing 1$ mm, exceptés les trous de fixation des circuits sur le châssis.

Nomenclature

FILTRE DEUX VOIES POUR PR330M0 AUDAX

Résistances couche métallique 1/4 W - 1% (MRS25)

- R1, R3, R4, R6, R12, R15, R24 : 10 k Ω
- R2, R5 : 4,7 k Ω
- R7 : 75 k Ω
- R8, R18 : 20 k Ω
- R10, R29, R35 : 1 M Ω
- R11 : 3,32 k Ω
- R13 : 6,19 k Ω
- R14 : 121 k Ω
- R16 : 1 k Ω
- R19 : 100 k Ω
- R20, R21, R22, R25, R26, R28, R31, R32, R33, R34 : 7,5 k Ω
- R30, R36 : 47 Ω
- R9, R17, R23, R27 : strap ou résistance, selon les calculs personnalisés

Condensateurs polyester (ou polypropylène), Wima MKS4

- C5 à C8, C11 à C14, C16 à C20 : 100 nF/100V triés et appariés
- C15, C22 : pas câblés ou selon les calculs personnalisés
- C1, C2, C3, C4, C9, C10 : 100 nF/100V

Condensateurs chimiques polarisés pour montage radial

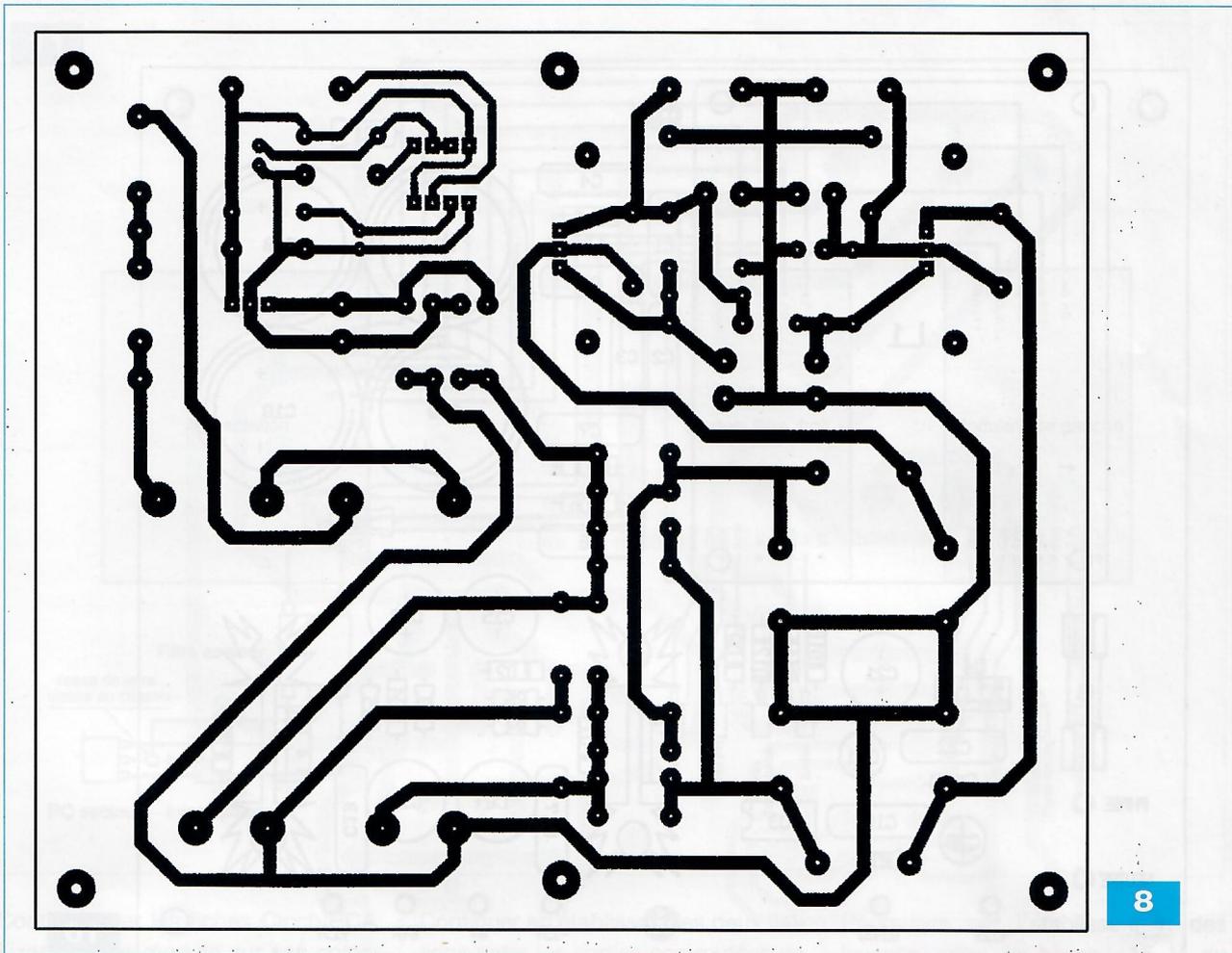
- C23, C24 : 100 μ F/25V

Semiconducteurs

- U1, U2, U3 : AD 713 JN

Divers

- P1, P2 : 50 k Ω - trimmer 25 tours vertical
- REL1, REL2 : relais Reed CELDUC D31B5100, 12 V, 1 contact forme 1B (normalement fermé au repos)
- 16 picots pour circuit imprimé



Le câblage

Les implantations sont proposées aux **figures 9 et 10**. Le travail de câblage est simple. Un examen complet côté pistes sera le bienvenu pour vérifier les soudures et surtout pour s'assurer qu'il n'existe pas de courts-circuits indésirables entre les pistes ou les pastilles.

