

**RÉTRO-CIRCUITS**

Générateur de fonctions  
0,2 Hz à 20 MHz  
avec MAX038

EASYPIC 5  
Carte  
d'expérimentation

Télécommande  
évoluée  
à modules  
NTX2/NRX2

Profondimètre  
à capteur  
de pression  
MPX2200AP

**ÉCHIQUIER  
ÉLECTRONIQUE**  
avec dsPIC  
de Microchip



## Lextronic distribue un fabricant leader de modules ZigBee



### SÉLECTRONIC Plafonnier à leds de hautes performances



**DÉVELOPPÉ INITIALEMENT POUR LE MILIEU AQUATIQUE** où la consommation électrique des luminaires est un problème fondamental, le nouveau plafonnier à leds distribué par Sélectronic concerne tous les véhicules fonctionnant sur batterie : camping-cars, caravanes, poids-lourds, etc. Sa qualité de lumière est pratiquement unique sur le marché puisque l'éclairage fourni est exactement celui d'un halogène avec respect du teint et des couleurs. Ceci avec une consommation très basse (4 W pour une équivalence de 30 W), un fonctionnement indifféremment sur 12 V ou 24 V et une longue durée de vie (plus de vingt mille heures). L'enjoliveur vissé avec finition miroir existe en trois versions : laiton, inox ou laqué blanc.

Prix unitaire conseillé : 59,50 €

SELETRONIC - BP 10050 - 59891 Lille cedex 9  
Tél. : 0 328 550 328 - [www.selectronic.fr](http://www.selectronic.fr)

**LEXTRONIC A CONCLU UN ACCORD DE DISTRIBUTION** pour la France avec MeshNetics, l'un des fournisseurs leader de modules ZigBee et de logiciels embarqués pour intégrateurs systèmes. Le distributeur va ainsi stocker les modules ZigBit et leurs starter-kits issus de la gamme des produits MeshNetics. Les modules ZigBit se déclinent en deux versions. Le premier module, le ZDM-A1281-B0, dispose d'une sortie RF prévue pour être associée à une antenne imprimée sur circuit ou à une antenne externe. Le ZDM-A1281-A2, est, lui, conçu pour les applications nécessitant un faible encombrement (rendu possible grâce à ses deux antennes « chip » intégrées). Les deux modules affichent une très faible consommation, des dimensions réduites (respectivement 18,8 x 13,5 mm et 24 x 13,5 mm). Ils offrent tous deux une excellente portée radio (de l'ordre de 1000 m en étant associés à une antenne externe).

À noter la sortie imminente d'un troisième module appelé « ZigBit Amp », lequel est probablement le premier du genre à combiner avec succès des performances apparemment incompatibles jusqu'alors, à savoir les transmissions sur de longues distances (près de 4 000 m !), associées à une faible consommation. Autant de performances attribuées à la conception unique de l'étage RF.

LEXTRONIC - 36-40 rue du Général de Gaulle - 94510 La Queue en Brie  
Tél. : 01 45 76 83 88 - [www.lextronic.fr](http://www.lextronic.fr) - [www.meshnetics.com](http://www.meshnetics.com)

## Multimètres de très haut niveau

### LES MULTIMÈTRES NUMÉRIQUES

Chauvin Arnoux, C.A 5287 & C.A 5289, offrent des performances métrologiques de haut niveau. Conformés à la norme IEC 61010 pour une utilisation sur des installations électriques CAT IV et des tensions par rapport à la terre de 600 V (ou 1000 V en CAT III), ils répondent aux besoins des secteurs de pointe tels que le contrôle de process industriel, la maintenance électrique, électrotechnique et électronique ou le contrôle métrologique (étalon secondaire terrain). Ces deux multimètres sont dotés d'un double afficheur 50 000 points avec bargraphe et rétro-éclairage pour une meilleure lisibilité et la visualisation instantanée de deux mesures distinctes. Tous deux sont dotés d'une interface de communication USB pour la liaison avec un PC et d'instructions de commandes au standard SCPI. L'option accumulateur et chargeur permet une utilisation en toute liberté.



CHAUVIN ARNOUX GROUP - [www.chauvin-arnoux.com](http://www.chauvin-arnoux.com) - Tél. : (33) 01 44 85 44 85

# ELECTRONIQUE PRATIQUE

N° 327 - Mai 2008

## Initiation

- 6 Internet pratique
- 10 KICAD : création et édition de schémas
- 16 Inductance

## Micro/Robot/Domotique

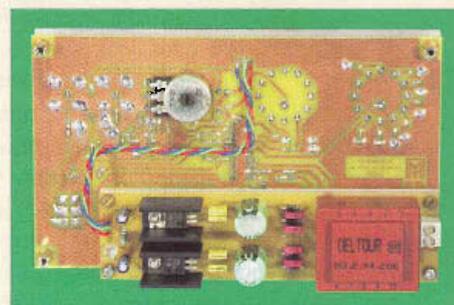
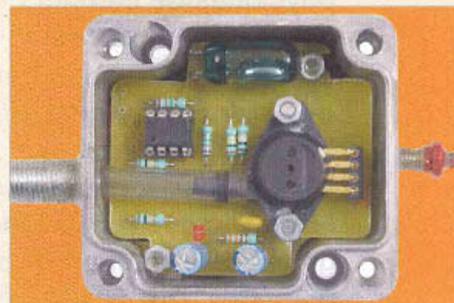
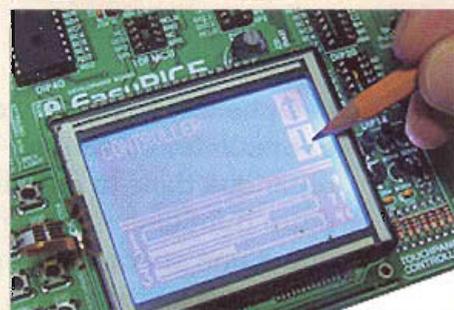
- 20 EasyPIC5 : carte d'expérimentation
- 24 Profondimètre à capteur MPX2200AP
- 31 Télécommande évoluée
- 41 Échiquier électronique
- 50 Générateur de fonctions 0,2 Hz à 20 MHz

## Audio

- 57 Amplificateur hybride push-pull de EL95

## Divers

- 19 Bulletin d'abonnement
- 30 Vente au numéro *Electronique Pratique*
- 40 Hors-série Audio 1 & 2
- 56 Vente au numéro *Led*
- 66 Petites annonces



Fondateur : Jean-Pierre Ventillard - **TRANSOCEANIC SAS** au capital de 574 000 € - 3, boulevard Ney, 75018 Paris Tél. : 01 44 65 80 80 - Fax : 01 44 65 80 90

Internet : <http://www.electroniquepratique.com> - Président : Patrick Vercher - Directeur de la publication et de la rédaction : Patrick Vercher

Secrétaire de rédaction : Elsa Sepulveda - Couverture : Dominique Dumas - Illustrations : Alain Bouteville Sanders

Photos : Isabelle Garrigou - Avec la participation de : R. Knoerr, G. Kossmann, P. Mayeux, Y. Mergy, P. Morin, P. Oguic, G. Samblancat, 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.oreane.com](mailto:pubep@fr.oreane.com)

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

Imprimerie : MAULDE & RENO U AISNE 02430 GAUCHY - DEPOT LEGAL : MAI 2008 - Copyright © 2008 - TRANSOCEANIC

ABONNEMENTS : 18-24, quai de la Mame - 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](http://www.expressmag.com) - [expmag@expressmag.com](mailto:expmag@expressmag.com) - Tarif abonnement USA-Canada : 60 €

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

Belgique : 5,50 € • Espagne : 5,60 € • Grèce 5,60 € • Suisse : 10,00 CHF • Maroc : 60 MAD • Tunisie : 5200 TND • Canada : 6,60 \$ CAN

© 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.

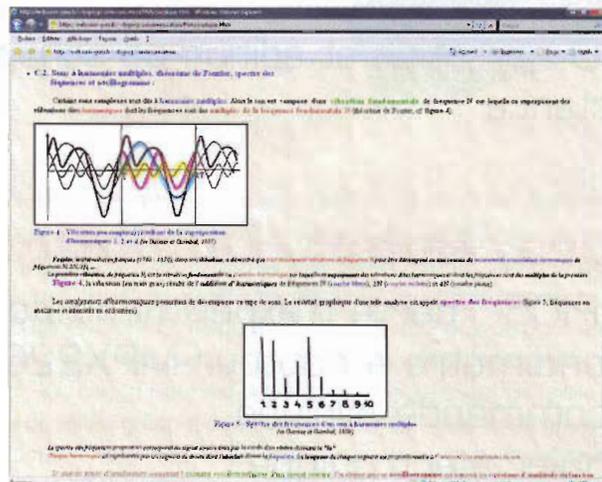
LE PROCHAIN NUMÉRO D'ÉLECTRONIQUE PRATIQUE SERA EN KIOSQUE LE 5 JUIN 2008

Les phénomènes vibratoires et ondulatoires sont si répandus dans la nature que notre quotidien n'est fait que d'une succession infinie des manifestations physiques de ceux-ci (propagation du son et de la lumière, perception de notre environnement). Partant de ce constat, il n'est pas étonnant que l'électronique reproduise et génère elle-même ces phénomènes. Des pans entiers des théories électroniques modernes sont consacrés à leur étude, au rang desquels figurent en première ligne les décompositions en série de Fourier et les transformées qui en découlent et dont on trouve quantité de présentations sur Internet.

**A**vant d'introduire le premier site sur ce sujet, nous devons évoquer le fait que les notions abordées font appel à des équations mathématiques d'un certain niveau qui pourraient rebuter les plus jeunes. Ne vous laissez pas impressionner, nous vous proposons aussi des pages plus ludiques grâce à l'utilisation de petits « applets » écrits en Javascript. Le premier site à visiter se trouve à l'adresse <http://web.univ-pau.fr/~degred/communication/P6Acoustique.Htm> Accessible aux plus réfractaires aux mathématiques, ce site introduit très brièvement les notions de spectre, fréquence fondamentale et signaux harmoniques, ainsi qu'une très brève mention au théorème de Fourier et à la superposition des signaux harmoniques.

En deuxième lieu, télécharger à l'adresse <http://irmawww.epfl.ch/~pasquarello/physgen/complements/compltFourier.pdf> un document complet (format PDF) qui développe les notions mathématiques servant de fondement à la décomposition en série de Fourier. Si l'aspect mathématique de ce document vous rebute

# internet PR@TIQUE



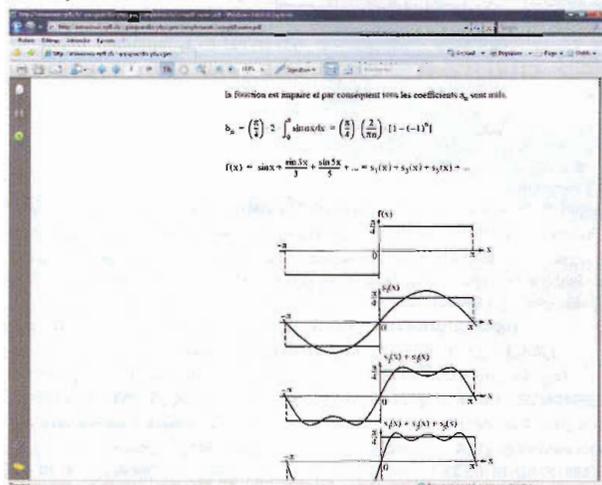
1 <http://web.univ-pau.fr/~degred/communication/P6Acoustique.Htm>

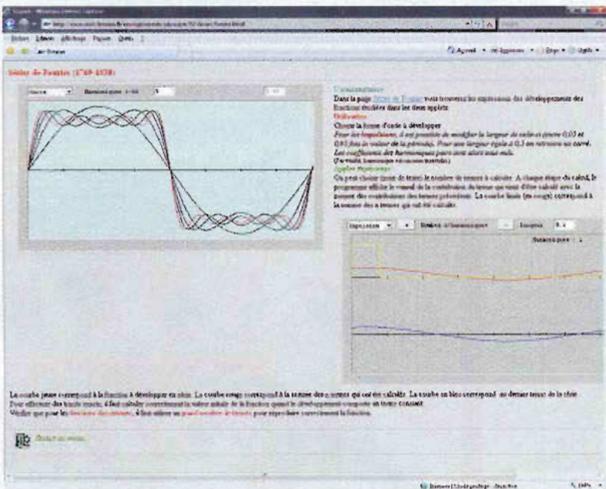
(il n'y a pas de honte à cela), vous pourrez tout de même tirer parti des illustrations qui montrent l'effet de la superposition des signaux sinusoïdaux pour approximer le signal souhaité et les effets de l'ordre du polynôme approchant.

Mais pour illustrer l'intérêt de la superposition, rien ne vaut un bon petit applet écrit en Javascript, tel celui figurant à l'adresse suivante :

<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/I02/divers/fourier.html>

2 <http://irmawww.epfl.ch/~pasquarello/physgen/complements/compltFourier.pdf>





3

<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/divers/fourier.html>

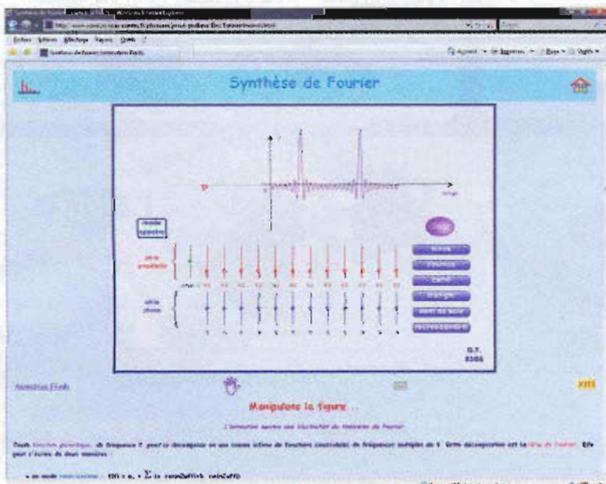
se situe à l'adresse <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Fourier/fourier1.html> Il se distingue du premier par le fait marquant qu'il projette dans le temps

le vecteur de Fresnel équivalent à la superposition des signaux harmoniques sur un signal fondamental. Pour comprendre en quoi il est utile d'étudier la nature ondulatoire des signaux péri-

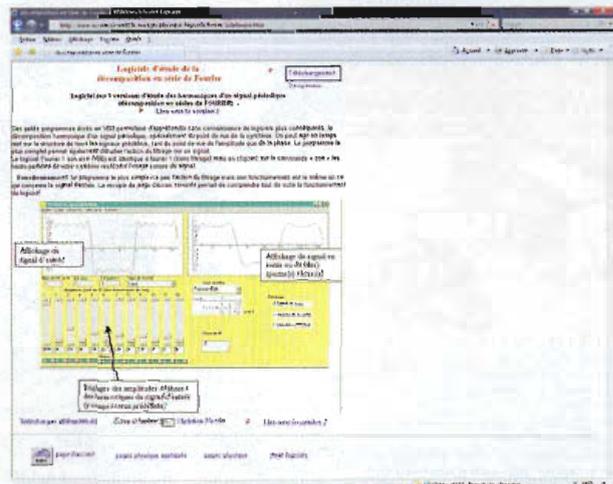
diques, il n'y a pas mieux. Au-delà des applets Java qui permettent de comprendre la nature des signaux périodiques et l'intérêt des décompositions en série de Fourier, nous avons trouvé intéressant de vous faire découvrir également certains petits logiciels gratuits qui permettent d'évaluer les performances de plusieurs types de filtres classiques appliqués en rapport avec les décompositions en série de Fourier. Vous trouverez sur le site <http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/logiciels/fourier/aidefourier.htm> un exemple de programme très intéressant. Nous terminerons ici notre visite sur le Net, en précisant que vous trouverez quelques liens supplémentaires sur ce sujet en annexe.

P. MORIN

4 <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Fourier/fourier1.html>



5 <http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/logiciels/fourier/aidefourier.htm>



- <http://web.univ-pau.fr/~degred/communication/P6Acoustique.Htm>
- <http://irmawww.epfl.ch/~pasquarello/physgen/complements/compltFourier.pdf>
- <http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/divers/fourier.html>
- <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Fourier/fourier1.html>
- <http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/logiciels/fourier/aidefourier.htm>
- <http://villemin.gerard.free.fr/Wwwgvm/Analyse/Fourier.htm>
- <http://fcd.ema.fr/fourier.pdf>
- [http://www.unilim.fr/pages\\_perso/jean.debord/math/fourier/fft.htm](http://www.unilim.fr/pages_perso/jean.debord/math/fourier/fft.htm)
- [http://www.iut-bethune.univ-artois.fr/sokol/cours/ser\\_four/fourier.html](http://www.iut-bethune.univ-artois.fr/sokol/cours/ser_four/fourier.html)
- <http://www.4p8.com/eric.brasseur/four.html>
- <http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/scphysiques/QCMGiraud/QCMFourier/sp37.htm>
- <http://irmawww.epfl.ch/~pasquarello/physgen/complements/compltFourier.pdf>
- <http://www.polytech.unice.fr/~leroux/presentationfourier/presentationfourier.html>
- <http://www.univ-orleans.fr/mapmo/membres/royer/cours/fourier.pdf>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A9gorie:Th%C3%A9orie\\_de\\_Fourier](http://fr.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A9gorie:Th%C3%A9orie_de_Fourier)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie\\_de\\_Fourier](http://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie_de_Fourier)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Transform%C3%A9e\\_de\\_Fourier](http://fr.wikipedia.org/wiki/Transform%C3%A9e_de_Fourier)
- [http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs\\_laplace.pdf](http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs_laplace.pdf)
- <http://c.caignaert.free.fr/chapitre12/node2.html>
- <http://perso.univ-rennes1.fr/stephane.balac/ens/INSA/pc2A/slides/m2crs6www.pdf>
- [http://pagesperso-orange.fr/gilbert.gastebois/java/fourier/theorie\\_fourier.htm](http://pagesperso-orange.fr/gilbert.gastebois/java/fourier/theorie_fourier.htm)
- <http://www-prima.imag.fr/lc/Courses/2002/ENSI2.TSTN/ENSI2.TS.S9.pdf>
- [http://cas.ensmp.fr/~chaplais/Wavetour\\_presentation/transformees/Fourier/Fourier\\_\(presentation\).html](http://cas.ensmp.fr/~chaplais/Wavetour_presentation/transformees/Fourier/Fourier_(presentation).html)
- <http://www.pi314.net/fourier.php>

## Liste des liens

# KICAD

## Création et édition de schémas

Les possibilités (particulièrement nombreuses) et la puissance de Kicad sont telles que nous n'avons pas imaginé notre travail aussi prenant, riche, fastidieux et... long !

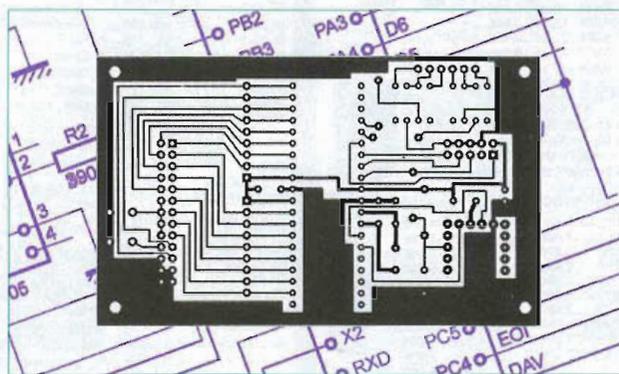
Voici donc la troisième partie de notre article portant sur ce logiciel libre pour la réalisation de schémas et circuits imprimés.

**S**'il n'est pas complexe, un schéma sera représenté sur une seule feuille, mais souvent il nécessitera plusieurs feuilles. Un schéma représenté sur plusieurs feuilles sera alors dit « hiérarchique » et l'ensemble de ces feuilles (chacune représentée par un fichier propre) constitue pour **EeSchema** un projet.

Le projet est constitué du schéma principal, appelé schéma **racine** (ou « root ») et des sous schémas constituant la hiérarchie. De façon à ce que **EeSchema** puisse, à partir du schéma racine, retrouver tous les autres fichiers du projet, on devra suivre des règles de dessin qui seront développées par la suite. Plus tard, on parlera de projet, aussi bien pour les schémas réduits à une seule feuille, que pour les schémas multi-feuilles en hiérarchie. Par ailleurs, dans cette suite, un chapitre spécial développe l'utilisation de la hiérarchie et ses particularités.

Par ailleurs, sachez qu'un schéma réalisé grâce à **EeSchema** est plus qu'une simple représentation graphique d'un montage électronique. C'est normalement le point d'entrée d'une chaîne de développement qui permet :

- Un contrôle des règles électriques (contrôle E.R.C.) permettant souvent de déceler automatiquement des erreurs ou des oublis sur le schéma;
- La génération automatique de la liste des composants;
- La génération de net listes pour la simulation de fonctionnement grâce aux logiciels de simulation comme Pspice;
- La génération de net listes pour la réalisation de circuits imprimés (PCBNEW);
- Le contrôle de cohérence entre le schéma et le circuit imprimé est alors automatique et instantané de façon à pouvoir profiter de toutes ces possibilités, on devra respecter certaines contraintes et conventions, pour éviter les mauvaises surprises et les erreurs;
- Un schéma est principalement constitué de composants, de fils de connexions (ou « wires »), de labels, de

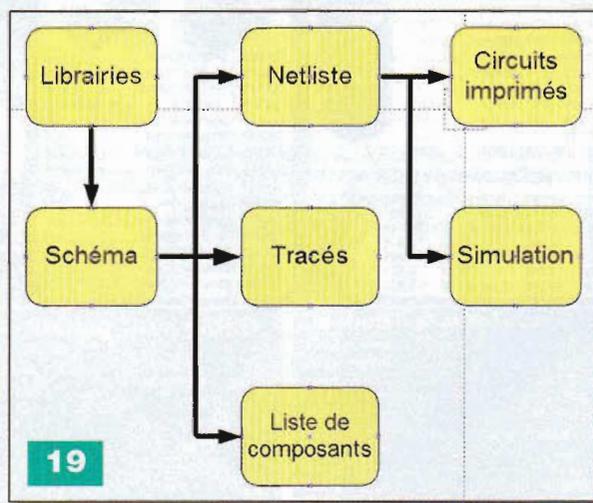


jonctions, de bus et d'alimentations;

- Pour plus de clarté dans le schéma, on pourra y placer des éléments purement graphiques comme les entrées de bus, des textes de commentaires et des traits pointillés pour encadrer des sous ensembles.

### La chaîne de développement

Comme le visualise la **figure 19**, le logiciel de schématique travaille à partir de **librairies de composants** pour aboutir à la réalisation des circuits imprimés. Outre les fichiers de tracés, le fichier **netliste** est tout particulièrement important pour la suite du processus, car c'est lui que les autres logiciels utilisent. Un fichier **netliste** donne la liste des composants et la liste des connexions électriques issues du schéma. Il existe (malheureusement pour l'utilisateur) un grand nombre de formats de **netliste**, dont certains sont plus connus. C'est le cas du format **Spice**, par exemple. Nous découvrirons ultérieurement les détails qui constituent une **netliste**.

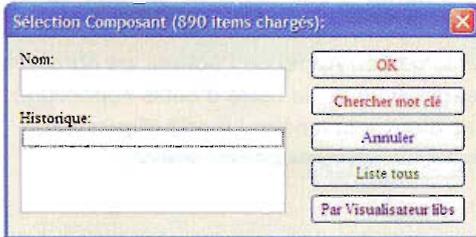


## La découverte du tracé

37 - Cliquer sur le bouton  **Ajouter composant** dans la barre d'outils de droite;

38 - Cliquer au milieu de l'écran à l'emplacement où vous voulez placer votre premier composant.