Choix des composants et accessoires

Pour l'alimentation secteur, nous avons sélectionné des composants standards. Rien ne vous empêche d'en utiliser d'autres. Par exemple, il existe des filtres « secteur » compacts intégrant la prise de courant femelle (référence FN 322-1/05 Saint-Quentin Radio). Même remarque pour l'interrupteur/secteur mais attention, respecter les normes, utiliser un commutateur à coupure « bipolaire ». Nous avons utilisé des prises Cinch/RCA dorées, de bonne facture, que l'on trouve chez la plupart des revendeurs. Il s'agit d'un modèle

comportant un jeu de rondelles isolantes pour éviter toute liaison électrique avec le châssis. C'est indispensable pour le montage, on évite ainsi du bruit et surtout des ronflettes à 50 Hz ou 100 Hz générées par le secteur. Le point chaud de chaque prise est relié à une tige conductrice de 40 mm de longueur, pratique pour effectuer la liaison directe avec le circuit imprimé. Les courtes distances entre le circuit imprimé et les prises Cinch, ne nécessitent pas des conducteurs blindés.

Les interconnexions entre les modules et l'alimentation ont été effectuées avec du fil de câblage de haute qualité. Il s'agit de fils multi-brins argentés de 0,22 mm² de section et enrobés d'un isolant PTFE résistant à de hautes températures. Outre les qualités électriques incontestables de ce fil de câblage, la résistance à la chaleur de sa gaine isolante assure une bonne tenue pendant l'opération de soudage, d'où une esthétique irréprochable. Il faut

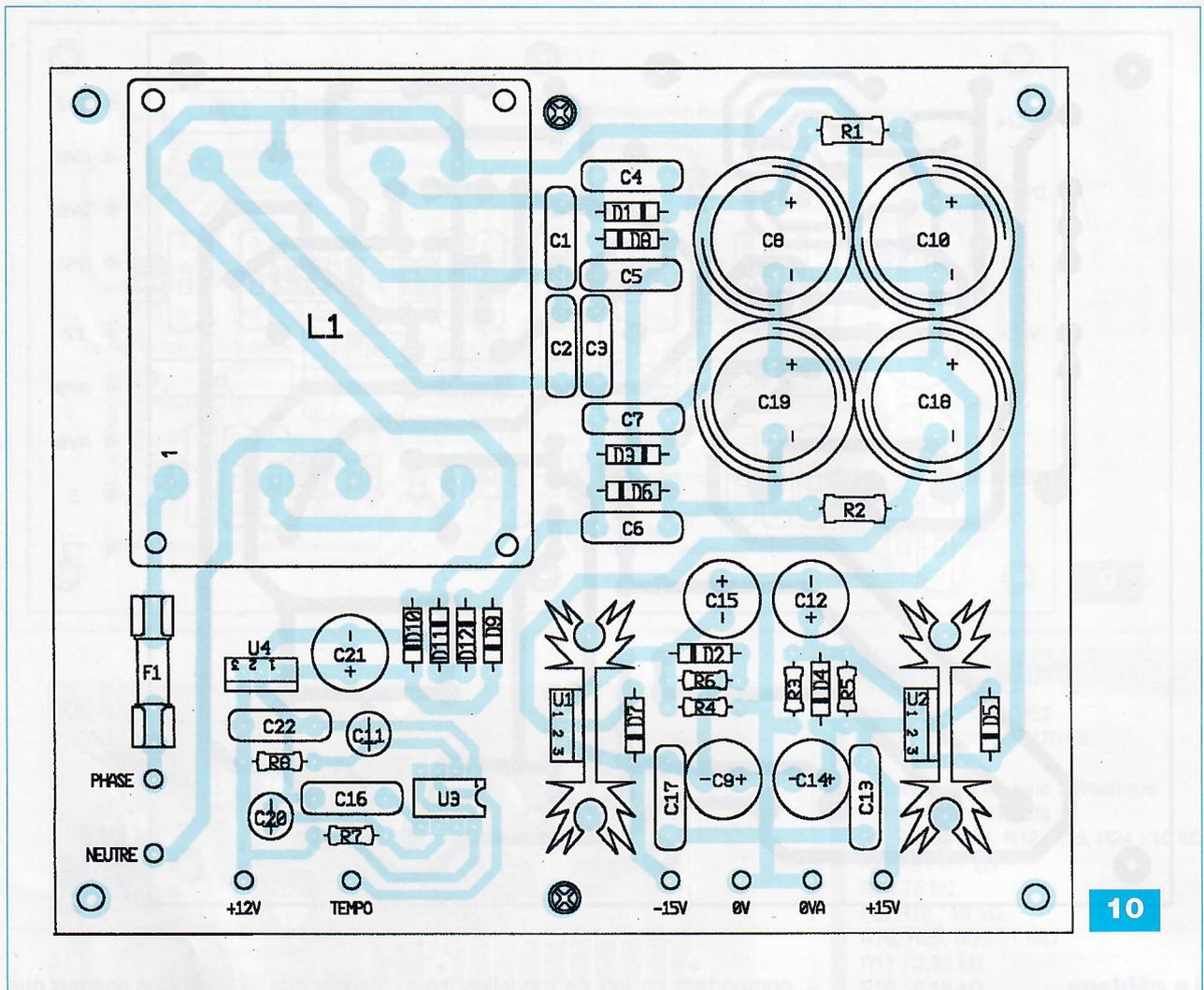
avouer que ce fil est plus onéreux que le « standard », mais notre étude se targue d'être un haut de gamme... Veiller à vous procurer trois couleurs différentes afin de différencier le +15V du -15V et les 0 V.