39 - La fenêtre **Sélection composant** apparaît alors (figure 20);



20

40 - Cliquer sur **Liste tous**;

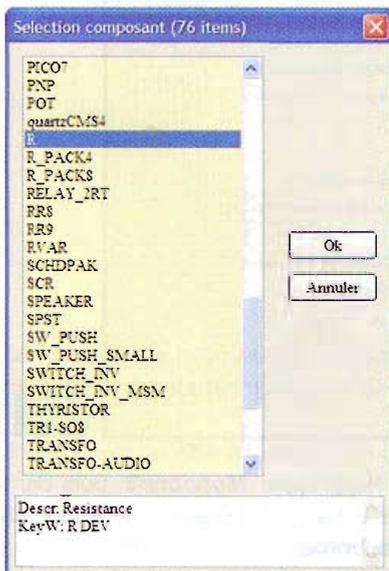
41 - La fenêtre **Sélection librairie** apparaît (figure 21);



21

42 - Double cliquer sur **device**;

43 - La fenêtre **Sélection composant** apparaît à son tour (figure 22)



22

44 - Descendre l'ascenseur jusqu'à la ligne **R** et double cliquer dessus;

45 - Appuyer sur la touche **r** du clavier pour remarquer

que le composant tourne par bond de 90° pour alignement vertical ou horizontal;

46 - Placer le composant au milieu de la feuille en cliquant sur le bouton gauche; le tracé passe du noir au rouge et le composant est ancré à l'endroit où vous avez cliqué;

47 - Cliquer deux fois sur la loupe  de la **barre d'outil générale** pour zoomer le composant;

48 - Cliquer deux fois sur la loupe  de la **barre d'outil générale** pour réduire le composant;

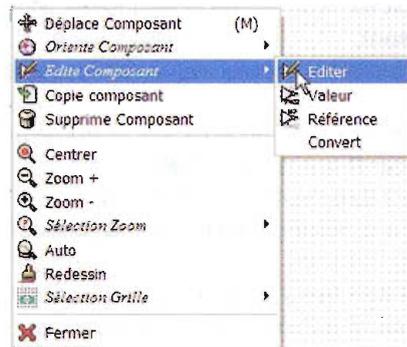
49 - Maintenant, appuyer deux fois sur la touche **F1** du clavier pour constater que l'effet est le même qu'avec la loupe +;

50 - Appuyer deux fois sur la touche **F2** de votre clavier, le composant diminue. Vous venez de découvrir que certaines commandes sont doublées par certaines touches du clavier;

51 - Zoomer à nouveau le composant au maximum;

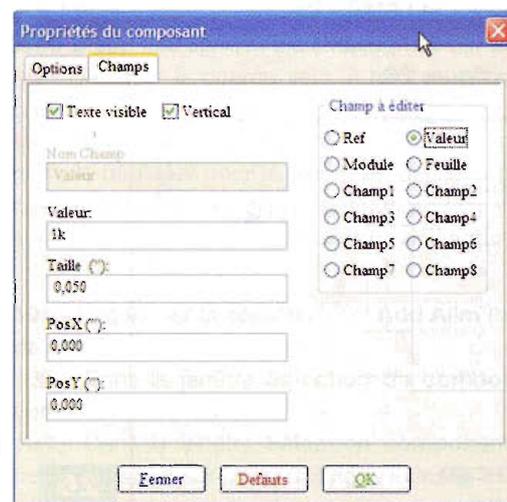
52 - Faire un clic-droit au milieu du composant;

53 - Dans le menu **Pop Up** qui apparaît (figure 23), sélectionner **Edite composant** puis **Editer**;



23

54 - La fenêtre **Propriétés du composant** s'affiche (figure 24); cliquer sur l'onglet **Champs**, puis sélectionner le bouton radio **Valeur**;



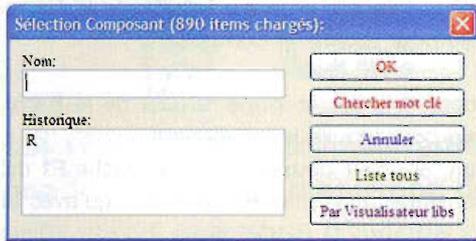
24

55 - Dans le champ **Valeur**, remplacer la valeur actuelle **R** par **1k**;

56 - Cliquer sur **OK**;

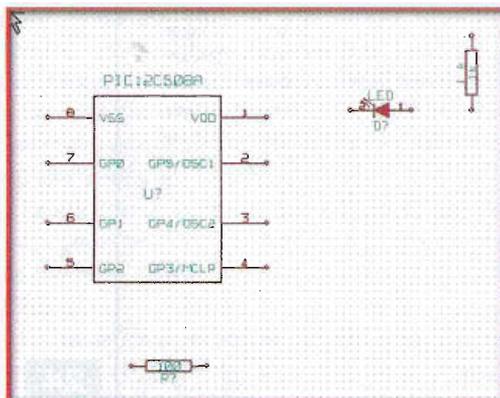
57 - La valeur à l'intérieur du corps de la résistance, doit désormais être **1k**;

- 58** - Par la même procédure, placer une deuxième résistance à côté de la première (procédure lignes 41 et 42);
- 59** - La fenêtre **Sélection composant** apparaît à nouveau;
- 60** - La résistance, précédemment choisie et placée, est désormais présente dans l'historique et apparaît sous la forme de la lettre **R** (*figure 25*);



25

- 61** - Cliquer sur **R** contenu dans le champ **Historique** et placer la résistance sur la feuille de tracé;
- 62** - Répéter l'opération et placer une troisième résistance sur la page;
- 63** - Faire un clic droit sur la deuxième résistance et cliquer sur **Supprime composant** (icône poubelle du menu déroulant), ceci doit supprimer le composant;
- 64** - Faire un clic droit sur la troisième résistance et choisir **Déplace composant**;
- 65** - Déplacer le composant et faire un clic gauche pour le lâcher;
- 66** - Répéter les opérations de 56 à 61 sur la troisième résistance et remplacer **R** par la valeur **100**;
- 67** - Répéter les opérations de 41 à 45, mais choisir cette fois **microcontroller** à la place de **device** et **PIC12C508A** à la place de **R**;
- 68** - Appuyer sur les touches **y** et **x** du clavier; observer que le composant subit une transformation de type **miroir** sur ses axes x et y. Appuyer de nouveau sur **y** et **x** afin que le composant revienne dans son orientation initiale;
- 69** - Placer le composant sur la page;
- 70** - Répéter les opérations de 41 à 45, en choisissant cette fois **device** et **LED**;
- 71** - Déplacer les composants sur la page afin que le tracé ressemble la *figure 26*;



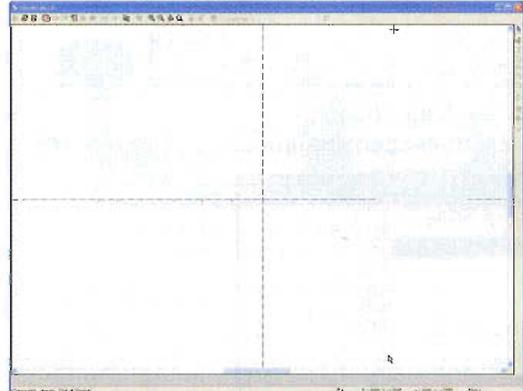
26

A ce stade, nous avons exploré plusieurs commandes importantes pour le tracé. Je vous laisse à votre guise explorer les autres commandes de ce menu. Il faut admettre que le menu **Pop Up** est très utile et pratique pour toutes les commandes qui gravitent autour des composants.

## Création de composants

Jusqu'à présent, nous avons utilisé des composants natifs dans la librairie. C'est très pratique, mais comme en matière d'électronique les composants évoluent et que de nouveaux modèles sont produits régulièrement, il est impératif de pouvoir créer de nouveaux symboles à l'aide d'un éditeur spécifique. Comme vous le constaterez plus loin, avec **Eeschema** c'est possible et très facile. Ajoutons un composant simple.

- 72** - Cliquer sur le bouton **Appel de l'éditeur de librairies et de composants** situé sur la barre d'outils supérieure;
- 73** - Vous venez d'ouvrir la fenêtre **Libedit** (*figure 27*);



27

- 74** - Cliquer sur le bouton  **Sélection de la librairie de travail** qui se trouve sur la barre d'outils supérieure;
- 75** - Dans liste **Sélection librairie** qui vient d'apparaître, double cliquer sur la ligne **conn**;

- 76** - Ensuite cliquer sur le bouton  **Nouveau composant**, la fenêtre **Création Composant** s'ouvre (*figure 28*);



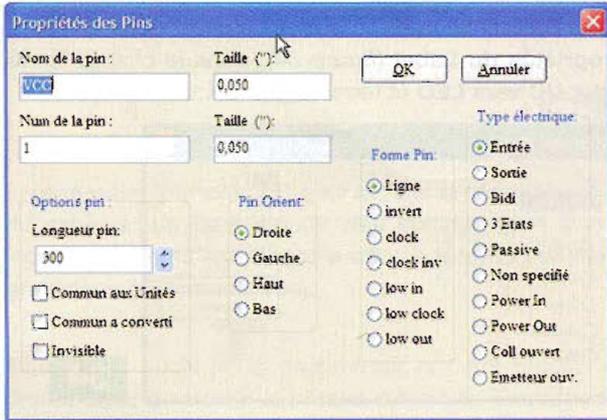
28

- 77** - Dans le champ **Nom**, taper **Monconn3**, puis dans **Référence**, remplacer **U** par **J** et sélectionner le bouton radio **1** dans **Parts par boîtier**;
- 78** - Conserver la sélection des trois **Options d'affichage** et valider par **OK**;
- 79** - Le nom du nouveau composant doit s'afficher au centre de la fenêtre de l'éditeur;

**80** - Cliquer une fois sur la loupe **Zoom automatique** pour zoomer sur le nom du composant;

**81** - Cliquer sur le bouton  **Addition de pins** (barre verticale de droite) et cliquer sur l'écran à l'endroit où vous souhaitez ajouter une patte de connexion;

**82** - Dans la fenêtre **Propriétés des pins** qui s'ouvre (*figure 29*), définir **Nom de la pin** comme **VCC** et le **Num de la pin** (Numéro) comme **1**;



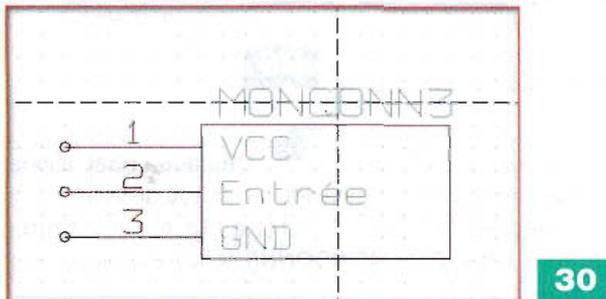
**83** - Poursuivre par le **Type électrique** en sélectionnant **Power in**, puis valider les paramètres par **OK**;

**84** - Placer la **pin** en cliquant à l'endroit que vous souhaitez; la pin est posée avec son nom et son numéro;

**85** - Répéter les opérations de 82 à 85 en définissant cette fois le **Nom de la pin** comme **Entrée**, le **Num de la pin** comme **2** et le **type électrique** sur **Entrée**;

**86** - Répéter les opérations de 82 à 85 en définissant cette fois le **Nom de la pin** comme **GND**, le **Num de la pin** comme **3**; le **type électrique** doit être sur **Power Out**;

**87** - Déplacer les pattes si nécessaire dans le même ordre visible à la *figure 30*;



**88** - Cliquer sur le bouton  **Sauve le composant en librairie courante (en mémoire)** de la barre d'outils supérieure;

**89** - Cliquer sur **Oui** à la demande de confirmation;

**90** - Cliquer sur le bouton  **Sauver librairie chargée courante sur disque dur (mise à jour du fichier)** de la barre d'outils du haut.

**91** - Cliquer sur **Oui** à la demande de confirmation;

**92** - Vous pouvez maintenant fermer la fenêtre **Libedit** et retourner sur la fenêtre **EeSchema**;

### Remarque

Pour qu'une librairie soit disponible, il faut qu'elle ait été chargée par **EeSchema** auparavant. Lorsqu'on édite un composant, on ne travaille jamais sur le composant réellement en librairie, mais sur sa copie en mémoire de travail. On peut ainsi annuler facilement une édition. Un composant peut en réalité provenir d'une librairie, d'une sauvegarde ou d'un composant ancien. Une fois chargé, il sera affiché à l'écran. Par conséquent, après avoir créé un nouveau composant, il ne faut pas oublier de le sauvegarder sur le disque dur du PC avant de quitter le programme. Après une modification ou une création, un composant peut être sauvegardé dans la librairie courante ou dans une nouvelle librairie, voire exporté dans un fichier de sauvegarde.

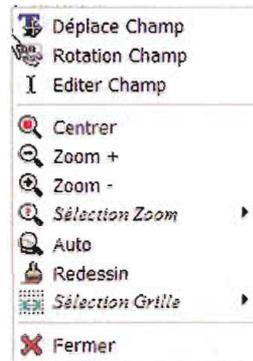
**93** - Faire apparaître le composant que vous venez de créer en reprenant la procédure des lignes **37** à **43**;

**94** - Le placer à gauche de la résistance du bas du schéma;

**95** - Garder le pointeur de souris sur le composant et appuyer sur la touche **Y** pour inverser la position du connecteur, afin que les pins soient orientées à droite;

**96** - Placer le pointeur et faire un clic droit sur le nom du composant **MONCONN3**;

**97** - Le menu **Pop Up** (*figure 31*) s'affiche; sélectionner **Déplace champs**;



**98** - Déplacer le champ vers le haut et le fixer d'un clic gauche;

**99** - Vous devez voir apparaître **J ?** et, comme pour le nom, le déplacer pour le placer en-dessous du boîtier du connecteur et le fixer d'un clic gauche;

**100** - Replacer le nom au-dessus du boîtier du connecteur;

**101** - Cliquer sur le bouton  **Add Alim** (barre d'outils de droite);

**102** - Dans la fenêtre **Sélection de composant**, sélectionner **Liste tous**;

**103** - Dans la fenêtre **Sélection composant**, faire descendre l'ascenseur jusqu'à la ligne intitulée **VCC**, la sélectionner par un double clic gauche ou sur **OK** et placer le composant au-dessus de la résistance de **1k**;

**104** - Cliquer près de la pin **VDD** du **Processeur PIC**;

**105** - Dans la fenêtre **Sélection composants**, cliquer sur **VCC** qui se trouve dans le champ **Historique** et cliquer à nouveau près de la pin **VDD** du **Processeur PIC**;

**106** - Répéter cette dernière opération, mais cette fois en

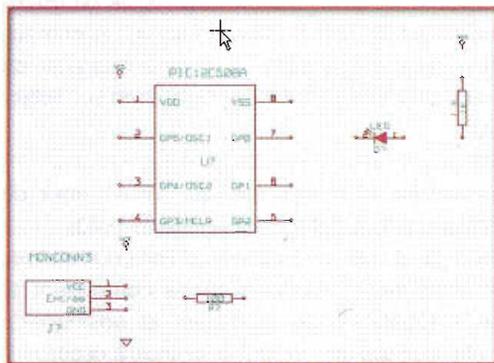
plaçant le composant **VCC** au dessus de la pin **1** du connecteur;

**107** - Répéter les étapes 101 à 103, mais cette fois choisir le symbole **GND**;

**108** - Placer le symbole **GND** sous la pin **GND** du connecteur;

**109** - Continuer en plaçant le symbole **GND** à droite près de la pin **VSS** du processeur;

**110** - Après avoir déplacé les composants, vous devriez obtenir le résultat suivant de la **figure 32**;



32

## Liaisons entre les composants

Maintenant, nous allons aborder le tracé des liaisons électriques entre les composants du schéma. Cette opération est très importante. Il ne faut rien oublier au risque d'avoir un schéma incomplet. Mais rassurez-vous, l'outil de **Contrôle des règles électriques** nous assurera la signalisation des erreurs.

**111** - Dans la barre d'outils de droite, sélectionner le bouton  **Addition de fils de connexion**;

**Remarque** : faire attention de **ne pas choisir Add bus** qui apparaît juste en-dessous, mais qui est représenté par un trait plus épais.

**112** - Cliquer sur le petit cercle à l'extrémité de la **pin 7** du processeur **PIC**, puis sur le petit cercle sur la **pin 2** de la **LED**;

**113** - Répéter l'opération afin de connecter tous les autres composants, comme indiqué à la **figure 33**.



33

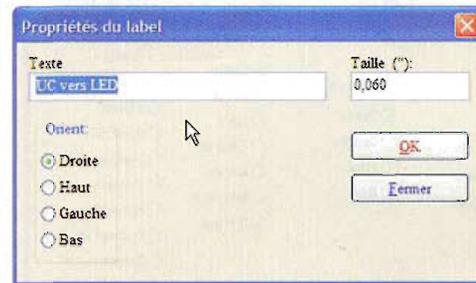
**Remarque** :

lorsque l'on câble vers les symboles **VCC** et **GND**, le fil doit toucher le bas des symboles.

**114** - Donner un nom aux connexions en cliquant sur le bouton **Addition des fils de connexion** de la barre d'outils de droite;

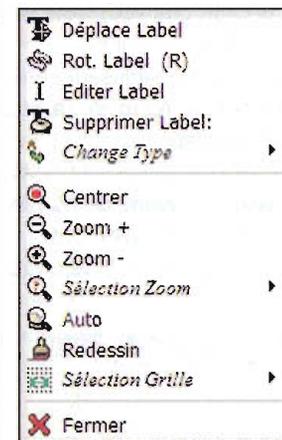
**115** - Cliquer avec le bouton droit au milieu du fil entre le **microcontrôleur** et la **LED** pour faire apparaître le menu **Pop Up des connexions** (**figure 33**);

**116** - Sélectionner  **Ajout Label** et dans la fenêtre **Propriétés du Label** (**figure 34**), dans le champ **Texte**, taper **UC vers LED** et terminer par **OK**;



34

**117** - Faire un clic droit sur le Label **UC vers LED**, le menu déroulant (**figure 35**) apparaît;



35

**118** - Valider la commande  **Déplace Label**; aligner le **Label** près du fil de connexion à l'endroit de votre choix;

**119** - Avec la même procédure 115 à 118, nommer **Entrée** le fil entre la **pin 2** de **MONCONN3** et la patte de la résistance de 100 Ω;

**120** - Nommer **Entrée** le fil à droite de la résistance de 100 Ω;

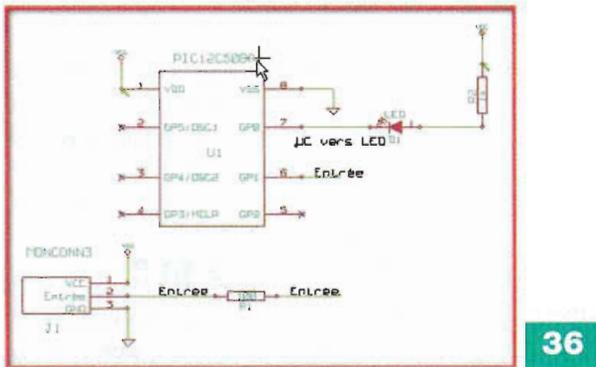
**121** - Nommer **Entrée** le fil qui part de la **pin 6** du processeur;

**Remarque**

Cette action crée une connexion invisible entre les deux pins nommées **Entrée**. C'est une technique très utile lorsque l'on souhaite connecter des fils dans un montage complexe. Cela évite d'avoir un schéma trop fourni, dégradant la lisibilité.

Il est inutile de nommer les lignes **VCC** et **GND** car leurs noms sont implicitement définis par les alimentations avec lesquelles elles sont reliées.

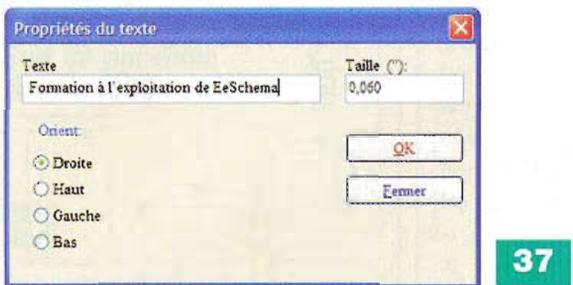
A ce stade du schéma, vous devriez avoir un dessin qui ressemble comme un jumeau à la **figure 36**.



36

Si nécessaire, par exemple pour faciliter la compréhension du schéma, on peut ajouter des commentaires sur la feuille du schéma en utilisant le bouton **Addition de texte graphique (commentaires)**;

**122** - Avec l'outil **T** présent sur la barre d'outils de droite, taper au clavier la phrase suivante : **Formation à l'exploitation de EeSchema** dans la fenêtre (**figure 37**) **Propriétés du texte**, champ **Texte**;



37

### Remarque

Le mode texte graphique sert uniquement de commentaire. Il n'a aucune influence sur le schéma électrique du projet. C'est du mode texte tout simple.

Le programme **EeSchema** détecte automatiquement certains types d'erreurs. Concernant les fils de connexions, ils sont testés un à un et si le programme détecte une anomalie de connexion, il génère un message d'avertissement. Pour éviter ces messages d'erreurs, vous pouvez informer le programme que ces fils ou ces pins ne sont volontairement pas connectés. Voyons l'utilisation de cette fonction.

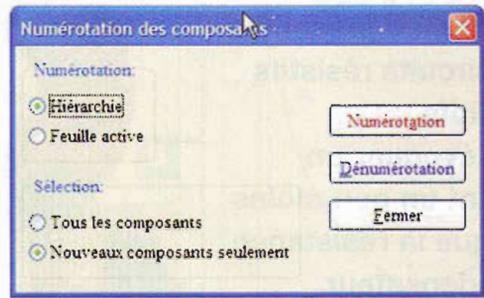
**123** - Cliquer sur le bouton **X** **Addition de symboles de non connexion** de la barre d'outils de droite;

**124** - Cliquer sur le petit cercle qui termine les lignes 2,3,4 et 5 du processeur; après la commande, on constate que chaque pin sélectionnée présente une croix sur le petit cercle, preuve que la " non connexion " a été enregistrée par le programme;

Si on désire obtenir un schéma exploitable, clair et précis, il est nécessaire que chaque composant possède son propre et unique identifiant. Pour cela, nous allons utiliser une commande très pratique qui va se charger de cette

tâche délicate. Il s'agit de la commande **Annotation des composants**;

**125** - Passer à la commande précitée, puis cliquer sur le bouton **UP** sur la barre d'outils du haut, la fenêtre **EESchema Annotation** s'affiche (**figure 38**)



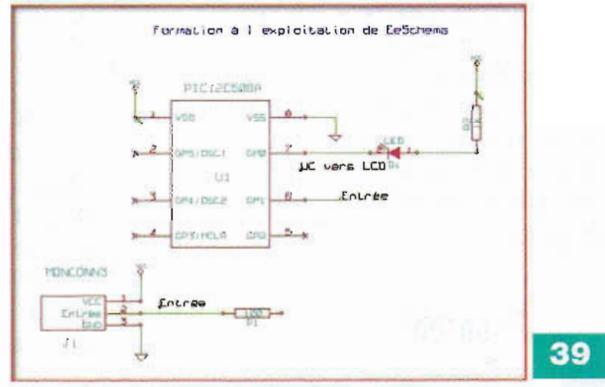
38

**126** - Sélectionner le paramètre **Tous les composants** et cliquer sur **Numérotation**;

**127** - Cliquer sur **OUI** en réponse à la signalisation : **La numérotation existante va être détruite, continuer ?**;

Vous aurez remarqué, j'en suis sûr, que tous les « ? » sur les composants ont été remplacés par un numéro. Chaque identifiant est bien unique. Dans notre exemple, il s'agit de « R1 », « R2 », « U1 », « D1 » et « J1 ».

La **figure 39** nous montre le schéma terminé avec ses annotations complètes.



39

## Conclusion

Après ce long parcours, nous voici arrivés au terme du tracé du schéma. La suite sera consacrée aux contrôles électriques et à la création de la Netliste, passages obligés pour prétendre à la réalisation du tracé du circuit imprimé. En attendant, nous vous conseillons d'explorer le maximum de menus et commandes afin de vous exercer à l'utilisation de tout ce que nous avons employé et, pourquoi pas, de prendre de l'avance sur la prochaine partie de ce tutoriel. Avec cette suite, nous espérons notre propos clair pour tous les lecteurs.

à suivre  
**G. KOSSMANN**  
 gabriel.kossmann@wanadoo.fr

# Inductance

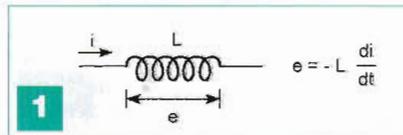
Nous avons déjà eu l'occasion de passer en revue le calcul de l'impédance présentée par des circuits résistifs ou capacitifs. Il reste à évoquer un composant un peu moins courant que la résistance ou le condensateur, à savoir la self.

Ce composant revêt une importance capitale dès lors que la source de courant se caractérise par une variation, en particulier si celle-ci est sinusoïdale.

## Généralités

### Inductance d'une bobine

On peut définir l'inductance d'une bobine, encore appelée « réactance de self », comme un coefficient de proportionnalité entre la force électromotrice induite aux bornes de cette bobine et la variation de courant (ramenée à l'unité de temps) qui produit cette force électromagnétique (figure 1).



Elle peut ainsi s'exprimer au moyen de la relation de base suivante :

$$e = -L \frac{di}{dt}$$

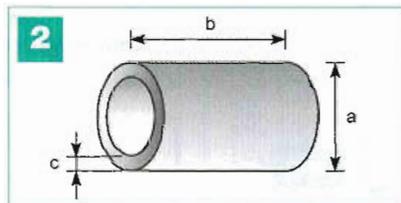
- e : Force électromotrice induite aux bornes de la bobine (V)
- L : Induction (ou coefficient de self) de la bobine (H)
- di/dt : Variation de courant (A) dans l'unité de temps (s)

L'unité retenue est le Henry (H), du nom de Joseph Henry, physicien américain (1797 – 1878) qui découvrit le principe de l'induction électromagnétique.



### Calcul de l'inductance d'une bobine à air

Pour obtenir des selfs de grandes valeurs (plusieurs dizaines de Henry), la bobine comporte souvent un noyau en matériau magnétique tel que le fer, en plus d'un nombre élevé de spires.



À l'inverse, une bobine à air ne comporte pas de noyau (figure 2). De ce fait, la valeur du coefficient de self (L) est relativement faible et s'exprime le plus souvent en  $\mu\text{H}$  ( $1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{H}$ ).

L'inductance d'une telle bobine peut se calculer au moyen de la relation empirique suivante :

$$L = \frac{31,6 \times a^2 \times N^2}{6a + 9b + 10c}$$

- L : Coefficient de self en  $\mu\text{H}$
  - a : Diamètre de la bobine (en m)
  - b : Longueur de la bobine (en m)
  - c : Epaisseur du bobinage (en m)
  - N : Nombre de spires de la bobine
- Lorsque la bobine ne comporte qu'une rangée de spires (« c » est alors très petit par rapport à « a »), il est préférable d'utiliser la relation suivante :

$$L = \frac{39,4 \times a^2 \times N^2}{9a + 10b}$$

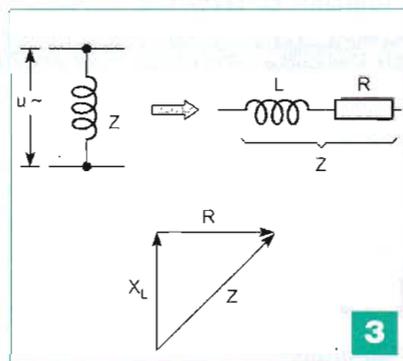
À titre d'exemple, le lecteur pourra vérifier que pour obtenir une bobine

de  $10 \mu\text{H}$  sur une seule rangée de spires, avec  $10 \text{ mm}$  de diamètre et  $30 \text{ mm}$  de longueur, il faudra prévoir environ trente spires.

## Impédance des circuits RLC

Passons maintenant en revue les différents cas de regroupements de résistances, de capacités, de selfs et examinons le comportement de l'ensemble soumis à un potentiel alternatif sinusoïdal. En effet, soumettre une self à une tension continue ne présente guère d'intérêt, car seule sa résistance ohmique s'oppose au passage du courant.

### Self seule



En plaçant une self « pure » (figure 3), c'est-à-dire considérée comme n'ayant pas de résistance ohmique, dans un circuit parcouru par un courant alternatif de fréquence « f », celle-ci s'oppose au passage du courant en présentant une réactance de self  $X_L$  telle que :

$$I = \frac{U}{X_L}$$

- I : Intensité efficace du courant traversant la self (A)
  - U : Tension alternative efficace aux bornes de la self (V)
  - $X_L$  : Réactance de la self ( $\Omega$ )
- Par rapport à la fréquence du courant alternatif caractérisant la source, la réactance de self s'exprime par la relation :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

- $X_L$  : Réactance de la self ( $\Omega$ )
- f : Fréquence du courant (Hz)
- L : Inductance de la bobine (H)

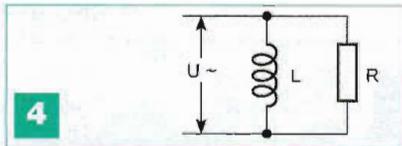
En général, la résistance ohmique de la self est très faible par rapport à sa réactance. On peut cependant en tenir compte en décomposant virtuellement la bobine en deux parties : une self pure et une résistance. La propriété de s'opposer au passage du courant prend alors le nom de « impédance ». Sans entrer dans des démonstrations complexes, rappelons que dans un circuit selfique, l'intensité se trouve déphasée de 90° en « arrière » par rapport à la tension, si bien que la représentation vectorielle de ( $X_L$ ) et de ( $R$ ) (résistance ohmique de la bobine) montre que l'impédance  $Z$  (exprimée en  $\Omega$ ) correspond en fait à l'hypoténuse d'un triangle rectangle. La valeur de l'impédance peut ainsi se calculer au moyen de la relation :

$$Z^2 = R^2 + X_L^2 \quad \text{soit} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Ou encore :

$$Z = \sqrt{R^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2}$$

## Self en parallèle avec une résistance



Soit une self pure d'inductance ( $L$ ) montée en parallèle sur une résistance ( $R$ ) (figure 4). Étant donné le déphasage entre tension et intensité, il convient de recourir également à la configuration du triangle rectangle évoquée ci-dessus, si bien que la formule très générale des groupements en parallèle s'écrit alors :

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{X_L^2} + \frac{1}{R^2}$$

- $Z$  : Impédance équivalente du groupement ( $\Omega$ )
- $X_L^2$  : Réactance de la self ( $\Omega$ )
- $R$  : Valeur de la résistance ( $\Omega$ )

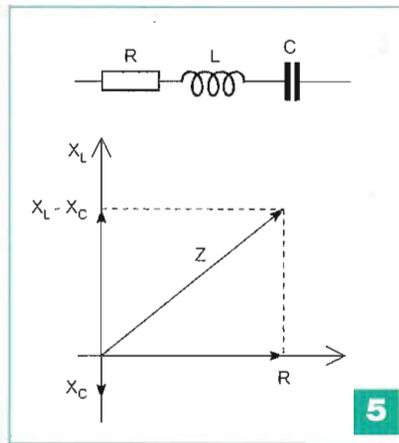
$$Z^2 = \frac{R^2 \cdot X_L^2}{R^2 + X_L^2}$$

En définitive :

$$Z = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot L}{A} \quad \text{avec} \quad A = \sqrt{R^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2}$$

## Circuit RLC en série

Compte tenu du déphasage de l'intensité sur la tension de 90° en arrière-



re pour la réactance de self et de 90° en avant pour la réactance de capacité (figure 5), le diagramme vectoriel qui en découle et l'application du théorème de Pythagore permettent de poser l'égalité suivante :

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

Dans laquelle  $X_L$  et  $X_C$  sont respectivement les réactances de self et de capacité. La résultante de ces deux grandeurs est une simple soustraction étant donné leur alignement sur le même axe du diagramme vectoriel et en tenant compte de leur opposition d'orientation.

En posant préalablement :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

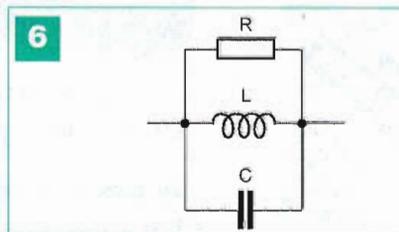
$$X_L = L \cdot \omega$$

$$\text{et} \quad X_C = \frac{1}{C \cdot \omega}$$

On obtient la valeur de  $Z$  :

$$Z^2 = R^2 + \left[ L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega} \right]^2$$

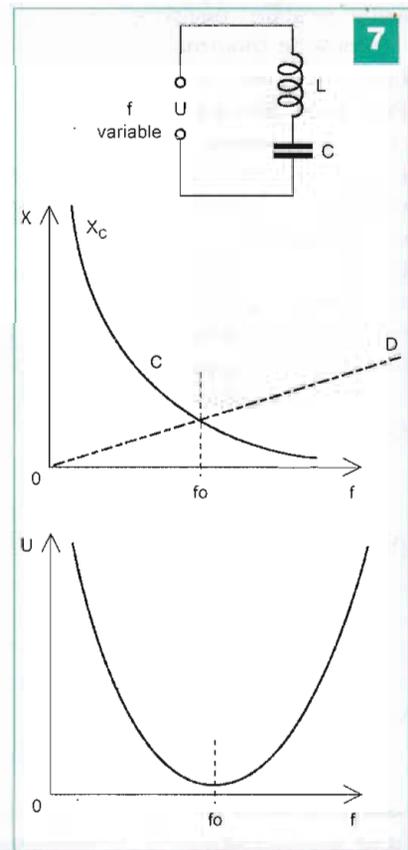
## Circuit RLC en parallèle



Soit «  $R$  » la valeur de la résistance ( $R$ ), «  $X_L$  » celle de la réactance de la self ( $L$ ) et «  $X_C$  » celle de la réactance de la capacité ( $C$ ) (figure 6).

Sans entrer dans de fastidieux calculs basés sur les relations relatives aux groupements en parallèle, nous indiquons directement le résultat donnant la valeur de l'impédance  $Z$  du groupement. Avec les mêmes notations que ci-dessus :

$$Z^2 = \frac{1}{\frac{1}{R^2} + \left[ \frac{1}{L \cdot \omega} - C \cdot \omega \right]^2}$$



## Circuit LC série

Prenons une self placée en série avec une capacité et soumettons l'ensemble à une source  $U$ , sinusoïdale dont la fréquence «  $f$  » est variable (figure 7).

Examinons les allures des courbes des réactances de self et de capacité  $X_L$  et  $X_C$ .

$$X_L = L \cdot \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

La courbe représentative de  $X_L$  est une droite  $D$  passant par l'origine.

$$X_C = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

La courbe  $C$  représentative de  $X_C$  est une hyperbole équilatère.

Rappelons que la valeur de l'impédance s'exprime par la relation :

$$Z^2 = L^2 \cdot \omega^2 + \frac{1}{C^2 \cdot \omega^2}$$

La valeur de  $Z$  est minimale pour une fréquence  $f_0$  correspondant à l'intersection des deux courbes évoquées ci-dessus. Dans ce cas :

$$L^2 \cdot \omega^2 = \frac{1}{C^2 \cdot \omega^2} \quad \text{donc} \quad L \cdot C \cdot \omega^2 = 1$$

De cette relation, on tire :

$$f_0 = 1/2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}$$

Cette relation, également appelée « formule de Thomson », définit la fréquence de résonance du système. Pour cette dernière, la réactance du circuit est minimale.

Il en résulte une intensité maximale et une tension U minimale aux bornes du groupement.

Dans la formule ci-dessus, L doit être exprimée en Henrys (H) et C en Farads (F). Dans le domaine de la HF, on préfère la formule suivante dans laquelle L doit être exprimée en microhenrys ( $\mu\text{H}$ ) et C en picofarads (pF) :

$$f_0 = 159 \sqrt{L \cdot C}$$

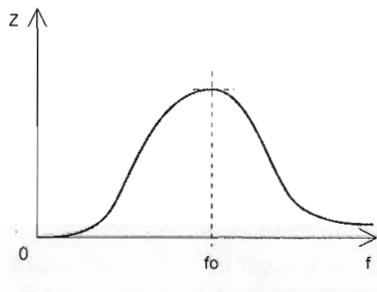
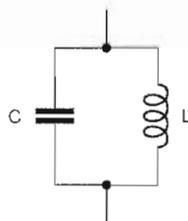
## Circuit LC parallèle

Ce circuit est également appelé « circuit bouchon » (figure 8).

En vertu des règles relatives aux groupements en parallèle, on peut écrire l'égalité suivante :

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C}$$

8



Soit :

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{L \cdot \omega} + C \cdot \omega$$

On peut ainsi exprimer la valeur de Z :

$$Z = \frac{L \cdot \omega}{1 + L \cdot C \cdot \omega^2}$$

La courbe représentative de cette fonction passe par l'origine ( $f = 0$ ), puis par un maximum, pour tendre à nouveau vers zéro quand « f » tend

vers l'infini. On peut calculer la valeur de  $\omega_0$  qui correspond à ce maximum. Il suffit pour cela de calculer la dérivée  $Z'$  de cette fonction et résoudre ensuite l'équation  $Z' = 0$ .

La valeur de  $Z'$  est :

$$Z' = \frac{L(1 - L \cdot C \cdot \omega^2)}{(1 + L \cdot C \cdot \omega^2)^2}$$

Pour  $Z' = 0$

on obtient l'égalité  $L \cdot C \cdot \omega^2 = 1$

En définitive, le résultat est le même que pour le circuit LC série et c'est encore la formule de Thomson qui détermine la fréquence de résonance :

$$f_0 = 1/2 \pi \sqrt{L \cdot C}$$

Cette caractéristique propre au circuit bouchon, qui consiste à présenter une impédance élevée pour une fréquence donnée, est utilisée en HF pour éliminer toutes les fréquences indésirables, tout en privilégiant la fréquence de résonance, au niveau d'une antenne de réception par exemple.

R. KNOERR

# arquie composants

4 Rue de écoles 82600 Saint-Sardos France

Tél. 05 63 64 46 91 Fax 05 63 64 38 39

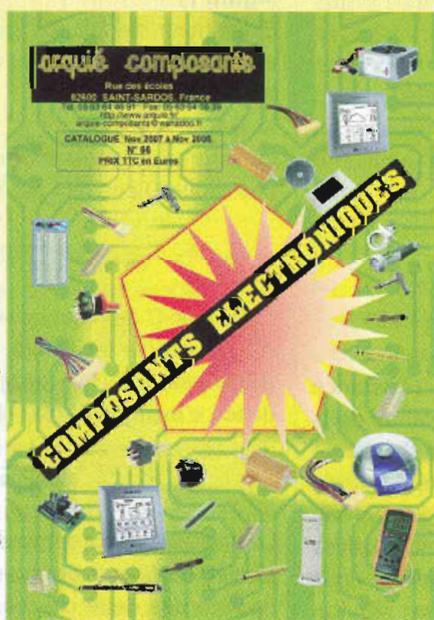
SUR INTERNET <http://www.arquie.fr/>

e-mail : [arquie-composants@wanadoo.fr](mailto:arquie-composants@wanadoo.fr)

## Catalogue N°66

Afficheurs. Alimentations.  
Caméras. Capteurs.  
Cartes à puces. Circuits imprimés. Circuits intégrés. Coffrets. Condensateurs. Cellules solaires. Connectique. Diodes. Fers à souder. Interrupteurs. Kits. LEDs. LEDs Luxeon. Microcontrôleurs. Multimètres. Oscilloscopes. Outillage. Programmeurs. Quartz. Relais. Résistances. Transformateurs. Transistors. Visserie. Etc...

Passez vos commandes sur notre site : [www.arquie.fr](http://www.arquie.fr)



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 €

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal : \_\_\_\_\_ Ville/Pays : \_\_\_\_\_

Tél. ou courriel : \_\_\_\_\_

Je vous joins mon règlement par :

chèque à l'ordre de Transocéanic

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

Bon à retourner accompagné de votre règlement à : **Transocéanic**  
3, boulevard Ney 75018 Paris - France - Tél. : 01 44 65 80 80

BON pour CATALOGUE papier FRANCE: GRATUIT (3,00 € pour DOM, TOM, UE et autres pays)

Nom: \_\_\_\_\_ Prénom: \_\_\_\_\_

Adresse: \_\_\_\_\_

Code Postal: \_\_\_\_\_ Ville: \_\_\_\_\_

# EASYPIC5

## Carte d'expérimentation

Nous vous présentons ici une carte d'expérimentation, de simulation et de programmation pour les microcontrôleurs PIC de la série 10, 12, 16 et 18. Conçue et réalisée par Microelektronika, EasyPIC5 est commercialisée en France par Lextronic. Cette carte est aujourd'hui l'un des outils de développement pour microcontrôleurs affichant le meilleur compromis entre qualité, performances et prix de revient.

**E**asyPIC5 dispose d'un programmeur à connexion USB 2 intégrée qui vous permettra de télécharger vos programmes compilés, développés en assembleur ou avec n'importe quel type de compilateur pour PIC, dans un microcontrôleur vierge 8, 14, 18, 28 ou 40 broches placé sur un des supports prévus à cet effet.

### Côté Hard

#### Les gammes de microcontrôleurs supportés

La carte EasyPIC5 est sérigraphiée sur les deux faces, ce qui facilite notamment les manipulations sur les switches de configuration. Elle supporte les PIC de la série 10, 12 et 16, ainsi que des PIC « high range » de type 18, soit au total plus de trois cents composants (40, 28, 20, 18, 14, 8 broches).

Une liste exhaustive est disponible sur le site du fabricant pour la dernière version de compilateur.

Il est à noter qu'il existe également toute une gamme d'autres platines

développées pour les composants de la famille AVR, ARM ou encore pour l'expérimentation des DSPIC, série 24 et 33. Les cartes BIGPIC, quant à elles, sont réservées pour la série PIC18 de 80 pins.

L'ensemble de l'offre, énumérant les différentes possibilités de cartes, est présenté sur le site du fabricant.

Cette offre très riche couvre une large gamme pour les expérimentations et le développement. La carte peut être alimentée depuis un bloc d'alimentation ou bien depuis le port USB; un switch permet de choisir la source d'alimentation.

#### Les possibilités d'entrées/sorties

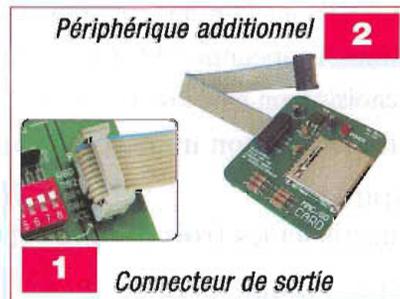
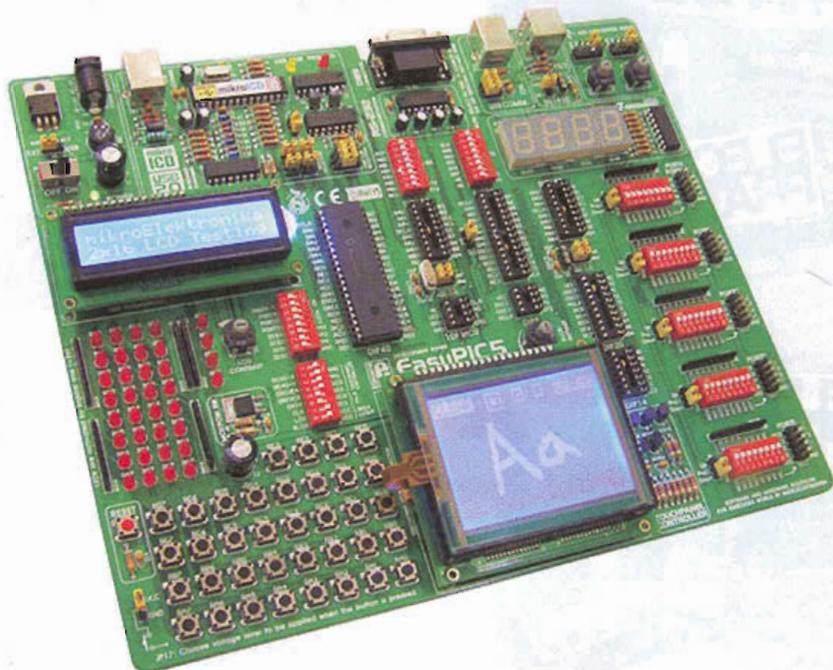
La carte EasyPIC5 offre la possibilité, par défaut, de pouvoir atteindre chaque broche du composant cible. Ainsi, il sera possible d'accéder aux ports A, B, C, D, E d'un PIC de quarante broches, soit en entrée, soit en sortie, voire en mode spécifique, telle qu'une liaison série, une liaison USB, ou encore des entrées analogiques (figure 1).

La carte est équipée de 36 leds de visualisations et d'autant de boutons poussoirs, permettant ainsi la réalisation et le test de programmes accédant à tous les ports.

Cinq groupes de switches de configuration permettent d'accéder aux différents ports sur cinq connecteurs de sortie. De nombreux périphériques (une cinquantaine environ) additionnels, par exemple une extension de carte SD, sont commercialisés et interfaçables avec ces connecteurs de sortie (figure 2).

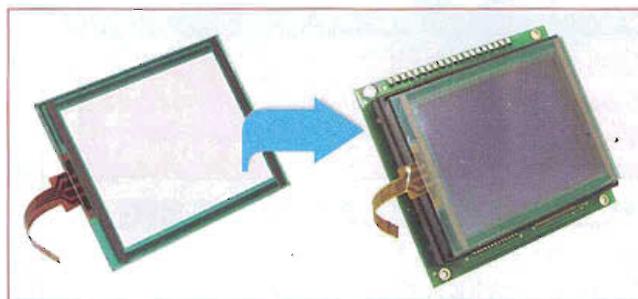
#### Périphériques spécifiques

La carte peut recevoir un afficheur LCD de type parallèle, ainsi qu'un afficheur graphique GLCD. Deux

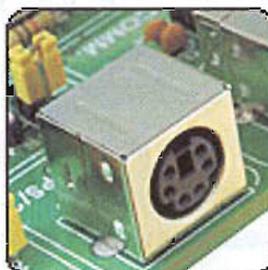




**3**  
Sonde  
de température



**4a**  
Dalle tactile



**4d** Connexion  
clavier



**4b** Dalle tactile

potentiomètres permettent le réglage d'intensité. Quatre afficheurs sept segments sont également disposés sur la platine.

Un emplacement est également prévu pour recevoir un capteur de température de type DS 1820 (figure 3). Il est possible d'adjoindre une dalle tactile superposée sur l'afficheur graphique GLCD. Le compilateur possède les instructions de commande afin de piloter celle-ci (figures 4a, 4b, 4c et 4d).