Si votre choix se porte sur la version triphonique, les composants du filtre passe-bas/correcteur de la voie de gauche ne sont pas nécessaires. Il s'agit des circuits intégrés U2 et U3 et leurs composants passifs associés.

Ces informations et conseils étant promulgués, passons à l'opération suivante.

Essais

Une fois câblés, vérifiés et raccordés, nos modules ont fonctionné dès la mise sous tension. Les filtres ont démontré leur efficacité et leur précision. Ne pas oublier d'ajuster avec P1 et P2 les niveaux des deux filtres (passe-haut et passe-bas) afin d'obtenir une bande passante globale équilibrée.



10

La mécanique

• Le coffret

Un coffret aux dimensions minimales de 360 x 150 x 55 mm est nécessaire pour rassembler les trois modules, voire le filtre secteur, ce que montre notre photo en début d'article.

Il en existe de différentes marques sur le marché. En plastique, en métal ou en aluminium, à vous de choisir. Nous ne pouvons pas vous conseiller celui qui a servi au prototype, pour la simple raison qu'il n'est plus fabriqué.

Pour cette réalisation, c'est sans importance, il n'y aura aucune incidence sur le fonctionnement du filtre électronique. Il suffit de garder la même disposition des modules au fond du châssis, ainsi que celle des prises Cinch afin d'effectuer des interconnexions directes modules/prises.

• Équipement du châssis

Commencer par la pose des dix-huit

Nomenclature

ALIMENTATION

Résistances couche métallique 1/4 W - 1 % (MRS25)

R3 : 2,74 kΩ
R4 : 1,33 kΩ
R5 : 243 Ω
R6 : 121 Ω
R7 : 1 MΩ
R8 : 10 kΩ

Résistances bobinées

R1, R2 : 22 Ω/3 W

Condensateurs polyester (ou polypropylène), Wima MKS4

C1 à C7, C16 : 10 nF/100 V
C3, C13, C17, C22 : 100 nF/100V

Condensateurs chimiques polarisés/ montage radial

C8, C10, C18, C19 : 1000 µF/63 V

C9, C12, C14, C15 : 47 µF/25 V
C11 : 1 µF/25 V
C20 : 22 µF/25 V
C21 : 100 µF/63 V

Semiconducteurs

D1 à D12 : 1 N 4007
U1 : LM 337 T
U2 : LM 317 T
U3 : LM 555 CN
U4 : LM 340 T-12

Divers

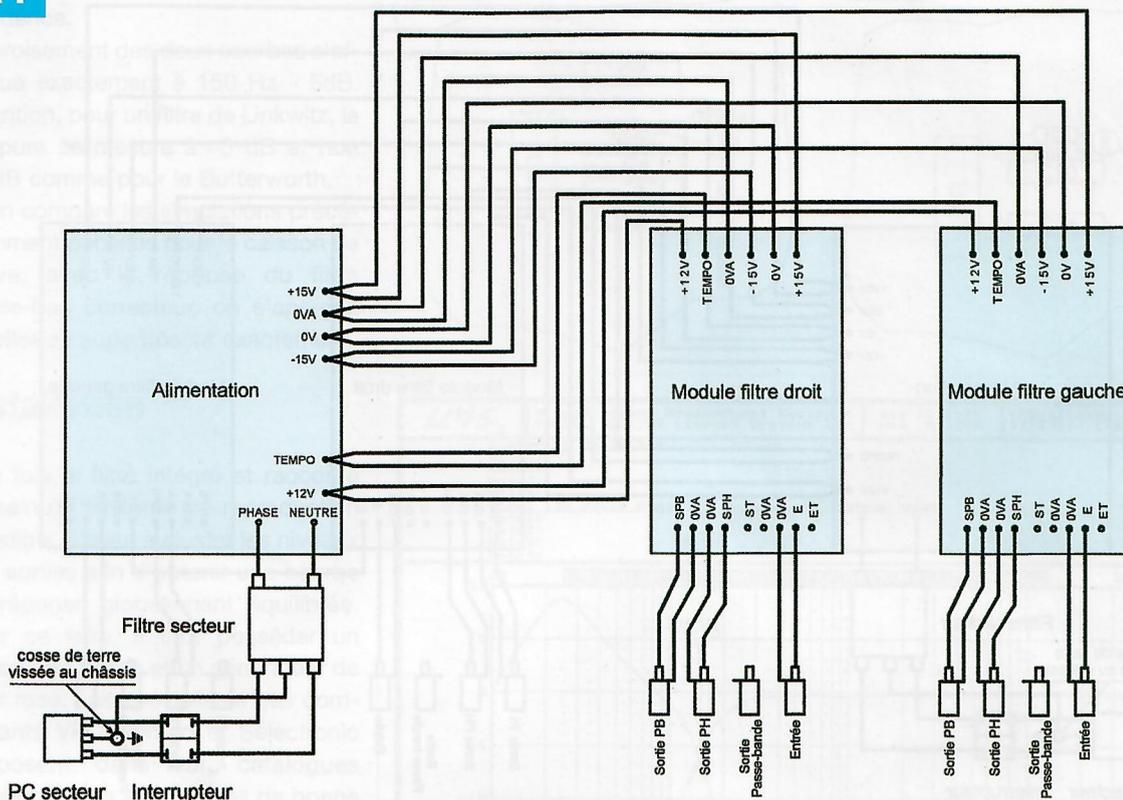
L1 : transformateur plat, 2 x 15 V, 10 VA efficaces (Saint-Quentin Radio N317)
Filtre secteur : 1 ampère pour châssis (Saint-Quentin Radio FN322-1/05)
F1 : fusible rapide 315 mA, 5 x 20, avec porte fusible
8 picots pour circuit imprimé
2 dissipateurs pour TO 220 (KL 194 - Seifert)

colonnettes de fixation des deux modules « filtre » et « alimentation » avec des vis de 3 x 6 mm.