Les entrées analogiques RA0 à RA5 sont sélectionnables par jumper et peuvent être chacune connectée à un des deux potentiomètres que possède la carte. Un clavier type PS2 est également interfaçable avec la carte;

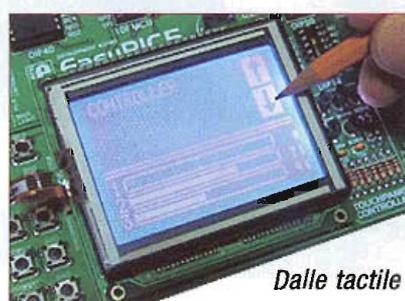
un exemple de source permet d'avoir une idée des possibilités de décodage clavier.

## Côté Soft Compilateur

Trois langages de programmation sont développés pour la platine :

- Le langage basic
- Le langage C
- Le langage pascal

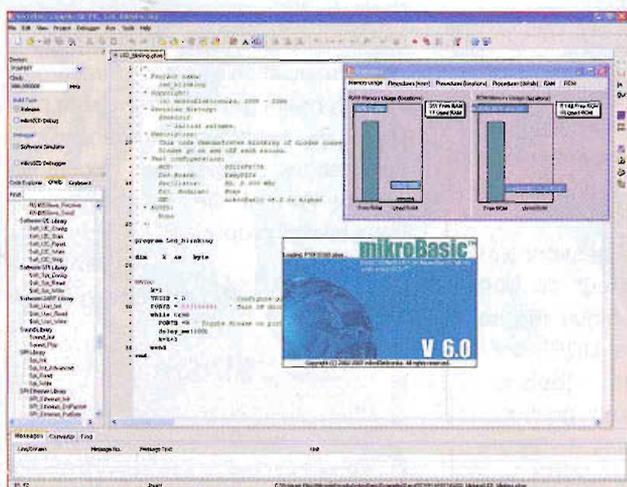
Dans sa version de base livrée avec la platine, le compilateur est limité à 2 ko de programme; ce qui, dans la plupart des cas, est très largement suffisant (figure 5). Un tarif préférentiel est, bien sûr, consenti aux acquéreurs de la carte EasyPIC.



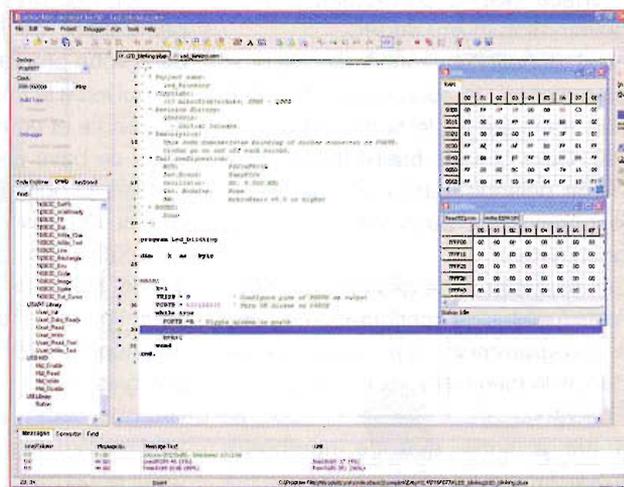
**4c**

Dalle tactile

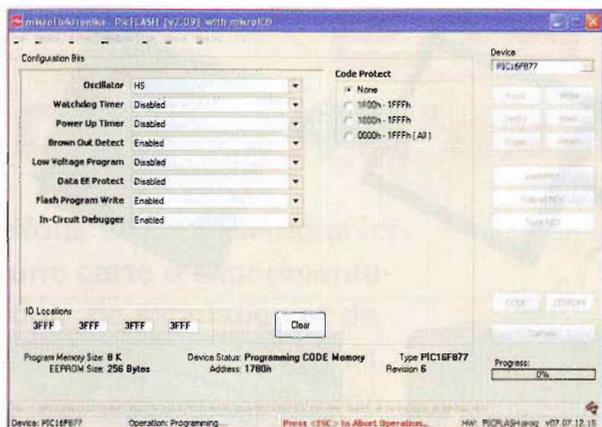
De nombreuses instructions évoluées viennent enrichir ce compilateur très convivial, tel que la possibilité d'écrire en dynamique dans la mémoire flash de programme ou encore des instructions de pilotage d'un port USB, d'une liaison RS485 ou I<sup>2</sup>C,



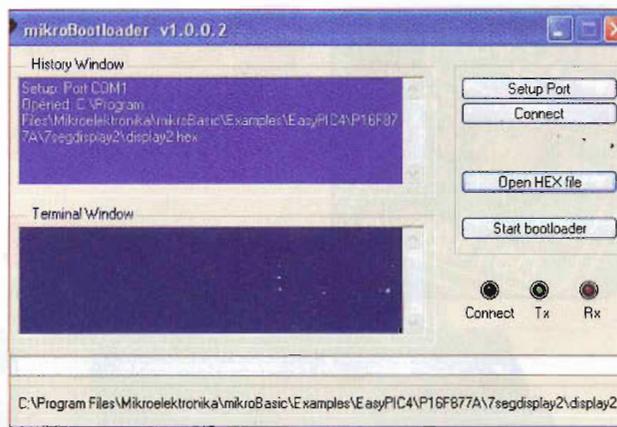
**5** Environnement de programmation en Basic



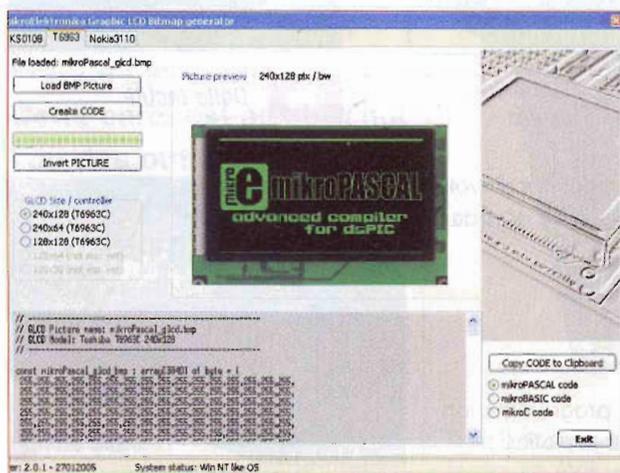
**6** Mode debug



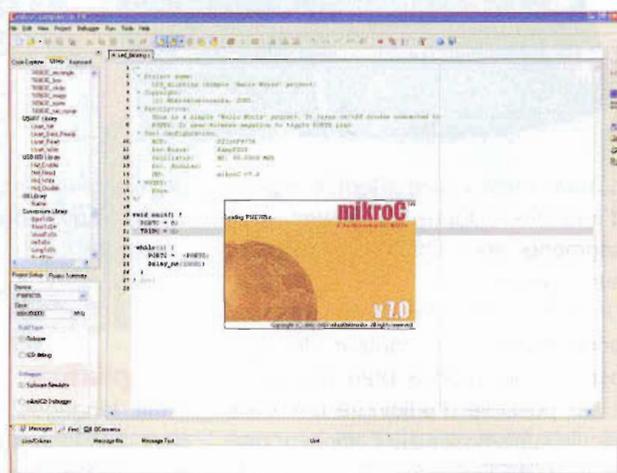
**7** Transfert du programme en USB vers le pic



**9** Gestionnaire du bootloader



**8** Editeur de bitmap pour afficheurs graphiques



**10** Version C du compilateur

d'un port Ethernet, d'un bus CAN, d'une compact flash, sans oublier les instructions de commande des divers afficheurs.

La carte EasyPIC5 est dotée d'une interface USB 2 permettant la programmation *in situ* du PIC.

Ainsi, depuis l'environnement de programmation, le source sera compilé puis transféré via le port USB vers le PIC. Celui-ci peut, bien entendu, être vierge puisque cette carte de développement fait aussi office de programmeur.

Les paramètres de gestion des différents fusibles de configuration du PIC à programmer sont accessibles depuis le menu « Project », puis « Edit Project ».

Il est à noter que de nombreux exemples de source sont disponibles sur le CD-Rom ou sur le site du fabricant.

Lors de la phase de développement, il est également possible de passer en mode debug à l'aide des boutons d'option « MicroICD Debugger » et « MicroICD Debug » (figure 6).

Ces options de programmation vous permettront de faire du pas à pas dans votre programme PIC (figure 7). Ce qui est à la fois pédagogique pour apprendre et comprendre les instructions de base et indispensable pour la mise au point avant flashage de la version définitive.

Des outils, tels qu'un gestionnaire de liaison série, un éditeur de bitmap pour l'afficheur graphique (figure 8) ou encore un terminal UDP, sont disponibles dans le menu « Tools ».

Un bootloader et son gestionnaire sont également disponibles (figure 9). Celui-ci permet le transfert d'un programme compilé (format .hex) vers un pic via une liaison série.

## Conclusion

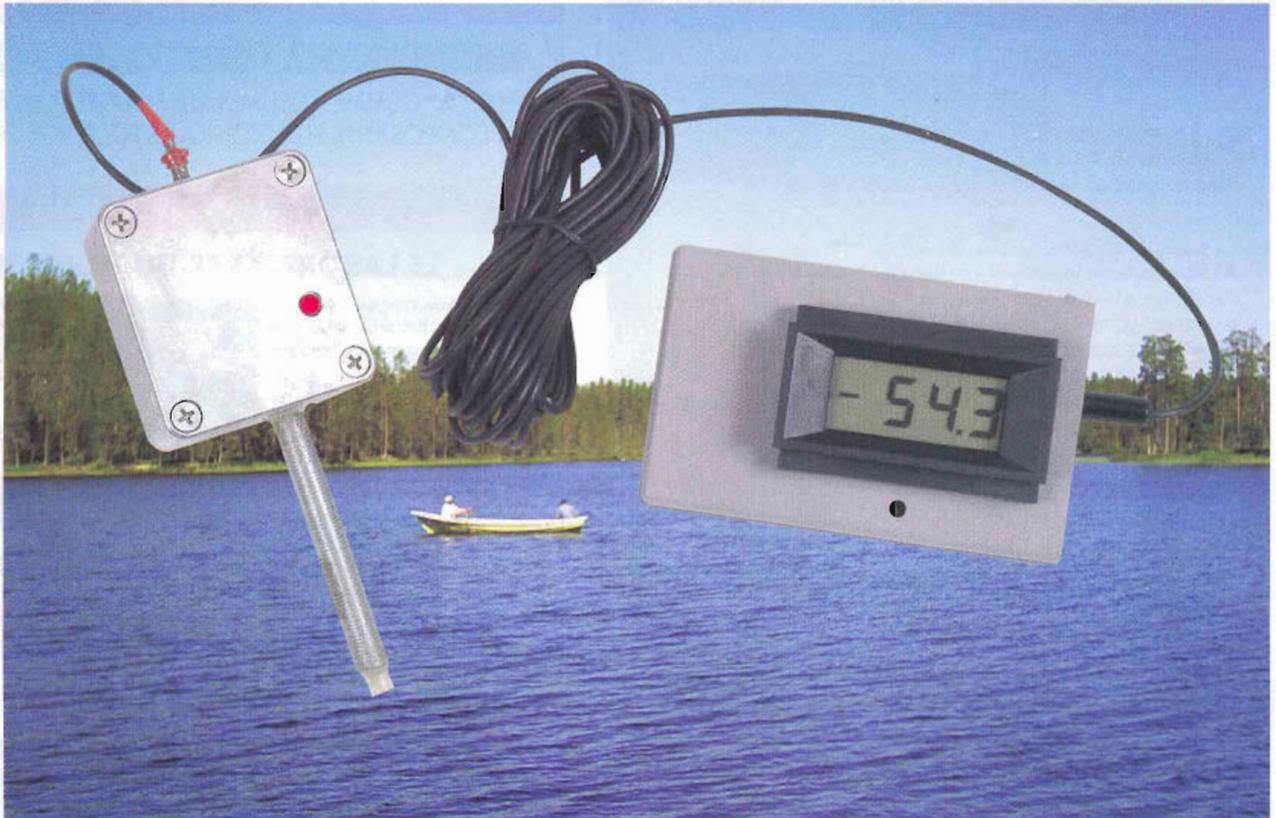
Les environnements de programmation ont bénéficié de nombreuses évolutions qui permettent de se lancer dans la programmation des microcontrôleurs. EasyPIC5 est un bel exemple de réalisation qui, nous l'espérons, vous donnera envie de franchir le pas. Dans de prochains numéros, des applications développées depuis cet environnement de programmation vous seront proposées.

P. MAYEUX  
Pm.ep@libertysurf.fr

## Liens utiles

**Distributeur en France**  
Société Lextronic  
[www.lextronic.fr](http://www.lextronic.fr)  
**Fabricant**  
Société Mikroelektronika  
[www.mikroe.com](http://www.mikroe.com)

# Profondimètre



**Nous avons déjà eu l'occasion de faire connaissance avec le capteur de pression MPX 2200 AP pour la réalisation d'un baromètre et d'un altimètre. Voici une autre application originale de ce composant.**

Il s'agit de mesurer la pression de l'eau à une profondeur pouvant aller jusqu'à dix mètres et d'afficher celle-ci en l'exprimant en centimètres.

## Principe

Le dispositif se compose de deux boîtiers.

Appelé « détecteur », le premier est équipé du capteur de pression avec son alimentation séparée et son étage amplificateur.

Nommé « afficheur », le second traite

le potentiel issu du détecteur et affiche le résultat.

Le boîtier « détecteur », accroché au bout d'un câble à deux conducteurs (un conducteur et une tresse de masse), est à plonger dans l'eau jusqu'au fond si on cherche à connaître une profondeur maximale.

## La mesure

Le boîtier « détecteur » sera, bien entendu, parfaitement étanche, l'électronique et l'eau ne faisant pas, comme chacun le sait, bon ménage.

Le capteur n'ayant pas, non plus, d'attrance particulière pour ce liquide, il est nécessaire de protéger de l'eau son entrée d'air.

Un moyen simple est la mise en place d'un tube en matière plastique à orienter vers le bas. Nous décrirons ultérieurement la réalisation pratique de ce dispositif.

Si on plonge l'ensemble ainsi orienté dans l'eau, cette dernière va remonter à l'intérieur du tube. Ceci aura pour conséquence la compression de

l'air ainsi emprisonné pour aboutir à une situation d'équilibre (figure 1). Au niveau de la séparation air-eau, la pression est celle qui règne au sein de l'eau à cette profondeur donnée « h ».

Imaginons une colonne de 1 m<sup>2</sup> de section et de hauteur « h », débouchant sur la surface. Cette dernière se caractérise alors par un volume :

$$V = h \text{ (m}^3\text{)}$$

Étant donné que la masse volumique de l'eau est de 1000 kg par m<sup>3</sup>, la force exprimée en Newton due à l'action de la pesanteur s'exerçant sur la colonne est de :

$$F = 1000 \times V \times g \text{ (N)} = 1000 \text{ g h (N)}$$

(g est l'accélération de la pesanteur, soit 9,81 m/s<sup>2</sup>)

La pression, exprimée en Pascal, étant égale par définition à la force s'exerçant sur une surface de 1 m<sup>2</sup>, elle est de :

$$p = 1000 \text{ g h (Pa)} = \text{g h (kPa)}$$

À titre d'exemple, pour une profondeur « h » de dix mètres, cette pression est de 98,1 kPa

Elle est donc égale à près de deux

fois la pression atmosphérique qui règne à la surface de l'eau. Il en résulte ainsi une diminution de moitié du volume d'air emprisonné à l'intérieur du tube, ce qui revient à constater que l'eau va remonter à mi-hauteur environ de sa longueur. Le capteur n'est donc pas en danger. En réalité, le niveau montera un peu plus, étant donné qu'il faut tenir compte du volume d'air contenu à l'intérieur du capteur. Ce volume est très faible, c'est pourquoi il ne remet pas en question le raisonnement tenu ci-dessus.

## Le capteur de pression MPX 2200 AP

Il s'agit d'un capteur piézoélectrique prévu pour fonctionner dans une plage de pressions absolues allant de 0 à 2 bars (1 bar = 100 kPa). Il est cependant conçu pour accepter jusqu'à 4 bars sans se détériorer.

Rappelons que la pression « absolue » est celle qui a le vide pour référence, contrairement à la pression dite « effective » qui se mesure par rapport à la pression atmosphérique.

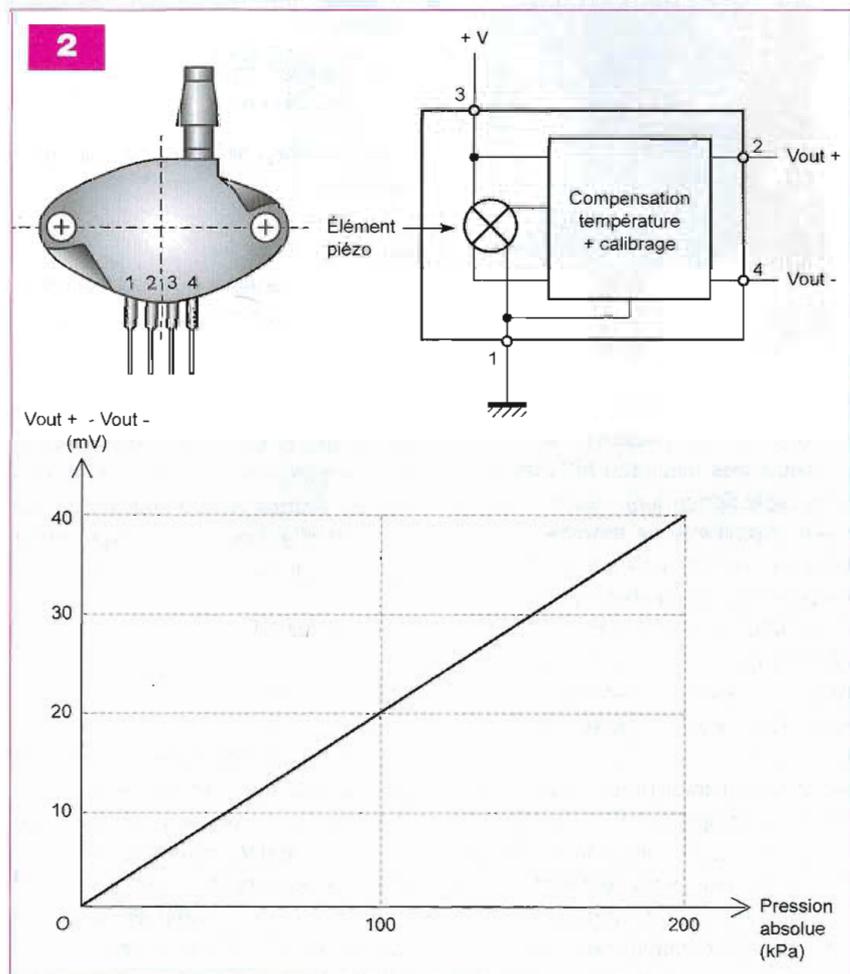
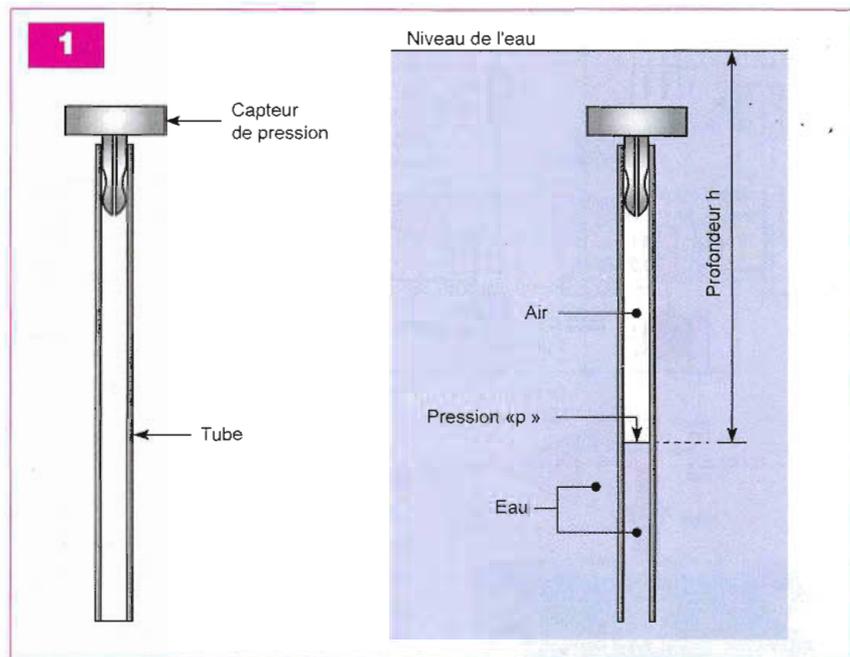
Le MPX 2200 AP fonctionne sous un potentiel continu maximal de 16 V. Sa consommation est de l'ordre de 6 mA. Il est doté d'un dispositif interne de compensation de la température et présente deux sorties : Out + et Out -. C'est sur ces sorties que l'on récupère un potentiel dont la variation est strictement linéaire par rapport à celle de la pression absolue (figure 2). Lorsque le capteur est soumis à la pression atmosphérique, le potentiel de sortie est d'environ 20 mV. Pour un accroissement de la pression de 100 kPa, l'augmentation de ce potentiel est de 20 mV. Le coefficient de variation  $\Delta v/\Delta p$  est donc de :

$$\Delta v/\Delta p = 0,2 \text{ mV/kPa}$$

## Fonctionnement

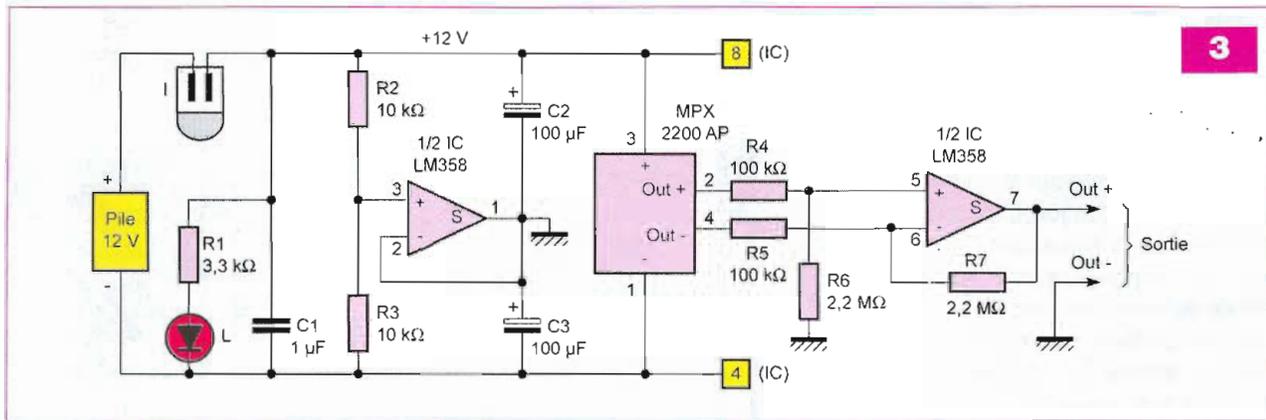
### LE DÉTECTEUR Alimentation

Pour des raisons de miniaturisation, c'est une pile de petite taille de 12 V (type V 23 GA) qui fournit l'énergie au module contenu dans le boîtier (figure 3 et photo A). Cette valeur de tension convient parfaitement au capteur qui fonctionne dans des conditions optimales.

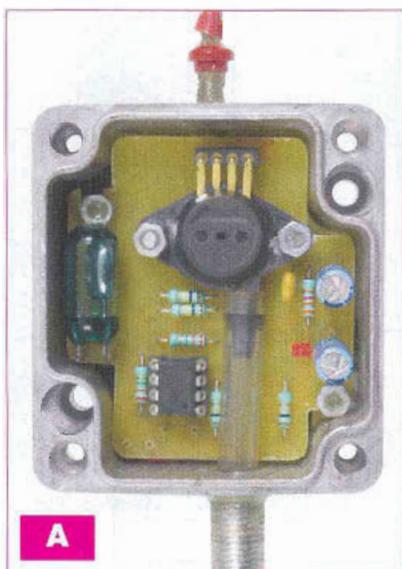


S'agissant d'un boîtier **parfaitement étanche**, la mise en service de l'alimentation est réalisée par un « interrupteur à bulle de mercure » ou encore à bille. Dès que le boîtier occupe la position verticale, tube de mesure de la pression dirigé vers le bas, l'inter-

rupteur se ferme. Une led rouge, visible de l'extérieur grâce à un trou hermétiquement fermé à l'aide de plexiglas, signale la mise sous tension. La consommation reste modeste : une dizaine de milliampères tout au plus.



3



## Création d'un référentiel

Le capteur de pression délivre un potentiel très faible (20 mV à la pression atmosphérique), donc difficilement exploitable de manière directe. Une amplification s'impose. De plus, ce potentiel disponible sur les sorties (2) et (4) du capteur n'est pas référencé par rapport au (-) de l'alimentation, ni au (+) d'ailleurs. Il est donc nécessaire de créer un potentiel fixe de référence.

Pour des raisons propres à un fonctionnement optimal de l'amplificateur monté en aval, nous le choisirons égal à la moitié du potentiel d'alimentation, soit 6 V. Le pont diviseur formé par R2 et R3 définit cette valeur qui est appliquée à l'entrée (+) d'un premier amplificateur opérationnel.

Le type de fonctionnement utilisé « suiveur de gain 1 » a pour effet de délivrer sur sa sortie le potentiel de référence de 6 V avec l'amplification nécessaire. Les capacités C2 et C3 stabilisent ce potentiel.

## Amplification

Le second amplificateur opérationnel fonctionne suivant le mode différentiel. Il délivre sur sa sortie un potentiel référencé par rapport à la valeur définie ci-dessus. Rappelons que le gain d'un tel amplificateur s'exprime par la relation :

$$V_s = \frac{R6 \times (R5 + R7)}{R5 \times (R6 + R4)} \times V_{Out+} - \frac{R7}{R5} \times V_{Out-}$$

Dans le présent montage, on peut noter que :

$$R4 = R5$$

$$R6 = R7$$

Le lecteur vérifiera que la relation se simplifie pour devenir :

$$V_s = \frac{R6}{R4} \times (V_{Out+} - V_{Out-})$$

Dans le présent montage, le gain de cet étage amplificateur est donc de 22, ce qui revient à obtenir un potentiel de l'ordre de 20 mV x 22, soit 440 mV, à la pression atmosphérique, en sortie du boîtier « détecteur ».

## L'AFFICHAGE

### Alimentation et potentiel de référence

L'alimentation est assurée par une pile de 9 V que l'interrupteur (I) permet de mettre en service (figure 4). La valeur de 9 V trouve sa justification dans le recours à un afficheur LCD dont la tension nominale doit être comprise entre 7 V et 11 V.

Comme pour le module « détecteur », il a été nécessaire de créer une référence. C'est l'amplificateur opérationnel (IV) du circuit intégré LM 324 (qui en contient quatre), qui assure cette « mission » (photo B). Il travaille pour cela en mode suiveur. La référence ainsi obtenue se caractérise

par un potentiel de 4,5 V par rapport au (-) de l'alimentation.

## Étage tampon

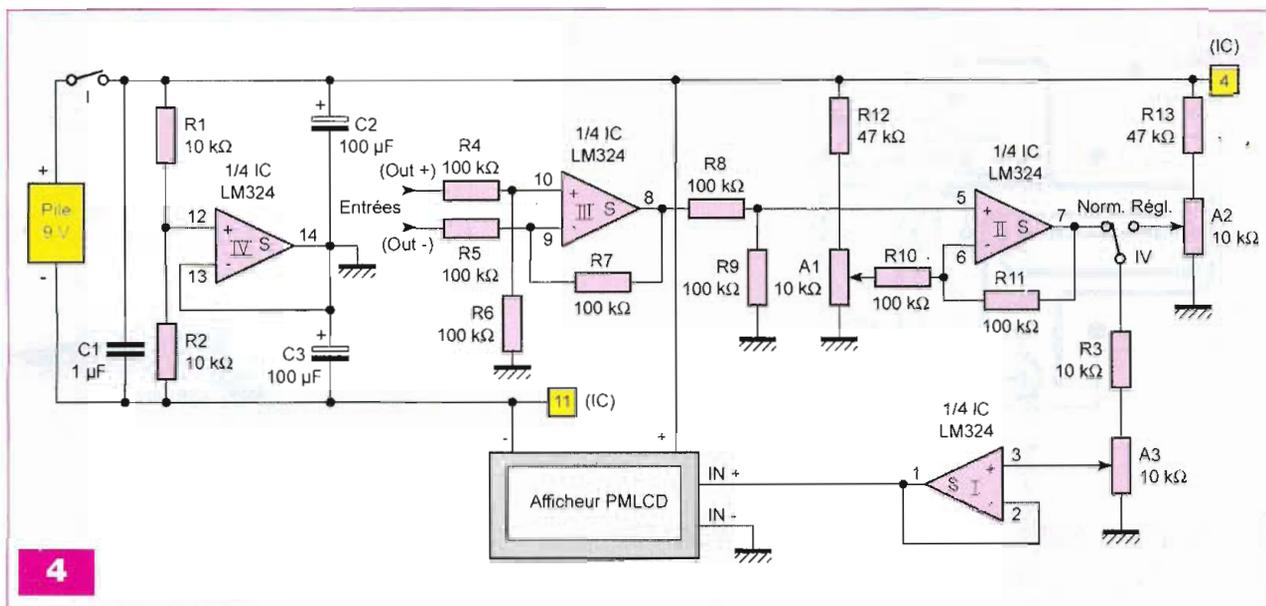
Le potentiel issu du boîtier « détecteur » est appliqué aux entrées de l'amplificateur opérationnel (III) de IC. Ce dernier est également monté en amplificateur différentiel.

Etant donné que les résistances R4, R5, R6 et R7 ont la même valeur résistive, le gain de cet étage est tout simplement égal à 1. En fait, ce dispositif délivre sur sa sortie le même potentiel que celui disponible en sortie du boîtier « détecteur », mais rapporté au potentiel de référence défini ci-dessus. Cet étage s'impose surtout du fait que les deux modules sont alimentés par des sources totalement indépendantes.

## Mise en évidence de la pression effective

L'amplificateur opérationnel (II), également monté en différentiel, a une « mission » bien particulière : retrancher au potentiel issu de la détection, celui correspondant à la pression atmosphérique. Pour cela, la tension disponible sur la sortie (8) de l'amplificateur opérationnel (III) est appliquée à l'entrée (+) par l'intermédiaire de R8. Sur l'entrée (-), il est possible de présenter un potentiel variable grâce à l'ajustable A1. Bien entendu, tous se mesurent par rapport à la référence évoquée plus haut.

Les résistances R8, R9, R10 et R11 étant égales, l'amplificateur effectue la soustraction avec un gain égal à 1. Il suffit alors d'agir sur le curseur de l'ajustable A1 pour obtenir sur la sortie de l'amplificateur (II) une valeur de tension nulle. Nous verrons ultérieu-



4

rement comment réaliser pratiquement ce réglage.

Ainsi, une fois cette condition réalisée, lorsque le boîtier « détecteur » est plongé dans l'eau, c'est bien la tension en relation avec la pression effective, proportionnelle avec la profondeur de la sonde, que l'on récupérera sur la sortie (+) de l'amplificateur (II).

## Réglage du potentiel relatif à la profondeur maximale

L'inverseur (IV), placé en position « normal », peut également être commuté sur « réglage ».

Cette situation particulière permet de simuler une profondeur de sonde, sans forcément plonger le boîtier « détecteur » dans de l'eau à dix mètres de fond.

Il suffit de calculer le potentiel que doit présenter la sortie de l'amplificateur (II) pour cette profondeur. Ce calcul est fort simple. En effet, nous avons déjà mis en évidence que la pression effective à dix mètres de profondeur était de 98,1 kPa. Nous savons également que les sorties du capteur de pression présentent une variation de tension de :

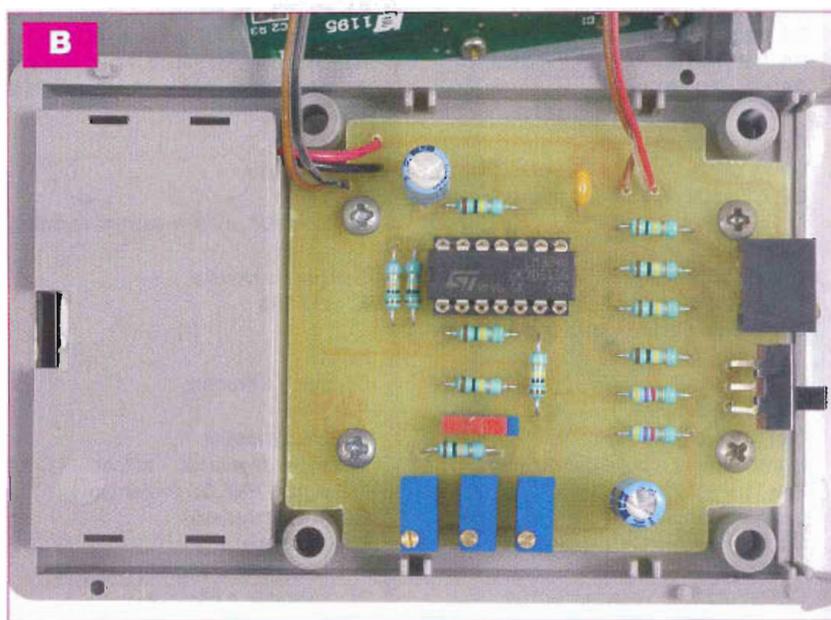
$$\Delta v / \Delta p = 0,2 \text{ mV/kPa}$$

Il est donc possible de calculer l'augmentation de potentiel au niveau de la sortie de l'amplificateur (II) :

$$\Delta V \text{ (mV)} = 0,2 \times 98,1 \times K$$

(K : coefficient d'amplification de l'amplificateur contenu dans le boîtier « détecteur », soit 22)

$$\Delta V = 431,64 \text{ mV}$$



Il convient ainsi de placer le curseur de l'ajustable A2 sur une position telle que le potentiel mesuré sur le « commun » de l'inverseur soit égal à cette valeur.

## Affichage

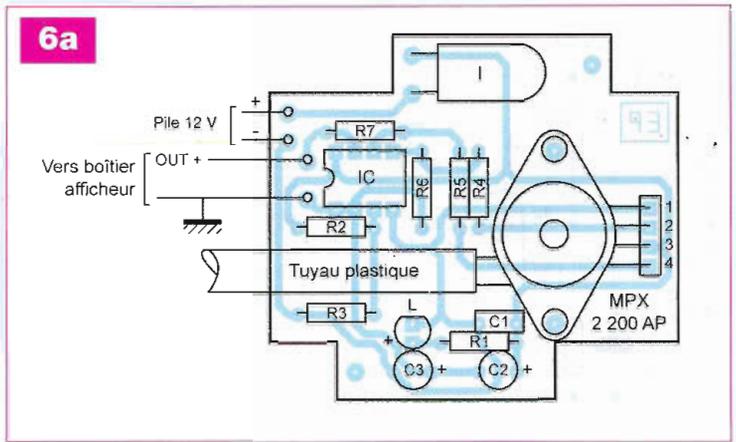
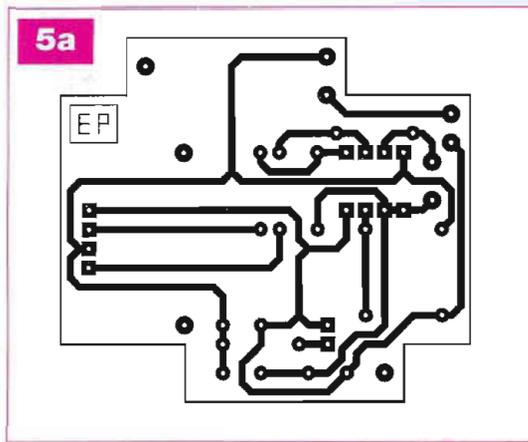
L'afficheur utilisé est un PMLCD Velleman. Il se caractérise par une tension d'alimentation de 7 V à 11 V et une capacité maximale d'affichage de 3 1/2 digits, c'est-à-dire quatre chiffres. La plus grande valeur mesurable est donc 1999.

Il est alors soumis à une tension sur les entrées de 199,9 mV. L'affichage est renouvelé deux à trois fois par seconde. Son impédance d'entrée est supérieure à 100 MΩ. Il ne

consomme qu'un courant de l'ordre du milliampère. Bien entendu, la tension d'alimentation de l'afficheur est totalement distincte de celle qui est à mesurer.

C'est la sortie (1) de l'amplificateur (I), monté en étage suiveur, qui présente la valeur positive du potentiel à afficher. Le tarage est fort simple. Tout en gardant l'inverseur (IV) en position « réglage », il suffit d'agir sur le curseur de l'ajustable A3 pour obtenir l'affichage de la valeur 1000 (centimètres) qui correspond au potentiel mis précédemment en évidence.

Ce réglage effectué, l'inverseur est à basculer en position « normal ». L'ensemble est maintenant opérationnel.



## Nomenclature

### MODULE DÉTECTEUR

#### Résistances

R1 : 3,3 kΩ (orange, orange, rouge)  
 R2, R3 : 10 kΩ (marron, noir, orange)  
 R4, R5 : 100 kΩ (marron, noir, jaune)  
 R6, R7 : 2,2 MΩ (rouge, rouge, vert)

#### Condensateurs

C1 : 1 μF  
 C2, C3 : 100 μF/25 V (sorties radiales)

#### Semiconducteurs

L : Led rouge ø 3  
 IC : LM 358  
 Capteur de pression MPX 2200 AP

#### Divers

Support 8 broches  
 Barrette 4 broches  
 I : Interrupteur à bulle de mercure  
 Pile 12 V - V 23 GA (Varta)  
 Coupleur de pile  
 Câble 1 conducteur + tresse de masse (voir texte)  
 Coffret étanche Velleman G 104 (64 x 58 x 35)  
 Tube plastique (voir texte)

## Nomenclature

### MODULE AFFICHAGE

#### Résistances

R1, R2, R3 : 10 kΩ (marron, noir orange)  
 R4 à R11 : 100 kΩ (marron, noir, jaune)  
 R12, R13 : 47 kΩ (jaune, violet, orange)  
 A1, A2, A3 : Ajustable 10 kΩ/25 tours/axe vertical

#### Condensateurs

C1 : 1 μF  
 C2, C3 : 100 μF/25 V (sorties radiales)

#### Semiconducteurs

IC : LM 324

#### Divers

Support 14 broches  
 Pile 9 V  
 Coupleur pression  
 Voltmètre de tableau - afficheur LCD 3 1/2 digits - PMLCD (Velleman)  
 Connecteur femelle  
 Embase mâle  
 I : Interrupteur unipolaire à glissière  
 IV : Inverseur à glissière

## Réalisation pratique

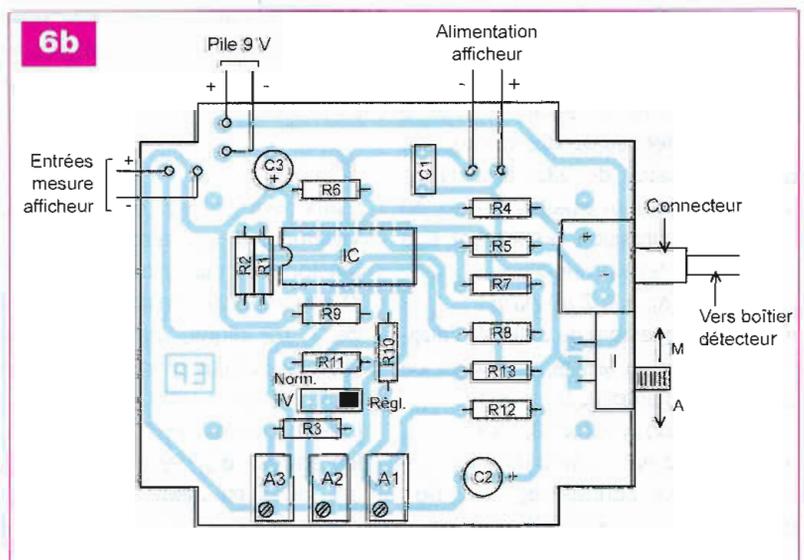
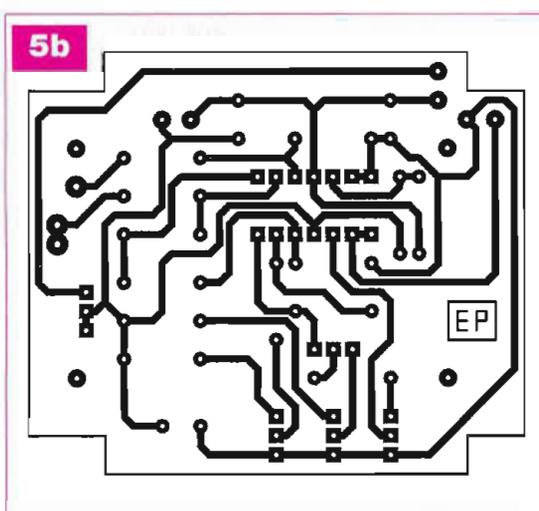
### Circuits imprimés et montage des composants

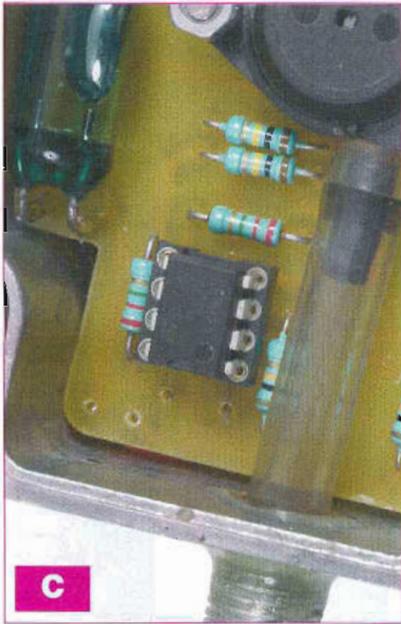
Les circuits imprimés font l'objet des **figure 5a** et **5b**. Les dimensions sont adaptées à celles des boîtiers auxquels ils sont destinés.

Les **figures 6a** et **6b** permettent l'implantation des éléments. Respecter l'orientation des composants polarisés. Concernant le boîtier « détecteur », il convient de donner à l'interrupteur à bulle de mercure une petite inclinaison pour que l'alimentation se coupe lorsque l'on pose le boîtier à plat.

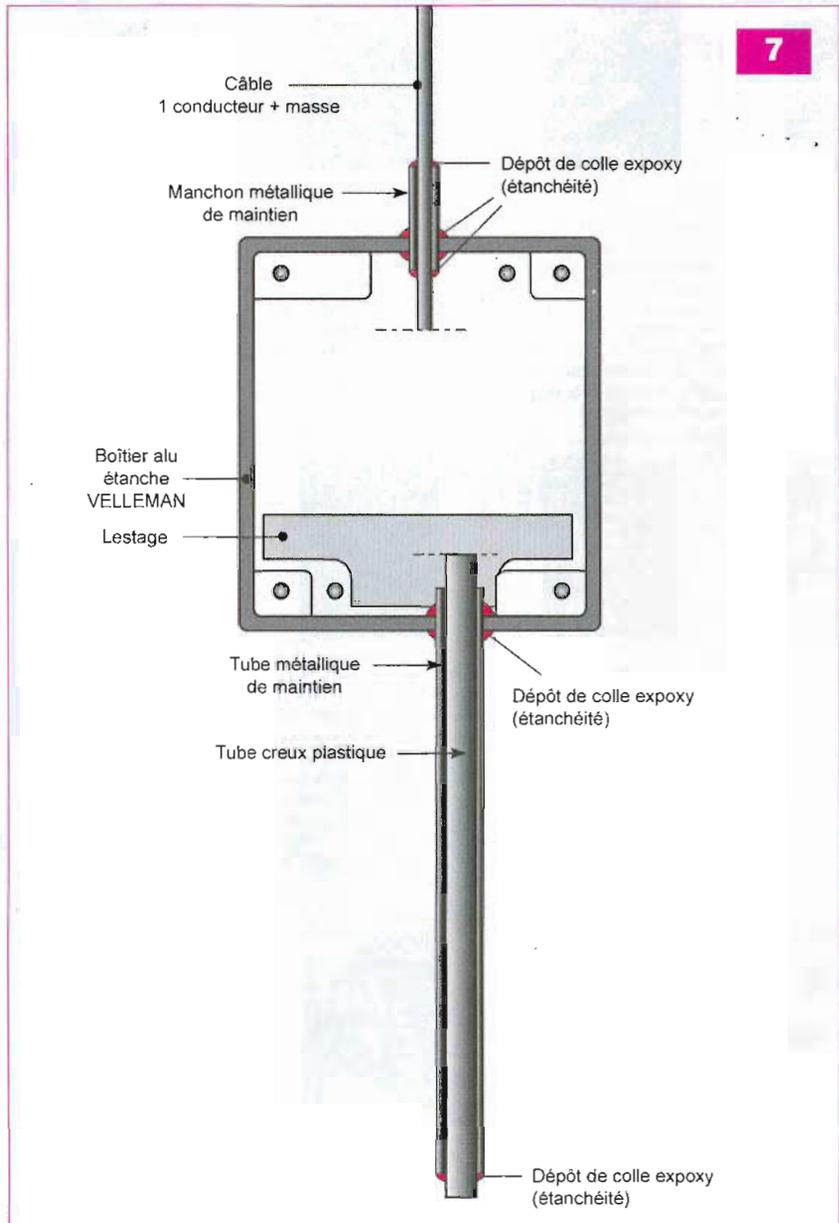
### Le boîtier étanche

La **figure 7** et la **photo C** montrent un exemple de réalisation de la sonde et plus particulièrement la façon d'aboutir à une bonne étanchéité. Le couvercle du boîtier se monte par inter-





7



position d'un joint torique fourni avec le boîtier. Il est préférable, pour les sorties prévues pour le câble et le tube, de monter auparavant un tube creux de maintien. Si possible, ces deux éléments sont à monter dans le corps du boîtier avec serrage. Par la suite, des joints en colle époxy seront à mettre en place pour arriver à une étanchéité sans faille. Le trou pratiqué dans le couvercle en face de la led de signalisation sera également obstrué, côté intérieur, par un carré de plexiglas d'une vingtaine de millimètres, lequel sera également collé avec de la colle époxy.

## Réglages

Les deux boîtiers mis sous tension et reliés par le câble, les réglages consistent à placer les curseurs des trois ajustables sur leurs bonnes positions. Auparavant, il convient de relever, à l'aide d'un multimètre, les valeurs des deux potentiels suivants :

- entre les broches (2) et (4) du capteur de pression ( $V_{Out+}$  et  $V_{Out-}$ ) du boîtier « détecteur »
- entre la broche (8) et le potentiel de référence broche (14) de IC du boîtier « affichage »

Le rapport entre ces deux valeurs détermine le coefficient « K » d'amplification.

Pour le présent montage, les potentiels ainsi relevés sont respectivement de 21,3 mV et 464 mV.

Il en découle un coefficient d'amplification de :

$$K = \frac{464}{21,3} = 21,78$$

### Réglage de A1

En positionnant l'inverseur (IV) sur « normal », il convient de tourner, dans un sens ou dans l'autre, le curseur de l'ajustable A1 pour obtenir l'affichage 0000.