Ensuite, monter l'interrupteur secteur

en face avant, puis la prise secteur en face arrière avec une cosse à œil vissée (à l'intérieur) et maintenue par la vis supérieure ou le filtre à prise.

11



Continuer par les fiches Cinch/RCA. Fixer chaque module sur ses colonnettes respectives avec des vis de 3 x 6 mm. Nous avons constaté, lors des essais, que le régulateur +12V-U4 chauffait un peu, la pose d'un petit dissipateur sur celui-ci assurera une meilleure dissipation.

• Les interconnexions

Cette opération ne présente pas de difficultés majeures, elle est réduite au minimum.

Si vous avez choisi le filtre complet à deux voies stéréophoniques, c'est la **figure 11** qu'il vous faut suivre.

Quant au système triphonique, c'est la **figure 12** qui lui correspond.

Avec du fil standard, commencer par le câblage de la partie secteur en reliant les deux pôles (phase et neutre) de la prise secteur sur les deux bornes d'entrée de l'interrupteur secteur. Attention, pour cet interrupteur secteur, il y a un sens à respecter. Repérer de quel côté se trouve la connexion du voyant néon interne, vérifier qu'elle se trouve en aval de la prise secteur, sinon il sera alimenté en permanence.

Continuer en établissant les deux liaisons entre les sorties commutées de l'interrupteur et les entrées du filtre secteur.

Relier ensuite les sorties du filtre secteur aux deux bornes « entrée secteur » du module alimentation.

Respecter la continuité des polarités phase et neutre.

Les liaisons du circuit de terre termineront le câblage secteur en reliant la cosse de la prise à la cosse à œil préalablement installée et à la borne de terre du filtre secteur

À ce stade, nous conseillons de tester le bon fonctionnement de l'alimentation (± 15 V, +12 V et temporisation de 20 s) après avoir vérifié visuellement si le câblage est correct.

Avec du fil argenté, relier la borne d'alimentation +12 V à celle du module « filtre droit » (deux fils)

Recommencer la même opération que précédemment, mais cette fois pour relier la borne +12 V du module de gauche (deux fils)

Utiliser cette même procédure pour la borne « tempo alimentation » vers les bornes « tempo » des deux modules (deux fils)

Poursuivre par l'établissement des liaisons entre la borne -15 V du module alimentation et les picots -15 V des deux filtres (2 fils).

De même, pour les bornes 0 V et 0 VA alimentation vers 0 V et 0 VA des deux modules (deux fils).

Achever par la borne +15 V vers les picots correspondants des modules droit et gauche (deux fils).

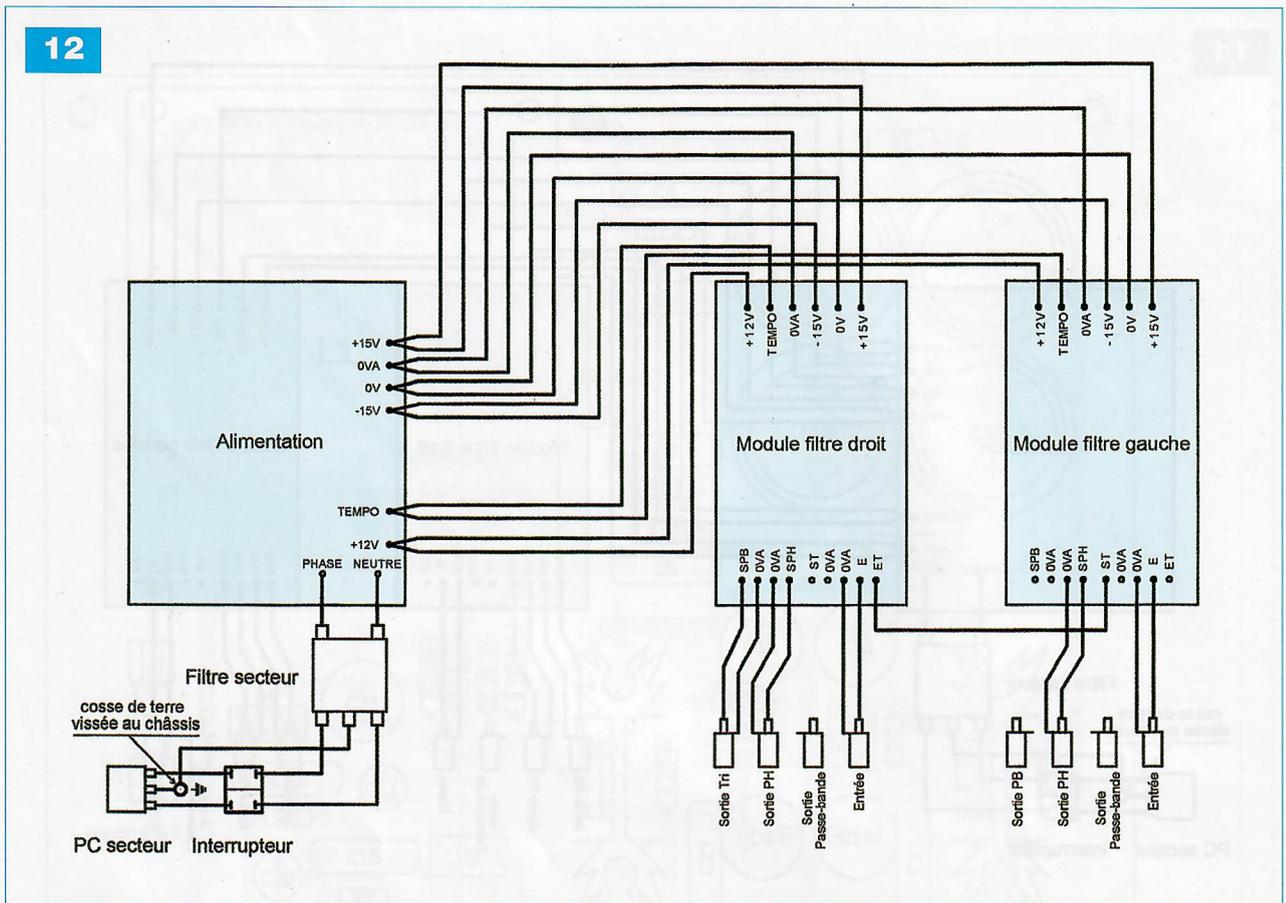
Si votre choix s'est porté sur le système triphonique (figure 12), relier le picot ST du module « gauche » au picot ET du module « droit » (un fil).