### Réglage de A2

L'inverseur est ensuite à positionner sur « réglage ». Sur son commun et par rapport à la référence broche (14) de IC, en agissant sur le curseur, le potentiel à obtenir, toujours dans le cadre du présent exemple, est de :  $0,2 \times 98,1 \times 21,78$ , soit 427 mV.

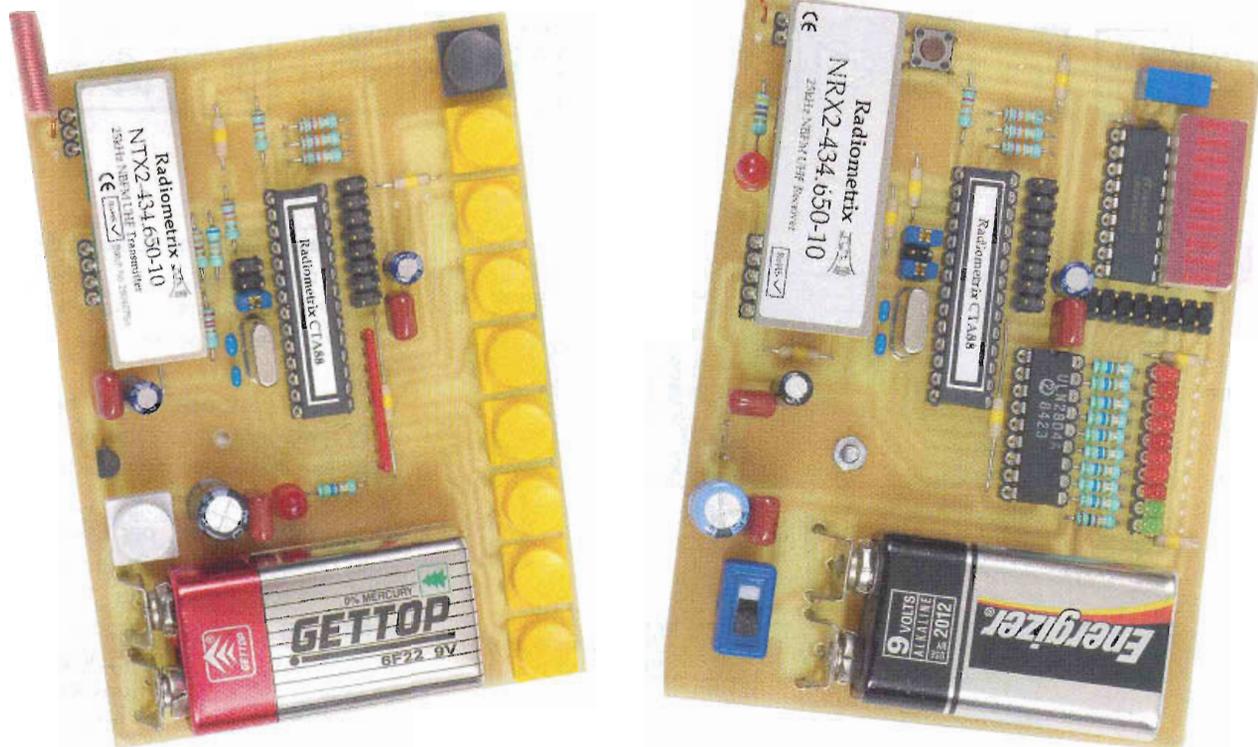
### Réglage de A3

Sans modifier le positionnement de l'inverseur, le curseur de A3 doit être tourné dans un sens ou dans l'autre pour aboutir à l'affichage de la valeur 1000. L'inverseur est ensuite à rebasculer sur position « normal ».

À noter qu'avant chaque utilisation de l'appareil et dans le but d'obtenir une précision maximale de la mesure, il convient d'effectuer le réglage du zéro de l'afficheur, la sonde restant à l'extérieur de l'eau. Ce réglage se justifie surtout à cause de la variation de la pression atmosphérique. C'est la raison pour laquelle le passage d'un tournevis de réglage a été aménagé dans le couvercle du boîtier « affichage » en regard de l'ajustable A1.

R. KNOERR

# Télécommande évoluée



De très nombreux articles traitant de la commande à distance ont déjà été publiés dans nos colonnes. Extrêmement confortable, celle que nous décrivons ici offre des possibilités intéressantes, en particulier plusieurs modes de commandes mis à la disposition de l'utilisateur et une portée dépassant les cinq cents mètres. Autant de performances dues à l'utilisation de composants électroniques modernes.

**C**et ensemble de télécommande présente, en effet, des caractéristiques jusqu'alors jamais proposées dans nos articles. Il peut transmettre et recevoir selon cinq modes différents déterminés par trois bits et sur huit canaux simultanés. Huit bits d'adressage permettent, avec le même émetteur, de disposer de 256 récepteurs ! L'ensemble, selon l'antenne utilisée, atteint une portée comprise entre 100 m et plus de 500 m (en terrain dégagé).

## L'ensemble NTX2/NRX2 émission /réception

Disponibles pour un usage sans licence dans la bande des 433 MHz, les modules NTX2 et NRX2 combinent un blindage efficace et un filtrage interne afin de minimiser l'émission de fréquences indésirables. Ils fonctionnent dans le mode FM en bande étroite, ce qui assure des communications sans faille.

Cet ensemble est fabriqué par la société Radiometrix (<http://www.radiometrix.com>). Les produits sont distribués en France par la société Lextronic (<http://www.lextronic.fr>).

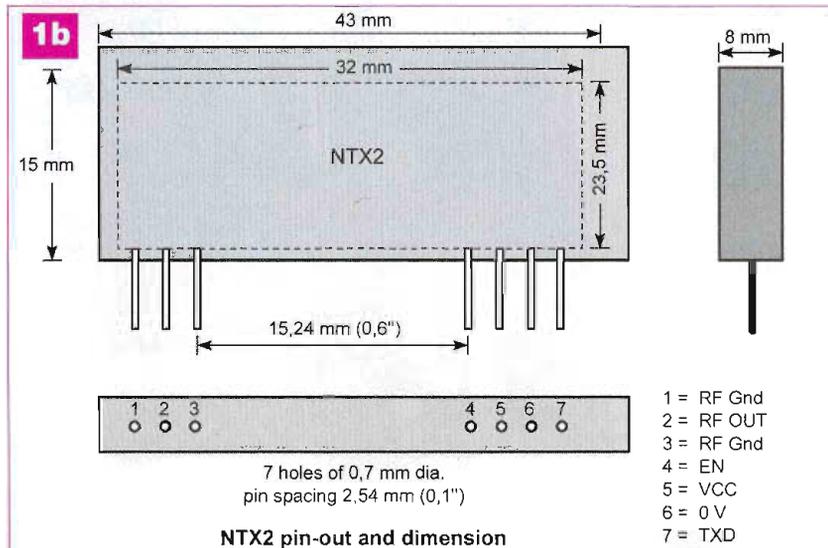
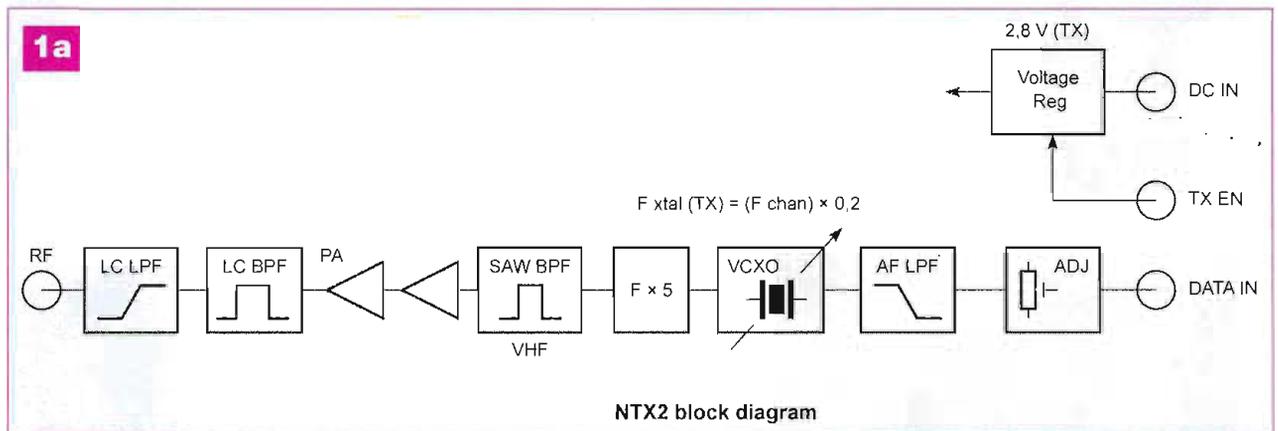
Les caractéristiques principales sont les suivantes :

### • NTX2

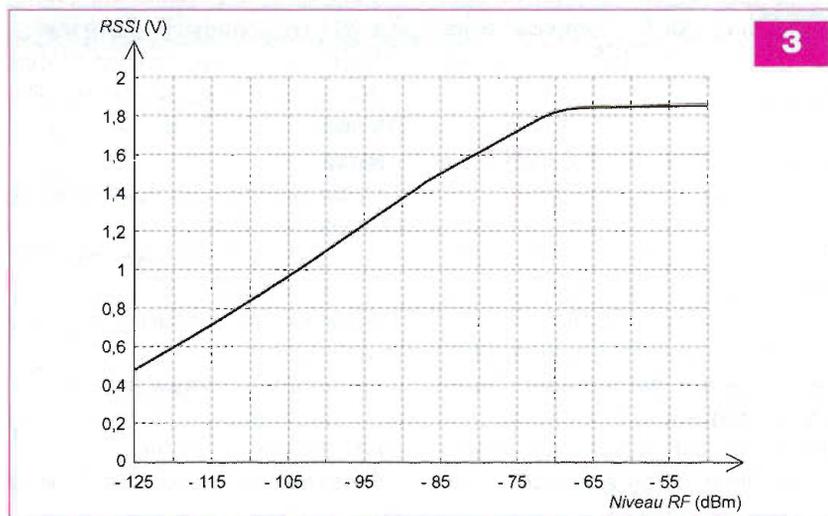
- Trois étages pilotés par un VCXO à quartz
- Alimentation pouvant varier entre 2,9 Vcc et 15 Vcc, régulateur interne 2,8 Vcc, consommation de 18 mA
- Vitesse maximale de transfert 10 kbps
- Puissance d'émission de 10 dBm (10 mW)

### • NRX2

- Mode FM à double conversion de fréquence
- Filtre passe-bande SAW, réjection d'image : 50 dBm
- Fréquences intermédiaires : 21,4 MHz et 455 kHz
- Alimentation comprise entre 2,9 Vcc et 15 Vcc, régulateur interne 2,8 Vcc, consommation de 14 mA
- Vitesse maximale de réception 10 kbps
- Sensibilité -118 dBm



Pin description NTX2		
Pin	Name	Function
1, 3	RF Gnd	RF ground is internally connected to the module screen and pin 6 (0 V). These pins should be directly connected to the RF return path - e.g. coax braid, main PCB ground plane, etc.
2	RF OUT	50 Ω RF output to the antenna
4	EN	Pull high to enable Transmitter (3 V CMOS logic)
5	VCC	2,9 - 15 V DC power supply
6	0 V	Ground
7	TXD	DC coupled input for 3 V CMOS logic. $R_{in} = 100 \text{ k}\Omega$



Les figures 1a-1b et 2a-2b, quant à elles, représentent les schémas internes, le brochage et la fonction de chacune des broches des deux modules.

L'émetteur dispose d'une broche « EN » permettant sa mise en veille. Le niveau applicable sur cette broche ne doit pas dépasser 3 V.

Le récepteur permet, par une sortie RSSI, de visualiser l'amplitude du signal « RF » reçu (compris entre -125 dBm et 55 dBm). La tension disponible sur cette broche varie entre 0,5 V et 2 V. La courbe donnée en figure 3 représente cette variation en fonction du niveau « RF » reçu.

La portée de cet ensemble varie bien évidemment en fonction de l'environnement :

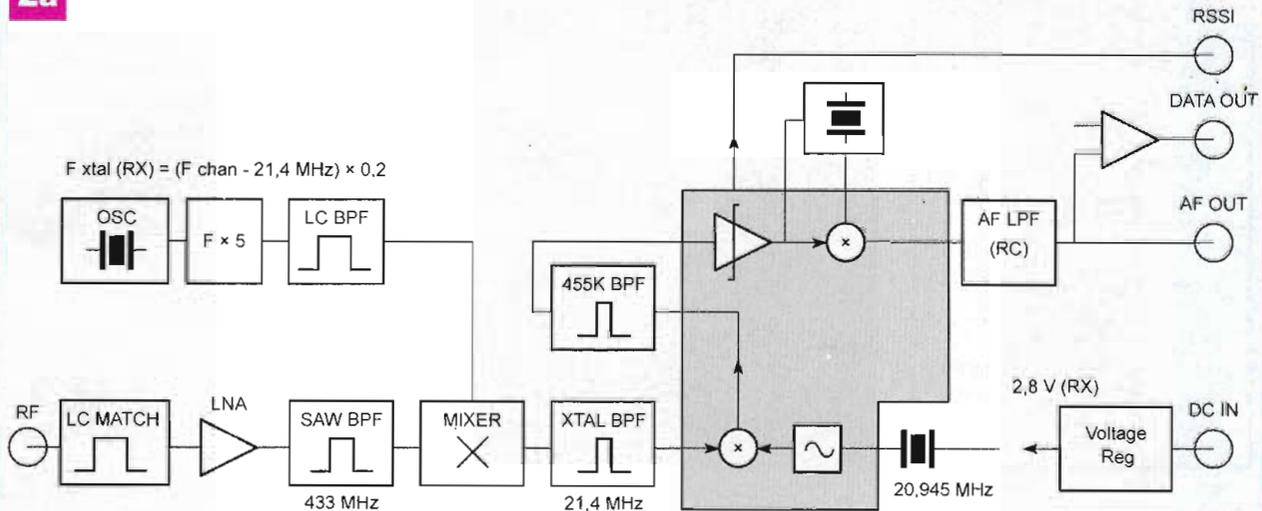
- équipés d'une antenne hélicoïdale fabriquée en enroulant 24 spires d'un fil émaillé de  $\varnothing 0,5 \text{ mm}$  autour d'une forme cylindrique de 3,2 mm, la portée des modules atteint 100 m dans un endroit clos
- équipés d'une antenne taillée en 1/4 d'onde, la portée est de 300 m en milieu urbain et de plus de 500 m en terrain dégagé

## Le microcontrôleur CTA88

Le circuit CTA88 (Radiometrix) est un codeur/décodeur très évolué, ainsi que nous pouvons le constater en consultant les caractéristiques ci-dessous :

- 8 bits d'adresses et 8 bits de données
- 256 télécommandes différentes avec 8 contrôles chacune
- transmission simple par « packet » pour une activation rapide

2a



NRX2 block diagram

- usage maximum des possibilités des modules « RF »
- prévu pour fonctionner avec des ensembles de transmission utilisant le mode FM en bande étroite
- codes Manchester différents pour les adresses, les données et le « checksum »
- codes de synchronisation et « checksum » afin de réduire les déclenchements dus au bruit
- l'oscillateur peut fonctionner avec un résonateur céramique à trois pattes, à deux pattes avec capacités externes ou un quartz avec capacités externes

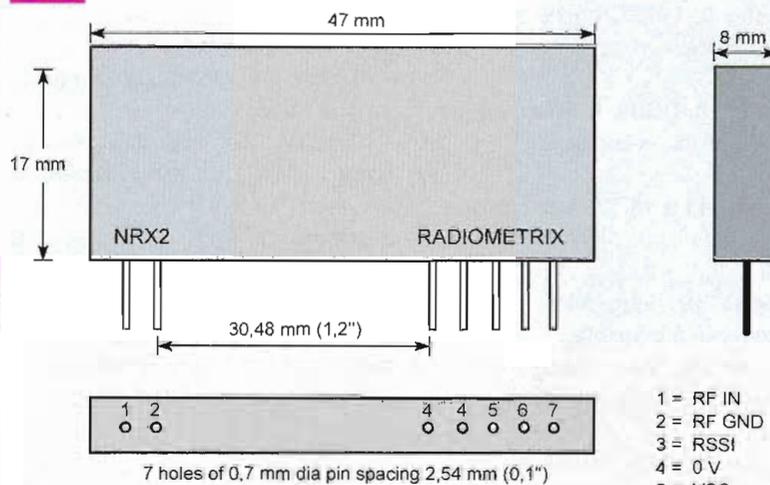
- émission et réception des données à une vitesse de 5,6 kbps

Le circuit CTA88 se présente sous la forme d'un boîtier DIL étroit à 28 broches. Les fonctions de chacune des broches sont données ci-dessous.

### Fonction codeur

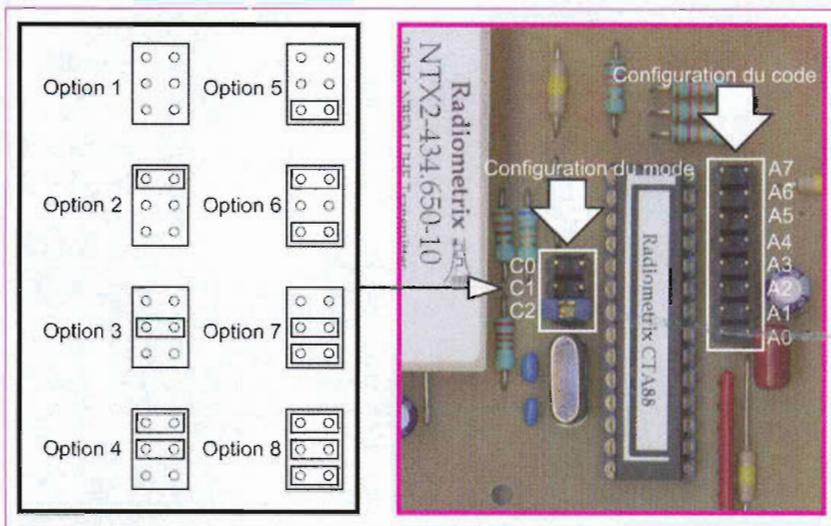
- **Broche 1, entrée, RST/ :** reset, active au niveau « bas »
- **Broche 2, TXD, sortie :** transmission des données codées (adresses et données) vers la broche TXD de l'émetteur
- **Broche 3, TXE, sortie :** active à l'état « haut », valide la broche EN de l'émetteur lors d'une transmission
- **Broche 4, entrée, TX/RX mode :** ramenée au Vcc, cette broche valide le mode encodeur

2b



NRX2 pin-out and dimension

Pin description NRX2		
Pin	Name	Function
1	RF IN	50 Ω RF input from the antenna
2	RF GND	RF ground is internally connected to the module screen and pin 4 (0 V). These pins should be directly connected to the RF return path - e.g. coax braid, main PCB ground plane, etc.
3	RSSI	Received Signal Strength Indicator with > 60 dB range. DC level between 0,5 V and 2 V.
4	0 V	Ground
5	VCC	2,9 - 15 V DC power supply
6	AF/PGM	500 mV <sub>pk-pk</sub> audio. DC coupled, approx 0,8 V bias
7	RXD	Received Data output from the internal data slicer. The data is squared version of the Audio signal on pin 6 and is true data, i.e. as fed to the transmitter. Output is « open-collector » format with internal 10 kΩ pull-up to Vcc (pin 5) Suitable for bi-phase codes.



**4** Configuration du code et du mode de fonctionnement

- **Broches 5, 6 et 7, C0, C1, C2, entrées** : déterminent le mode de fonctionnement
- **Broche 8, Vss, alimentation** : broche reliée à la masse
- **Broche 9, OSC1, sortie** : broche connectée au résonateur ou au quartz
- **Broche 10, OSC2, entrée** : broche connectée au résonateur ou au quartz
- **Broches 11 à 18, D0-D7, entrées** : ce sont les huit bits d'entrée des données
- **Broche 19, Vss, alimentation** : broche reliée à la masse
- **Broche 20, Vdd, alimentation** : broche reliée à la ligne d'alimentation positive
- **Broches 21 à 28, A0-A7, entrées** : ce sont les huit bits d'adresses

### Fonction décodeur

- **Broche 1, entrée, RST/** : reset, active au niveau « bas »
- **Broche 2, RXD, sortie** : entrée des données codées (adresses et données) issues de la broche RXD du récepteur
- **Broche 3, STB, sortie** : fournit une impulsion positive de 36 ms de durée indiquant la réception d'une donnée
- **Broche 4, entrée, TX/RX mode** : ramenée à la masse, cette broche valide le mode décodeur
- **Broches 5, 6 et 7, C0, C1, C2, entrées** : déterminent le mode de fonctionnement
- **Broche 8, Vss, alimentation** : broche reliée à la masse

- **Broche 9, OSC1, sortie** : broche connectée au résonateur ou au quartz
  - **Broche 10, OSC2, entrée** : broche connectée au résonateur ou au quartz
  - **Broches 11 à 18, D0-D7, sorties** : ce sont les huit bits de sortie des données
  - **Broche 19, Vss, alimentation** : broche reliée à la masse
  - **Broche 20, Vdd, alimentation** : broche reliée à la ligne d'alimentation positive
  - **Broches 21 à 28, A0-A7, entrées** : ce sont les huit bits d'adresses
- Les modes de codage d'émission et de réception, c'est-à-dire la façon dont sont envoyées et interprétées les données, sont déterminés par trois bits : C0, C1 et C2.
- La figure 4 représente la manière de disposer les différents cavaliers.