• Les prises Cinch

Deux cas sont possibles : le système deux voies stéréophonique ou le système triphonique. La prise de sortie passe-bande (SPB), représentée sur les figures 11 et 12, servira aux lecteurs désireux de réaliser un filtrage trois voies actives stéréophonique ou triphonique.

Avec du fil de cuivre étamé, relier chaque point de masse des prises Cinch : entrée, sortie PH et sortie PB aux picots 0 VA respectifs sur les deux modules (pour le système deux voies stéréophonique). Pour le tripho-

12



nique, vous ne câblerez pas la sortie passe-bas du module de gauche. Terminer cette opération en reliant les points « chauds » des prises Cinch aux picots associés sur les deux modules. Soit vous cambrez les tiges des fiches Cinch, soit vous soudez du fil étamé comme pour les masses. Suivre les recommandations de l'étape précédente au sujet des prises non utilisées.

Votre montage est terminé ! Il vous reste à vérifier une dernière fois que tout est à sa place et surtout que les interconnexions entre les modules ne présentent pas d'erreur de câblage. Maintenant, il convient de passer à l'acte en appuyant sur le bouton de mise en marche !

Mise sous tension

Si vous avez suivi scrupuleusement nos conseils, votre réalisation va parfaitement fonctionner du premier coup.

Hormis les réglages des niveaux de chaque sortie de filtre, il n'en existe pas d'autres. Pratique, n'est-ce pas ? Les potentiomètres P2 ajustent les

niveaux des circuits passe-bas et P1 ceux des circuits passe-haut. Tourner la vis dans le sens anti-horaire augmente le niveau et l'atténue dans le sens horaire. Logique !

Les heureux possesseurs d'un générateur de signaux sinusoïdaux et d'un oscilloscope vérifieront le bon fonctionnement du filtrage actif et son efficacité. Les amateurs avertis effectueront un relevé complet de la bande passante de chaque filtrage sur un graphique vierge.

Si toutes les valeurs et l'appairage des composants ont été respectés, vous obtiendrez le résultat escompté, quel que soit votre choix : caisson équipé du haut-parleur Audax PR330M0 en triphonique ou stéréophonique.

• IMPORTANT

En torturant à l'extrême notre réalisation, nous nous sommes aperçus que les très performants amplificateurs opérationnels de sortie de chaque section de filtre avaient tendance à partir en oscillation à la suite d'un violent parasite généré par un appareil, tel notre fer à souder thermostaté Weller.

Si le circuit testé ne bronche pas après la séance de torture, c'est que la stabilité est à toute épreuve. Un condensateur céramique de 10 nF soudé sur la sortie de chaque filtre et le 0 V analogique (0VA) apporte la solution radicale à ce défaut. Le soudage de ce composant limite la bande passante à 120 kHz au lieu de 4 MHz en gain unitaire. Une des pattes de chaque condensateur sera soudée sur les résistances de 47 Ω (R36 et R30), côté sorties du module. L'autre trouvera le 0 VA sur les résistances (R35 et R29) de 1 MΩ connectées sur l'entrée (12) des amplis de sortie U3 D et U1 D.

Comme un dessin vaut mieux qu'un long discours, les figures 13 et 14 montrent en détail la modification à apporter aux sorties passe-bas et passe-haut.

Résultats de mesure

Pour notre prototype, nous avons fixé à 150 Hz/-6dB les fréquences de coupures du filtre pour l'association avec les caissons graves équipés des PR330M0. En observant la courbe de

la **figure 15**, on constate l'extrême régularité et fidélité de la réponse en fréquence.

Le croisement des deux courbes s'effectue exactement à 150 Hz - 6dB. Attention, pour un filtre de Linkwitz, la coupure se mesure à -6 dB et non -3 dB comme pour le Butterworth.

Si on compare les simulations précédemment publiées pour le caisson de grave, avec la réponse du filtre passe-bas correcteur, on s'aperçoit qu'elles se superposent exactement.

Installation

Une fois le filtre intégré et raccordé au sein du système de reproduction « audio », il reste à ajuster les niveaux des sorties afin d'obtenir une courbe de réponse globalement équilibrée. Pour ce faire, il faut posséder un sonomètre précis et un générateur de bruit rose. Les spécialistes des composants VPC Conrad et Sélectronique proposent, dans leurs catalogues respectifs, des sonomètres de bonne facture qui seront les bienvenus pour les mises au point de l'installation. De surcroît, leurs prix situés entre 30 € et 100 € selon les performances, les rendent attractifs pour l'amateur.

Sans oublier le complément indispensable, le générateur de bruit rose que l'on trouve au catalogue Velleman pour quelques euros.