### Mode codeur

- **Option 1, 000** : le circuit est inactif
- **Option 2, 100** : envoi d'une suite « train » de données (au RESET et à chaque transition du niveau 0/1 de C0)
- **Option 3, 010** : envoi sans interruption des suites de données
- **Option 4, 011** : envoi d'une seule suite de données à chaque changement de l'octet présent sur les huit bits de données
- **Option 5, 100** : envoi continu de la suite de données tant qu'un bit des huit entrées D0-D7 est à l'état « haut »
- **Option 6, 101** : envoi d'une suite de données en moyenne toutes les 1,75 s

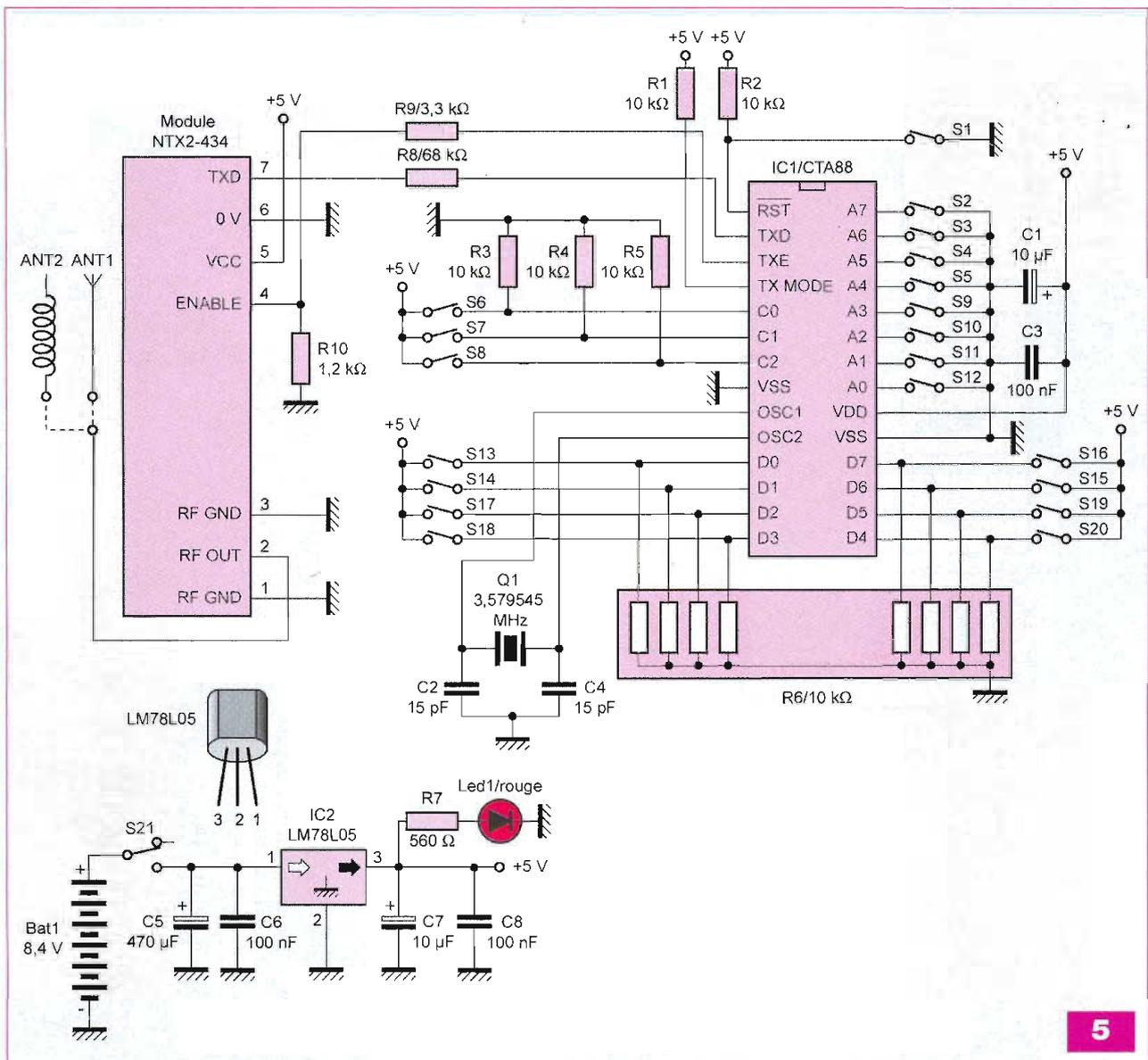
- **Option 7, 110** : mode série ; dans ce mode, le CTA88 est capable d'effectuer une très simple liaison série (un seul octet). Dans ce cas, le bit D4 est l'entrée des données et le bit D5 détermine la polarité des données : D5=0 = polarité « vraie » (*true*), D5=1 = polarité inversée (*inverted*)
- **Option 8, 111** : mode test, émission continue d'un signal carré d'une fréquence de 250 Hz

### Mode décodeur

- **Option 1, 000** : mode test, l'octet de sortie (données) est égal à l'octet présent sur les bits d'adresses
- **Option 2, 100** : la donnée transmise par le codeur reste présente sur les sorties D0-D7 durant 150 ms
- **Option 3, 010** : la donnée transmise par le codeur reste présente sur les sorties D0-D7 durant 3 000 ms
- **Option 4, 011** : la donnée transmise par le codeur reste présente sur les sorties D0-D7 jusqu'à ce qu'une autre donnée soit reçue
- **Option 5, 100** : seules les données D0-D3 sont prises en compte. Les données D4-D7 provoquent un reset (D4=D0, D5=D1, D6=D2, D7=D3)
- **Option 6, 101** : mode « toggle », la donnée envoyée inverse l'état des bits positionnés par la donnée précédente
- **Option 7, 110** : mode série. Dans ce mode, le CTA88 est capable d'effectuer une très simple liaison série (un seul octet). Dans ce cas, D4 détermine le mode « donnée vraie » (*true*), D5 détermine le mode « donnée inversée » (*inverted*) et D6 passe à l'état « haut » durant 500 µs avant et pendant la sortie des données
- **Option 8, 111** : mode test de la liaison.

Nous n'utiliserons donc que quatre des options disponibles (options 2 à 5). Ainsi, si des relais sont connectés aux sorties de la platine de réception, nous obtiendrons les états suivants :

- **Option 2** : les relais collent durant 0,15 s
- **Option 3** : les relais collent durant 3 s
- **Option 4** : seuls les relais connectés aux sorties D0 à D3 peuvent être alimentés. Les boutons poussoirs de l'émetteur D4 à D5 servent alors à couper l'alimentation. Par exemple, si



5

l'on a, dans un premier temps, sollicité le relais (1), une seconde commande au moyen du bouton poussoirs D4 permettra de désactiver le même relais

• **Option 5** : dans ce cas, les huit relais peuvent être actionnés. Un second appui sur le BP du même canal désactive le relais précédemment activé

Ces cinq modes permettront de résoudre la majorité des besoins.

## Schémas de principes

### L'émetteur

Le schéma de l'émetteur est proposé en **figure 5**. Il ne s'agit que du schéma préconisé par Radiometrix avec quelques modifications apportées par nos soins.

Le CTA88 existe en deux versions : une version « normale » alimentée en 5 V et une version « low voltage » pour laquelle l'alimentation doit être de 3 V.

Ayant utilisé la version 5 V avec un module émetteur NTX2 ne supportant que des niveaux CMOS de 3 V, il est nécessaire d'utiliser des résistances supplémentaires afin de réduire l'amplitude des niveaux. Ainsi, la résistance R8 a été insérée dans la ligne de sortie des données. De même, un pont diviseur constitué par les résistances R9 et R10 amène le niveau du signal validant l'émetteur à une valeur acceptable par celui-ci.

Nous avons, pour l'oscillateur, utilisé un quartz de valeur 3,579545 MHz et deux condensateurs de 15 pF. Un résonateur deux pattes, de même

fréquence, peut également être adopté.

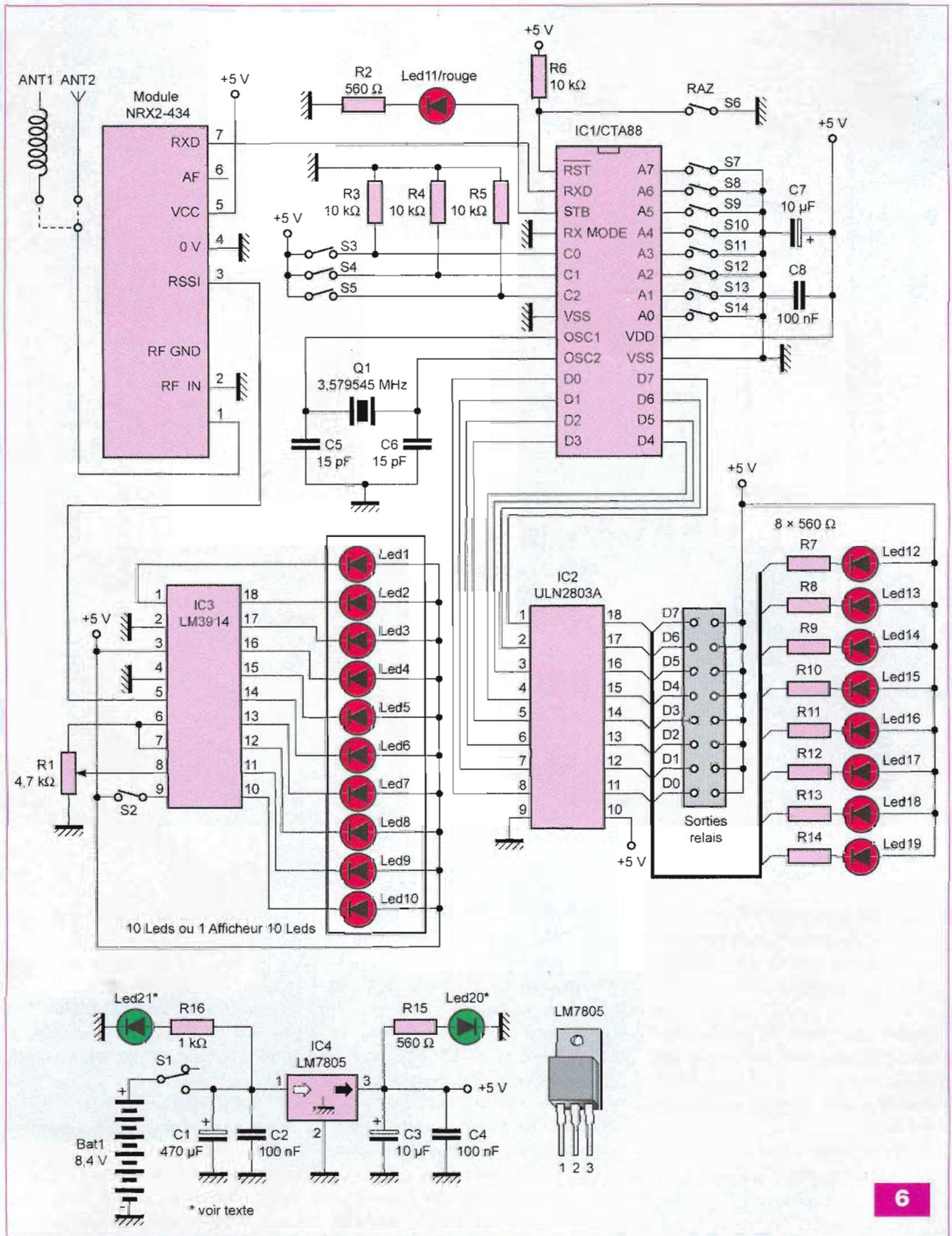
L'ensemble est alimenté sous une tension de 5 V générée par un régulateur de tension de type 78L05. Une pile 9 V 6F22 peut être utilisée, le courant consommé n'étant pas élevé.

### Le récepteur

Le schéma de principe du récepteur est représenté en **figure 6**.

Nous retrouvons la même configuration au niveau du CTA88 mais, cette fois, utilisée en décodeur (broche 4 à la masse).

Les sorties des données (D0-D7) sont amplifiées par un octuple réseau de transistors Darlington de type ULN2803A (ou ULN2804A). Les sorties peuvent largement alimenter des relais consommant un courant com-



6

pris entre 50 mA et 80 mA. Des leds indiquent la mise « en » ou « hors » fonction des sorties. La sortie RRSI du récepteur NRX2 est dirigée vers un circuit LM3914 qui permet de visualiser, au moyen de dix

diodes leds, le niveau de réception. C'est un dispositif très pratique qui permet de régler les antennes d'une manière optimale. La résistance ajustable R1 permet de régler le seuil à partir duquel les leds

commencent à s'illuminer. La platine est alimentée sous une tension de 5 V. Un régulateur de tension de type LM7805 est nécessaire puisque huit relais peuvent être utilisés en même temps.

## Nomenclature

### ÉMETTEUR

#### Résistances

R1 à R5 : 10 k $\Omega$  (marron, noir, orange)  
 R6 : réseau de huit résistances 10 k $\Omega$   
 R7 : 560  $\Omega$  (vert, bleu, marron)  
 R8 : 68 k $\Omega$  (bleu, gris, orange)  
 R9 : 3,3 k $\Omega$  (orange, orange, rouge)  
 R10 : 1,2 k $\Omega$  (marron, rouge, rouge)

#### Condensateurs

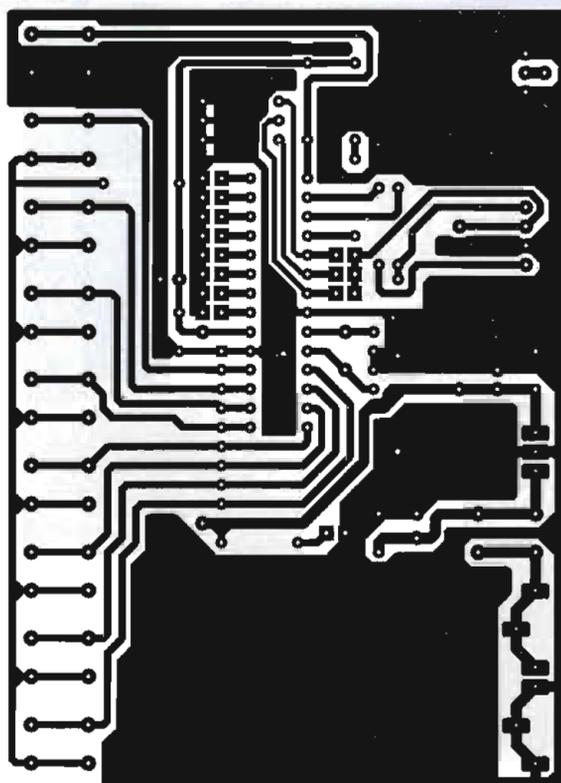
C1, C7 : 10  $\mu$ F/16 V  
 C2, C4 : 15 pF  
 C3, C6, C8 : 100 nF  
 C5 : 470  $\mu$ F/16 V

#### Semiconducteurs

Led1 : diode électroluminescente rouge  
 IC1 : CTA88 (Lextronic)  
 IC2 : 78L05 ou LM7805

#### Divers

1 module Radiometrix NTX2 (Lextronic)  
 1 quartz 3,579545 MHz  
 Barrette sécable de supports tulipe  
 Barrette sécable de picots  
 Cavaliers  
 Support pour pile type 6F22  
 10 boutons poussoir pour circuit imprimé



7

## Réalisation

Les dessins des circuits imprimés de l'émetteur et du récepteur sont représentés respectivement en **figure 7** et en **figure 9**.

### L'émetteur

L'implantation des composants est donnée en **figure 8**.

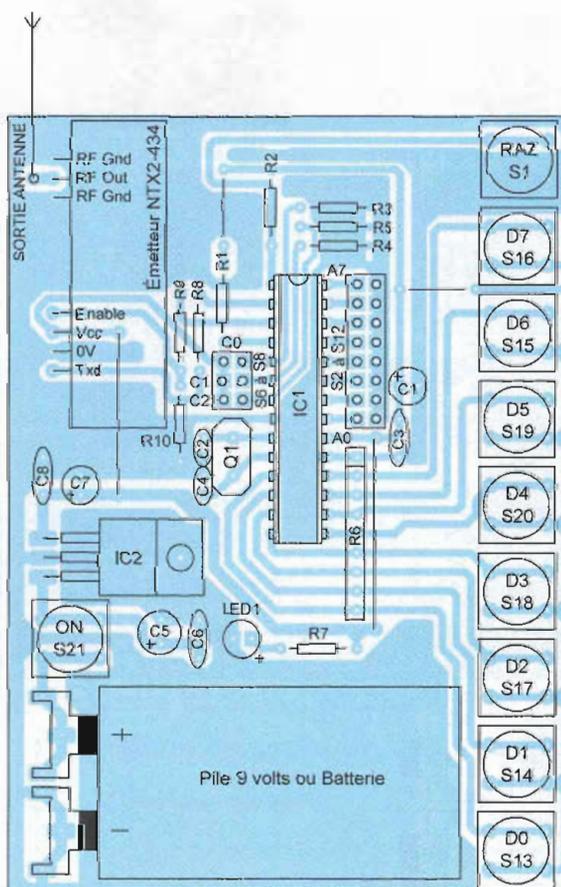
Le câblage ne présente aucune difficulté particulière.

Le circuit intégré CTA88 nécessite un support.

Si vous rencontrez des difficultés d'approvisionnement, utilisez des barrettes « sécable » de supports « tulipe » que vous couperez aux dimensions appropriées.

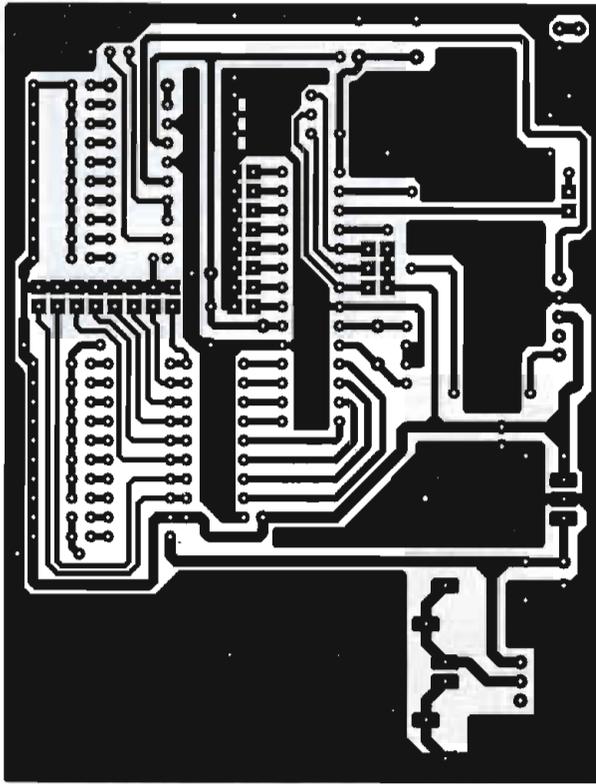
Les commutateurs S2 à S12 sont réalisés avec des morceaux de barrette « sécable » de picots double rangée sur lesquels on enfiche des cavaliers.

Le régulateur de tension peut être soit un 78L05, soit un LM7805 (voir photo d'entrée).



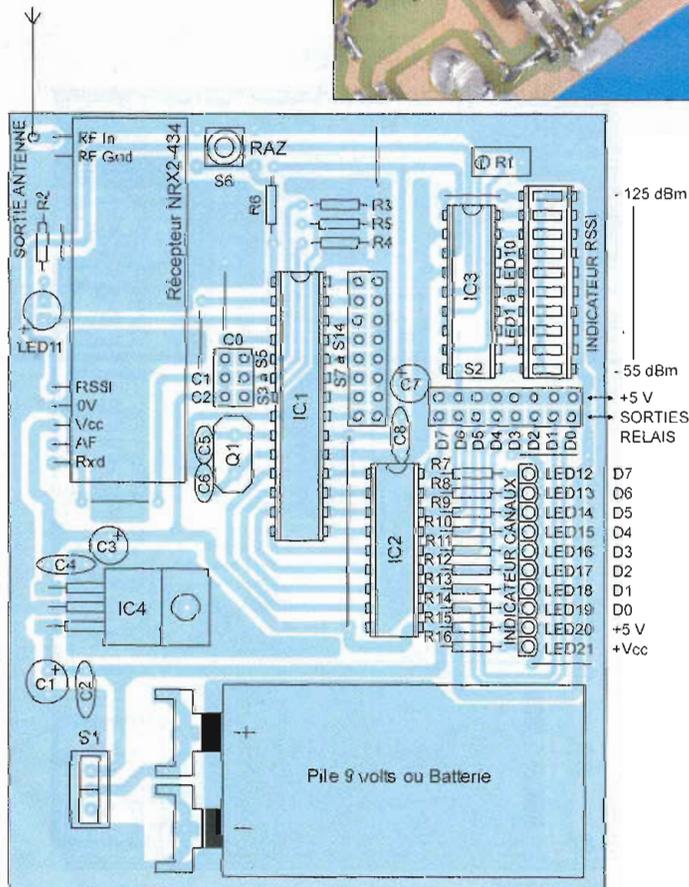
8

9



10

A



## Nomenclature

### RÉCEPTEUR

#### Résistances

R1 : résistance ajustable multitours 10 kΩ  
 R2 : 560 Ω (vert, bleu, marron)  
 R3 à R6 : 10 kΩ (marron, noir, orange)  
 R7 à R15 : 560 Ω (vert, bleu, marron)  
 R16 : 1 kΩ (marron, noir, rouge)

#### Condensateurs

C1 : 470 μF/16 V  
 C2, C4, C8 : 100 nF  
 C3, C7 : 10 μF/16 V  
 C5, C6 : 15 pF

#### Semiconducteurs

Led11 : diode électroluminescente rouge ø 5 mm  
 Led1 à Led10, Led12 à Led21 : voir texte  
 IC1 : CTA88 (Lextronic)  
 IC2 : ULN2803A ou ULN2804A  
 IC3 : LM3914  
 IC4 : LM7805

#### Divers

1 module Radiometrix NRX2 (Lextronic)  
 1 quartz 3,579545 MHz  
 Barrette sécable de supports tulipe  
 Barrette sécable de picots  
 Cavaliers  
 Support pour pile type 6F22  
 2 supports pour circuit intégré  
 18 broches  
 1 bouton poussoir miniature pour circuit imprimé

### Le récepteur

L'insertion des composants est donnée en **figure 10**.

Comme pour la platine de l'émetteur, le câblage est simple. Le régulateur, chauffant modérément, il est soudé « côté cuivre » et fixé au moyen d'une vis et d'un écrou (**photo A**). La dissipation se fait ainsi grâce au plan de masse cuivré. Les commutateurs S3 à S5 et S7 à S14 sont réalisés de la même manière que pour l'émetteur. Les diodes leds peuvent être de deux types : on choisit des diodes intégrées dans un boîtier DIL à vingt broches ou on utilise des diodes au pas de 2,54 mm. Nous avons, pour notre part, mélangé les deux modes. La résistance R1 est un modèle multitours.

Un emplacement pour un accu de type 6F22 (180 mAh) est prévu sur la platine. On n'utilisera ce mode d'alimentation que pour un usage « non intensif » et surtout si les relais ne

restent pas collés après la commande envoyée. Sinon, mettre en œuvre un adaptateur secteur ou des accus de plus grosse capacité. Pour cela, utiliser, en lieu et place de l'accumulateur 6F22, un connecteur à fils qui sera placé sur le connecteur de la 6F22. Attention : dans ce cas, la polarité des fils de couleurs est inversée (« + » au noir et « - » au rouge).

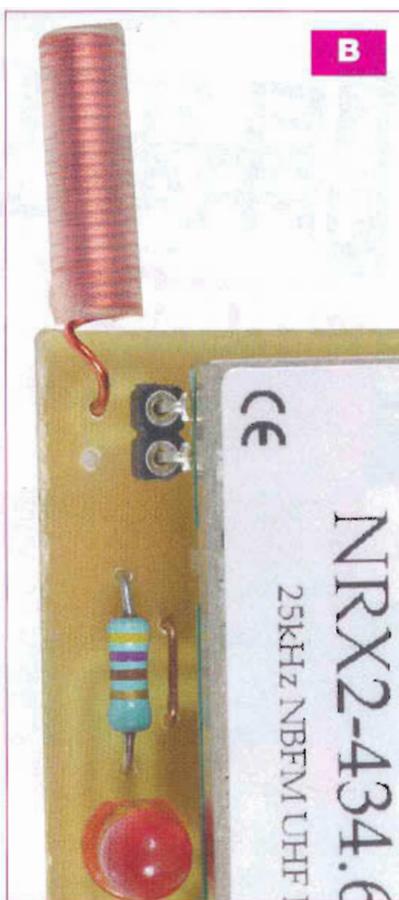
Les sorties s'effectuent sur un morceau de barrette « sécable » de picots double rangée

Pour l'émetteur et le récepteur, les antennes peuvent être de deux types : soit hélicoïdale, soit en un quart d'onde (**photo B**).

Selon l'utilisation prévue, choisir l'un ou l'autre modèle.

## Réglages et essais

Les essais commencent par la vérification de la tension d'alimentation sur les deux platines. **Celle-ci s'effectue avec les platines dépourvues des CTA88 et des modules « RF »**. Placer ces composants et



configurer les commutateurs de mode et ensuite d'adresses comme souhaité. La configuration des adresses doit évidemment être la même pour les deux platines. Celles-ci sont ensuite mises sous tension.

Le seul réglage à effectuer est l'ajustage de la résistance R1.

Tourner la vis jusqu'à ce la première led s'allume.