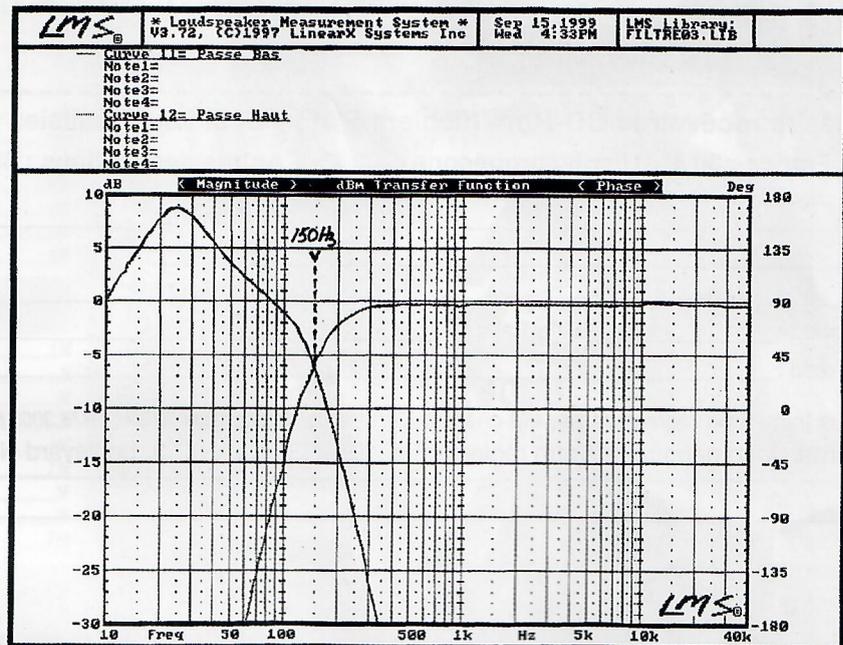
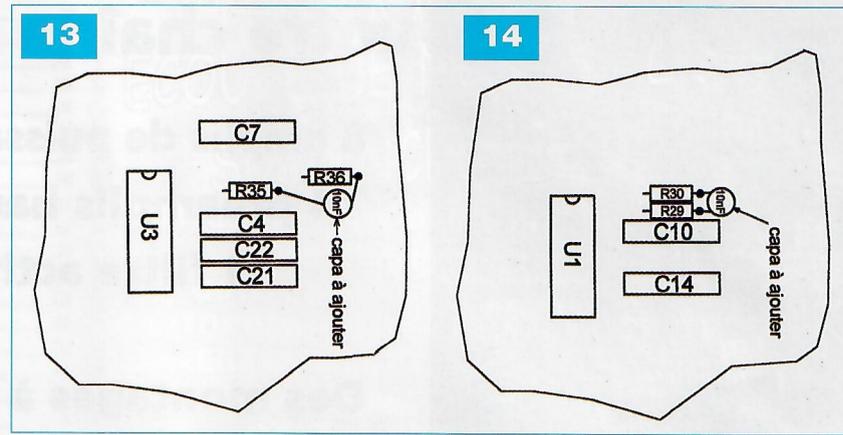
Il existe des CD de démonstrations offrant des possibilités intéressantes pour régler son système « audio ». Nous en possédons un dans notre discothèque. ⁽¹⁾

L'écoute

Nous avons testé notre filtre actif avec les enceintes Coaxiale et les caissons équipés du haut-parleur de basses Audax PR330M0. Les caissons de « grave » doivent être éloignés du mur d'environ 20 cm afin de dégager l'évent qui se trouve à l'arrière. Vous trouverez la position idéale en effectuant plusieurs essais.

La temporisation de 20 s joue parfaitement son rôle. A la mise sous tension, on n'entend aucun bruit, pas de « plocs » intempestifs destructeurs de haut-parleurs.

Les premiers instants d'écoute sont



impressionnants. Le grave est ferme, dynamique et profond. On redécouvre ses disques. La grosse surprise est de constater que les CD peuvent encore délivrer des informations insoupçonnées.

La scène sonore s'élargit, s'équilibre et étonne l'auditeur.

Batteur amateur, l'auteur a retrouvé l'impact, le timbre et la dynamique naturels des coups de grosse caisse. La contrebasse retrouve l'étendue de son registre, sans traînage ni ronduers.

En observant de près les haut-parleurs de basses on constate que, même avec un niveau d'entrée important, le déplacement des membranes demeure relativement faible. Avec le disque de tests, nous avons torturé les transducteurs avec des fréquences de 16 Hz et 32 Hz, frôlant la limite du talonnement. Les haut-parleurs n'ont pas bronché. Le systè-

me a gagné en dynamique. Les voix sont plus claires et présentes.

A votre tour, nous vous laissons le plaisir de découvrir et apprécier le résultat final.

Conclusion

Avec cette étude, nous atteignons un niveau de qualité qui rendrait jaloux de nombreux audiophiles équipés de matériels de haut de gamme commercialisés à des prix prohibitifs pour la plupart des amateurs.

Les lecteurs qui ont placé leurs espoirs audiophiles dans la réalisation complète de notre système (Coaxiale + caissons de grave + filtre) ne regretteront pas leur investissement.

G. KOSSMANN

⁽¹⁾ Compact test et essais, PV. 784031 CA 803, Disques Pierre Verany, Chemin de la Bosque, 13090 Aix-en-Provence

CD-02
Led
 Fichiers PDF - 137 pages

AMPLIFICATEURS
 PUSH-PULL ET SINGLE END
 PRÉAMPLIFICATEURS
 ECF82-ECL86-ECC83-ECC81
 FILTRE ACTIF 2 VOIES

30 €

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

Des montages à la portée de tous en suivant pas à pas nos explications

Je désire recevoir le CD-Rom (fichiers PDF) « Et si vous réalisiez votre chaîne hi-fi à tubes... »

France : 30 € Union européenne : 32 € Autres destinations : 33 € (frais de port compris)

Nom : _____ Prénom : _____

N° : _____ Rue : _____

Code Postal : _____ Ville-Pays : _____

Tél. ou e-mail : _____

Je vous joins mon règlement par : chèque virement bancaire (IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445/BIC : CCFRFRPP)
 A retourner accompagné de votre règlement à : **TRANSOCÉANIC 3**, boulevard Ney 75018 Paris Tél. : 01 44 65 80 80

Selectronic
 L'UNIVERS ELECTRONIQUE

Tél. : 0 328 550 328
 Fax : 0 328 550 329
 www.selectronic.fr

Prix valables du 15 septembre 2009 au 14 septembre 2010

Adresse postale : BP 10050
 59891 - LILLE Cedex 9

Catalogue Général 2010

Magasin de LILLE (Ronchin) : ZAC de l'Orée du golf - 16 rue Jules Verne - 59790 RONCHIN
 Magasin de PARIS : 11 place de la Nation - 75011 - Tél. : 01.55.25.88.00 - Métro Nation

NOUVEAU Catalogue Général 2010

Selectronic
 L'UNIVERS ELECTRONIQUE

Plus de **816 pages** en couleur

Commandez-le dès maintenant !
 (Parution le 15 septembre 2009)



Coupon à retourner à : **Selectronic B.P 10050 • 59891 LILLE Cedex 9**

OUI, je désire commander le **NOUVEAU Catalogue Général 2010 Selectronic** à l'adresse suivante (ci-joint 12 timbres-poste au tarif "lettre" en vigueur ou 8,00€ par chèque) :

EP

Mr Mme Nom : _____ Prénom : _____

N° : _____ Rue : _____

Complément d'adresse : _____

Ville : _____ Code postal : _____ Tél : _____

"Conformément à la loi informatique et libertés n° 78.17 du 6 janvier 1978, Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant"

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 30V
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 où dépannages
ECL82-ECL86 fixation 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€

Tronfo d'alimentation capoté

Primaire 230v
Secondaire 300v 300mA 6,3V 4 A.....48€
Secondaire 400v 500mA 6,3V 6 A.....80€

SELS

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 -
120V/0,04A - 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€

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€

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 STEW*.....16€
ECL86 PH MZ*.....16€
EZ80 PH*.....16€
GZ32 PH*.....22€
5R4 PH*.....18€
5U4 MAZ*.....15€
5Y3 6B PH*.....15€
6AS76 RCA*.....20€
6V66 MAZ*.....16€
6F66RCA*.....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 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€

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 où 6C33 stéatite.....7,5€

CONNECTIQUES

RCA châssis femelle dorée rouge.....3€
RCA châssis femelle dorée noire.....3€
Prise banane HP dorée rouge/noire.....0,8€
RCA dorée mâle pour câble rouge/noire.....3€

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**

8XEC86

**CRITAL 8 WATTS
EN KIT 800€**

2850€

**AMPLI 2X36WATTS
4X6C41
INTEGRE 3250€**

850€

4X300B

INTEGRE 2X20WATTS

3750€

3450€

**2X15WATTS 2X300B
INTEGRE 3650€**

2900€

**24XEC86
INTEGRE 2X20WATTS**

1100€

**ALIZE ALTO 2X30WATTS
4X6L6**

190€

**2XUECL82
BLOC MONO 10WATTS
KIT 150€**

3300€

**24XEC86
2X20WATTS**

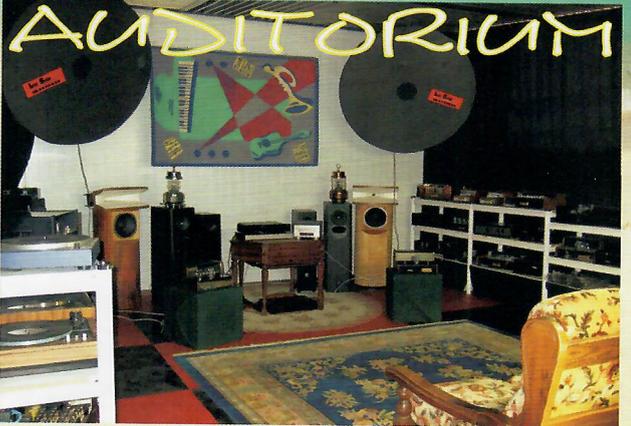
LE SCHUMANN

Une commutation à l'arrière de notre amplificateur permet de sélectionner des tubes de technologie différente (TRIODES-PENTODES-TETRODE), 300B-300BKR-KT90-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 et de très grandes dimensions poids 4kg, pas moins de 18 couches sandwich
Temps de montée 4,5µs - puissance 6 à 15 watts selon tubes
Band passante 20 Hz - 20KHZ plus ou moins 0,4 dB à 1 watt
Distorsions 0,4% à 5w 1000HZ pour 300B ou 6B4G
Signalbruit -96 Db
Ampli mono équipé d'un tube au choix capot supérieur en inox poli ou noire prix 1450 euros.
Ampli mono pouvant utiliser tous les tubes énumérés équipé d'une 300B seulement prix 1825 euros.



AFFAIRES

PC86 PC88*les 10.....60€
PCC88-ECC189-PCC189*les 10.....80€
ECL84-ECL80 * les 10.....60€
6AK5-6AS6*US les 10.....70€
6L66C vielli appairé les 4.....60€
ECF82-6U8 * les 10.....70€
transfo torrique 40va 12v.....8€
transfo 4va 12v à picots les 10.....20€



SERVICE VENTE PAR CORRESPONDANCE FORFAIT DE PORT 10€ - MINIMI DE COMMANDE 20€

35 ans

à votre service

avec bonne humeur

St Quentin radio

distribue

NEUTRIK

XLR



Prix TTC donnés à titre indicatif

adaptateurs XLR Jack RCA

Jack 6,35 <> XLR

	Jack ♂ - XLR ♂ mono 10,50€
	Jack ♂ - XLR ♀ mono 10,50€
	Jack ♂ - XLR ♀ stéréo 11,00€
	Jack ♂ - XLR ♂ stéréo 11,00€
	Jack ♀ - XLR ♂ stéréo 13,00€
	Jack ♀ - XLR ♀ stéréo 13,00€

RCA <> XLR

	RCA ♀ - XLR ♂ 10,50€
	RCA ♂ - XLR ♀ 11,50€
	RCA ♂ - XLR ♂ 11,00€
	RCA ♀ - XLR ♀ 10,50€

XLR <> XLR

	XLR ♂ - XLR ♂ 9,00€
	XLR ♀ - XLR ♀ 9,00€

mâle nickelé

	3br - 3,90€
	4br - 5,30€
	5br - 9,00€
	6br - 10,70€
	7br - 13,00€

femelle nickelé

	3br - 4,20€
	4br - 6,50€
	5br - 10,50€
	6br - 12,00€
	7br - 14,50€

chassis mâle série P

	5br - 8,00€
	6br - 11,50€
	7br - 17,00€

chassis femelle série P

	5br - 12,00€
	6br - 14,50€
	7br - 18,00€

mâle noir contact or

	3br - 4,90€
	4br - 6,00€

femelle noir contact or

	3br - 5,50€
	4br - 6,95€

chassis mâle série D

	3br - 5,00€
--	-------------

chassis femelle série D

	3br - 5,50€
--	-------------

mâle nickelé coudé

	3br - 7,50€
	4br - 9,50€

femelle nickelé coudé

	3br - 9,00€
	4br - 11,00€

mâle noir contact or

	3br - 6,00€
	4br - 7,50€

femelle noir contact or

	3br - 6,50€
	4br - 9,00€

Minicon 12 contacts

	prolongateur ♂ 12,50€
	chassis ♀ 15,00€
	prolongateur ♀ 19,00€
	chassis ♂ 11,00€

Speakon 4 pôles

	chassis ♀ 3,50€
	prolongateur ♂ 7,50€

Jack 3,5mm

	stéréo coudé ♂ 3,80€
	stéréo droit ♂ 2,50€
	stéréo droit ♂ 2,50€
	stéréo ♀ doré 1,80€

Transformateur audio

	rapport 1:1 12€
	rapport 10:3:1 16,50€
	rapport 1:1 prof. 16,50€

IEEE - série D

	9,00€
--	-------

USB - série D

	USB A USB B 5,75€
--	-------------------------

RJ 45 - série D

	10,50€
--	--------

RJ 45 - Prolong.

	4,00€
--	-------

BNC 75 - série D

	traversée 11,00€
--	---------------------

Powercon

	entrée 230V 7,50€
	entrée 230V 3,50€
	sortie 230V 7,50€
	sortie 230V 3,50€

Jack 6,35

	Jack ♂ mono droit 4,30€
	Jack ♂ stéréo droit 5,90€
	Jack ♂ mono coudé 4,60€
	Jack ♂ stéréo coudé 8,50€
	Jack ♀ stéréo 8,80€
	Jack ♀ stéréo 7,10€
	mono doré 2,90€
	Combo Jack - XLR pour CI coudé 5,00€
	Combo Jack - XLR pour CI droit 5,00€
	Embase chassis mono pour CI 2,20€
	Embase chassis stéréo pour CI 2,30€

RCA

RCA/CINCH

	♀ série D, noir repère : noir 7,00€
	♀ série D, noir repère : rouge 7,00€
	♀ série D, noir repère : jaune 7,00€
	♂ repère blanc 1,85€ pièce 6,20€ les 4
	♂ repère bleu 1,85€ pièce 6,20€ les 4
	♂ repère jaune 1,85€ pièce 6,20€ les 4
	♂ repère noir 1,85€ pièce 6,20€ les 4
	♂ repère rouge 1,85€ pièce 6,20€ les 4
	♂ repère vert 1,85€ pièce 6,20€ les 4
	PROFI ♂ la paire R+ N 19,00€
	Embase ♀ repère noir 2,00€
	Embase ♀ repère rouge 2,00€
	Embase ♀ repère jaune 2,00€
	Embase ♀ repère vert 2,00€
	Embase ♀ repère bleu 2,00€

♀ = connectique femelle ♂ = connectique mâle

Divers		cache trou 0,95€
		Protection fiche série D 1,25€
		montage plinthe série D 10,00€
		Coquille pour montage série D. (livré nu sans fiche) 11,00€

St Quentin radio

6 rue de St Quentin 75010 PARIS

Tél 01 40 37 70 74 - Fax 01 40 37 70 91 - e-mail : sqraliceadsl.fr

Horaires d'ouverture : du lundi au vendredi de 9h30 à 12h30 et de 14h à 18h20. Le samedi de 9h30 à 12h et de 14h à 17h50.

Expédition mini 20€ de matériel. Expédition Poste ou GLS (à préciser lors de votre commande) : 7€ + 2€ par objets lourds (coffrets métal, transfo etc...). CRBT +7,00€ en plus (uniquement pour la Poste). Paiement par chèque ou carte bleue.

www.stquentin-radio.com

Commande en ligne - paiement sécurisé BNP - mercanet

Prix donnés à titre indicatif

composants électroniques