Afin de vérifier la bonne transmission des données, sur la platine « émetteur », appuyer d'abord sur le commutateur « ON », puis sur l'un des boutons poussoirs D0 à D7. Sur la platine « récepteur », la led D11 doit s'allumer un bref instant ou émettre des clignotements successifs.

L'indicateur RSSI doit afficher le niveau de réception. L'une des diodes led12 à led19 doit donc s'allumer.

Si tout se déroule de la façon décrite, passer à d'autres essais avec des configurations différentes (voir les options 2 à 5).

P. OGUIC

[p.oguic@gmail.com](mailto:p.oguic@gmail.com)

[p.oguic@club-internet.fr](mailto:p.oguic@club-internet.fr)

CD-01  
**Led**  
Fichiers PDF - 145 pages

**TRIODES  
TÉTRODES  
PENTODES**

30 €

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

# ÉCHIQUIER ÉLECTRONIQUE

## Échec & Mat



**Quoi de plus classique aujourd'hui qu'un jeu d'échec électronique, c'est pourtant une bien étrange application pour un microcontrôleur comme le dsPIC.**

**Des millions de personnes dans le monde connaissent les règles de ce jeu qui daterait au moins du XV<sup>e</sup> siècle.**

**C**e montage est donc loin d'être une invention originale dans son principe, mais c'est probablement la première fois que la réalisation d'un automate de ce niveau est détaillée dans une revue d'électronique. Comme quoi la puissance de calcul d'un dsPIC peut s'appliquer à de nombreux domaines.

Si vous n'êtes pas encore un joueur confirmé, vous aurez tout de même du mal à mater notre dsPIC. Si un programme informatique manque souvent de fantaisie, il applique toujours sa stratégie à la lettre et, dans ce cas, sans faire de cadeau.

Les joueurs habitués auront moins de difficultés, puisque le niveau de jeu est celui d'un joueur de club moyen.

### Principales caractéristiques

- Signalisation des coups par led : une sur chaque case
- Déplacement intuitif des pièces par trois boutons poussoirs
- Six niveaux (ou profondeurs) de jeu, ce qui correspond à un temps de réponse variant de « presque rien » à une heure maximum
- Respect de toutes les règles de jeu internationales, à l'exception de la répétition. Même si une situation se reproduit trois fois à l'identique, la partie n'est pas déclarée nulle dans notre cas
- Grande bibliothèque d'ouvertures : sept mille cinq cents variantes, équivalentes à près de deux cent mille coups en mémoire
- Possibilité de revenir en arrière sur les cent derniers coups
- Mode « Setup » pour déplacer, vérifier la position des pièces ou encore résoudre des problèmes
- Sauvegarde automatique de la partie en cours en mémoire non volatile. Dès que l'on arrête le jeu (par accident ou non), tous les coups restent

en mémoire. La dernière partie reprend par défaut à chaque démarrage.

### Le cœur du montage

Le microcontrôleur dsPIC30F6012 n'est plus tout à fait le fleuron de la gamme « dsP » de Microchip qui propose maintenant des dsP33. Mais les 30MIPS (millions d'opérations par seconde) de ce circuit et le fait qu'il est désormais assez facile à approvisionner ont pesé dans la balance.

Un autre point très important a guidé notre choix : la quantité de mémoire RAM disponible. Les 8 ko disponibles dans les dsP30F6012/6014 sont un minimum pour notre algorithme de jeu. Les 144 ko de mémoire « flash programme » sont également bien utiles pour stocker une bibliothèque d'ouvertures très volumineuse, même si elle est bien compressée.

Aucune des instructions spéciales typiques aux applications à « traitement du signal » n'a, par contre, été utilisée.

Ses principales caractéristiques sont :

- 144 ko de mémoire « flash », 8 ko de RAM et 4 ko d'EEPROM

- Jusqu'à 30 MIPS optimisées pour le compilateur C (C30), avec des données sur 16 bits

- Nombreuses opérations « dsP » (multiplication, etc.)
- Nombreux périphériques (ADC, I<sup>2</sup>C, SPI, CAN, etc.)
- Possibilité de programmation et débogage série (sur cinq fils)
- Mode veille, etc.

## Schéma de principe

Même si le processeur est le cœur du montage, quelques circuits intégrés logiques lui ont été associés. Il y a de nombreuses leds à piloter et huit boutons poussoirs à surveiller.

L'échiquier comporte soixante-quatre leds; huit autres sont utilisées pour indiquer l'état du jeu ou la nature des pièces sélectionnées (**figure 1**).

Si le boîtier TQSP d'un dsPIC dispose de nombreuses entrées/sorties, ses petites pattes montées en surface (CMS) ne sont pas très faciles à souder pour les simples amateurs que nous sommes. Le choix a donc été fait dès le départ pour n'en utiliser que le strict minimum afin de diminuer le nombre de soudures. On rencontre ainsi nettement moins de problèmes quand on attaque le soudage du dsPIC.

C'est pour cela que le montage est construit autour d'un bus I<sup>2</sup>C permettant de piloter trois ports d'entrées/sorties « PIO » de huit bits (IC2-IC4). On obtient ainsi vingt-quatre entrées/sorties pour seulement deux pattes utilisées sur le dsPIC.

Les soixante-quatre leds de l'échiquier sont interconnectées sous la forme d'une matrice de 8 lignes x 8 colonnes. Deux démultiplexeurs lui sont donc entièrement consacrés.

Le troisième « PIO » permet de piloter les leds de contrôle et surveille également les différentes touches de fonctions. Trois bits commandent un démultiplexeur pour les leds, trois autres recueillent le code de touche appuyée via un multiplexeur. Il reste encore deux bits : un pour les deux leds « BLANCS/NOIRS » et un pour le bouton on/off.

Ce fonctionnement est rendu possible du fait qu'il n'y a, à chaque fois, qu'une led d'état allumée et qu'une touche appuyée.

Le connecteur ICD2 (J1) représenté sur le schéma est également prévu

sur le circuit imprimé. Il faudra bien, en effet, l'utiliser au moins une fois, au moment de la programmation du dsPIC. Cette étape est, bien entendu, nécessaire et doit se faire au moyen d'un programmeur série ICD2.

## Logiciel

C'est de loin, le plus gros « morceau » en terme de temps de mise au point. Le cœur du programme est basé sur « TSCP » (Tom Simple Chess Program) de Tom Kerrigan. Lequel est connu dans le monde des échecs électroniques pour constituer un bon exemple de programme d'échecs et a servi de point de départ à de nombreux autres logiciels d'amateurs.

Même s'il ne supporte pas la comparaison face aux programmes tournants sur PC, il n'est déjà pas simple à implanter dans un microcontrôleur.

## Représentation de l'échiquier

Le logiciel dispose, à chaque instant, de deux tableaux de soixante-quatre cases : un pour la couleur (blanc, noir ou vide) de chaque case et un autre pour le type de pièce occupant la case. Ce sont deux tableaux à une dimension où les cases se suivent rangée par rangée.

Ces deux tableaux permettent de calculer les mouvements des pièces qui sont ensuite évalués avec des règles simples. La recherche du meilleur coup se fait tout de même en anticipant (virtuellement) un certain nombre de coups. Cela correspond, dans notre cas, à la profondeur de jeu ou au niveau de réflexion.

## Génération des coups possibles

Un système de notation donne un score à chaque situation, le but étant d'obtenir un avantage numérique, de position ou simplement de désavantager l'adversaire. Malheureusement, le nombre de combinaisons à examiner croît exponentiellement avec le nombre de coups anticipés. C'est donc là qu'intervient l'algorithme de recherche « Negamax » utilisé ici.

Si l'on représente l'ensemble des possibilités comme un arbre, il est parfois possible de couper certaines grosses branches à remonter, en fonction de leurs scores respectifs.

## Choix du meilleur coup

Pour un ordinateur, il n'est pas du tout évident de déterminer quel coup possible est bon et quel autre peut être catastrophique. Le meilleur moyen de faire le moins d'erreurs possibles est d'évaluer le rapport de force entre sa position et celle de l'adversaire, cela pour un certain nombre de coups à venir. La totalité des programmes d'échecs agissent ainsi.

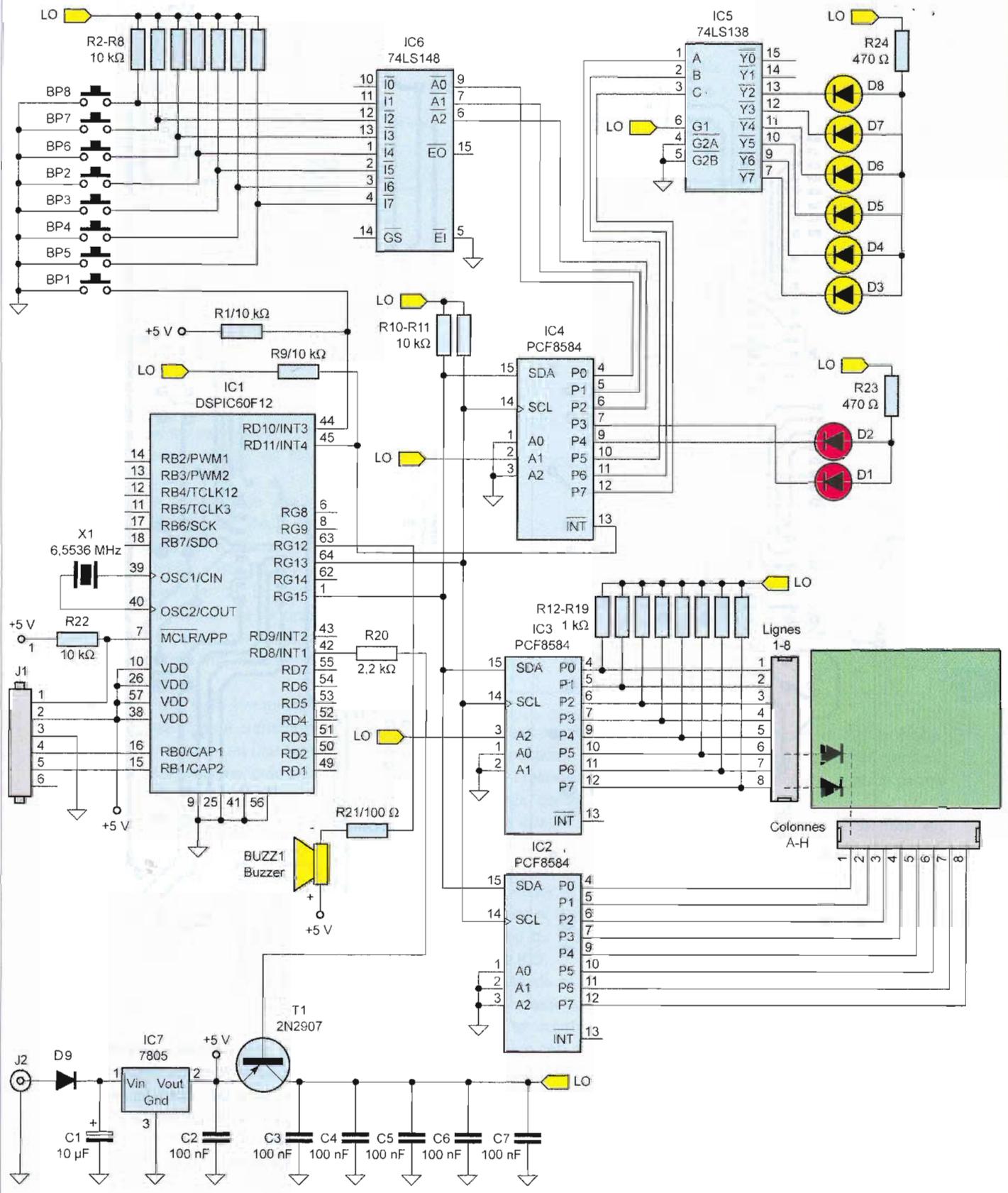
Malheureusement, le fait d'anticiper peut augmenter d'une façon considérable le nombre de cas à évaluer.

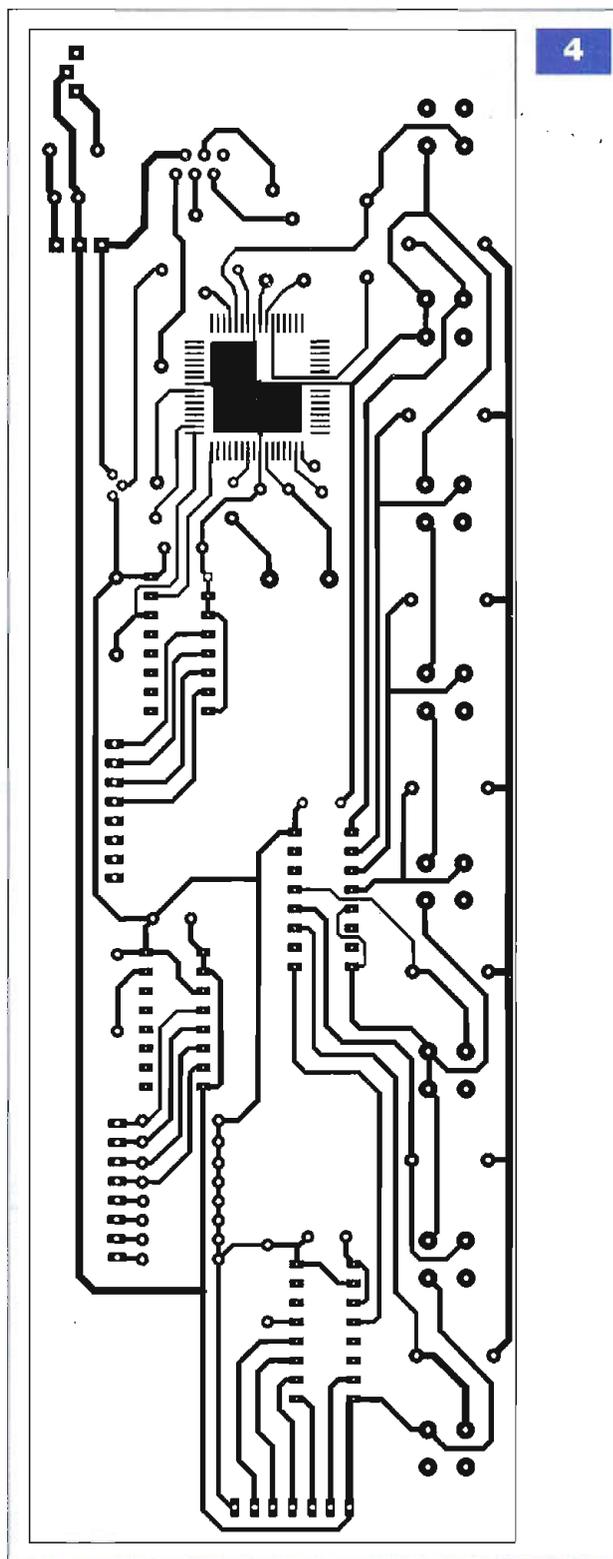
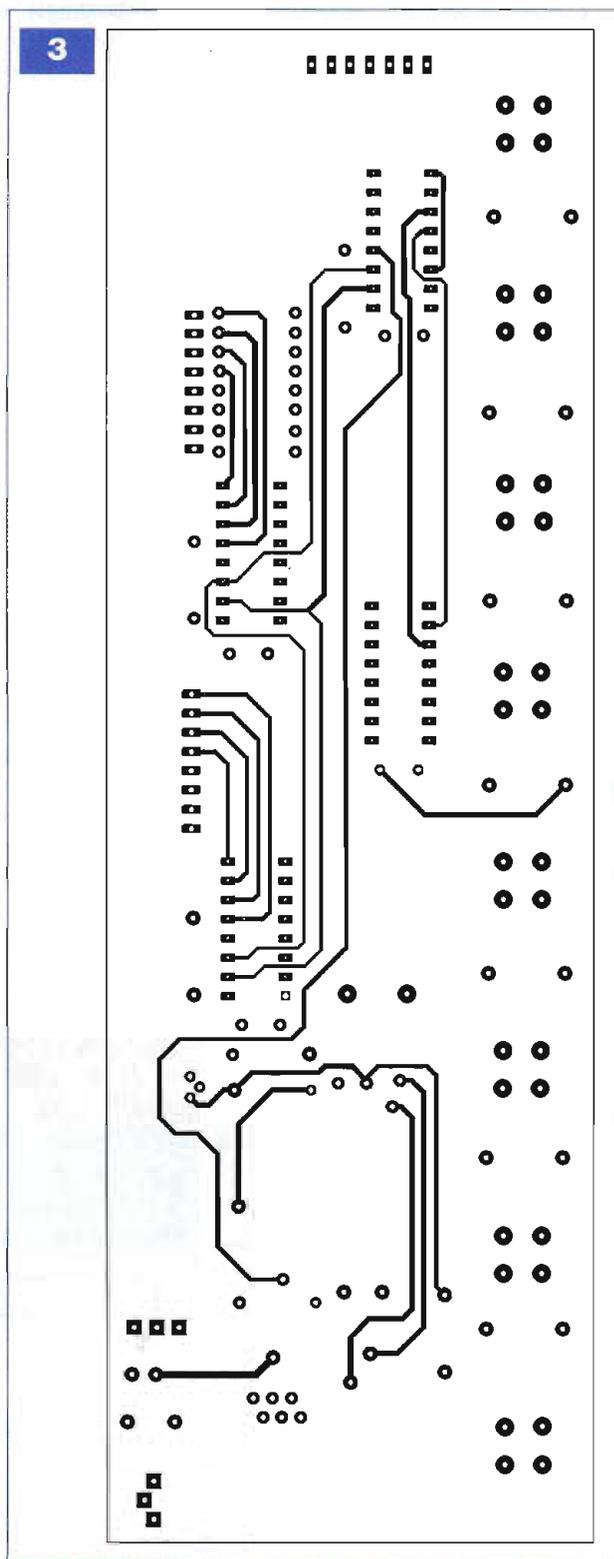
Lequel est à peu près égal à  $(b^n)$  où (b) est le nombre de mouvements possibles en moyenne à un moment donné et (n) le nombre de coups joués en avance (profondeur de jeu). Ce nombre devient donc très rapidement élevé et risque de demander un temps de réflexion inacceptable, d'où l'intérêt de trouver des méthodes pour minimiser le nombre de coups susceptibles d'être retenus.

Il existe plusieurs techniques pour pouvoir anticiper davantage de coups, dans un même temps de calcul. Notre programme utilise la méthode « Alpha-beta » qui élimine certaines variantes possibles, lorsque leurs intérêts ne sont pas suffisants par rapport à d'autres positions déjà trouvées. Le nombre de coups possibles reste encore exponentiel, mais il est nettement réduit.

Les problèmes sont toutefois bien plus compliqués que cela. Imaginons que notre programme anticipant les six coups à venir, découvre avec horreur qu'au cinquième coup, il peut perdre sa reine. Il pourra décider de sacrifier une autre pièce, même si cela ne fait que reporter la perte. De son point de vue (qui s'arrête à six coups), la reine est sauvée puisque sa perte est invisible, car repoussée au septième coup. Une pièce a malgré tout été sacrifiée et la perte de la reine sera peut être de nouveau visible au coup suivant. C'est « l'effet

1





d'horizon » qui peut parfois provoquer des comportements étranges si l'algorithme de recherche est mal adapté.

### Bibliothèque d'ouvertures

Un autre raffinement utilisé ici, comme dans la plupart des programmes d'échecs, est la base de

données des ouvertures connues.

Les différents et plus efficaces débuts de parties ont été maintes fois étudiés, il est donc inutile au départ de s'écarter des sentiers battus.

Mais comme la mémoire d'un dsPIC n'est pas infinie, les différents coups sont stockés sous la forme d'un arbre d'ouvertures (figure 2).

Inutile de stocker des milliers de fois

« e2e4 » ou « d2d4 ». Une seule fois suffira, à condition de mettre en place un système de repérage des différents niveaux permettant de s'y retrouver.

Si l'ordinateur doit jouer le troisième coup (après « e2e4 », « e7e5 » par exemple), il va trouver la branche « e2e4 », puis la sous-branche « e7e5 », pour faire la liste des nouvelles sous-



branches possibles. Il n'y a plus qu'à tirer une réponse au hasard.

Une autre astuce tient dans le fait qu'une petite centaine des coups les plus courants représentent, à eux seuls, 75 % de l'ensemble des coups de la bibliothèque. Cela permet encore de gagner de la place en affectant un code spécial sur un octet aux cent vingt-sept coups usuels et deux octets aux autres.

Il devient ainsi possible de stocker l'équivalent de presque deux cent mille coups dans notre microcontrôleur. C'est le fichier « BSC30.S » qui contient l'ensemble de la bibliothèque sous la forme de données brutes. Comme son nom l'indique, chaque variante est limitée au trentième coup maximum.

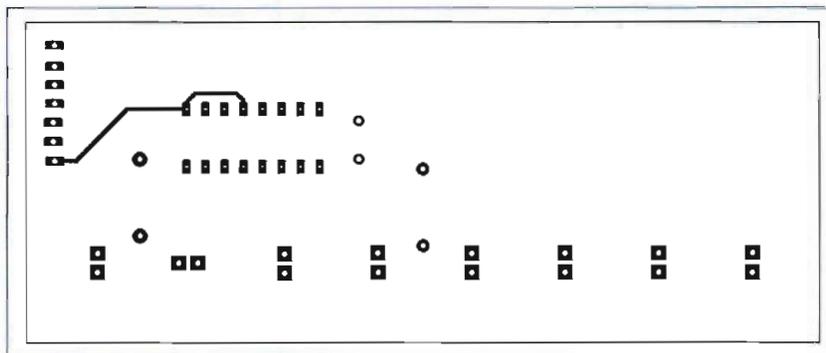
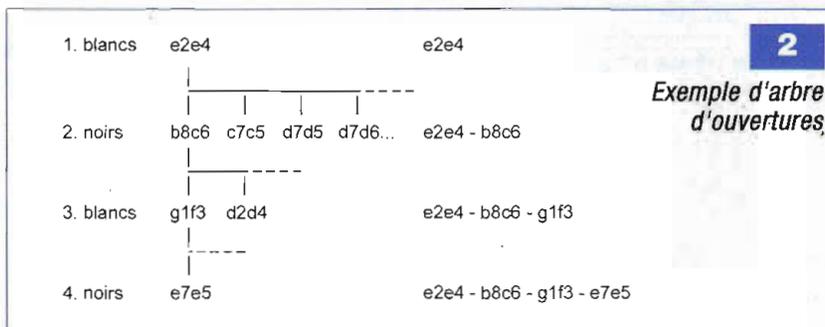
Un utilitaire *ad hoc* a dû être mis spécialement au point pour transformer les ouvertures « texte » en une forme arborescente compressée, puis en un fichier assembleur utilisable par le linker de MPLAB.

## Réalisation des circuits

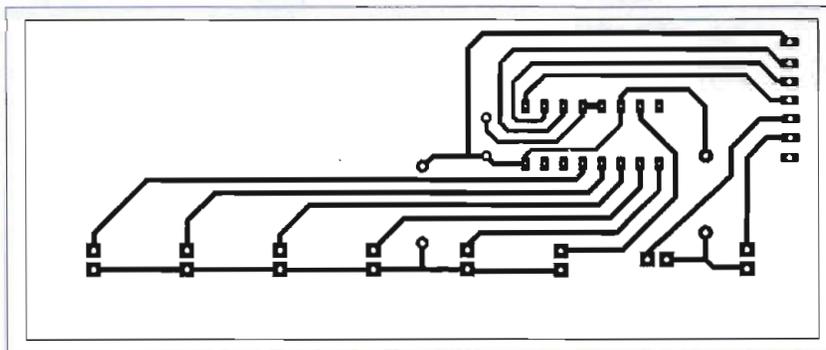
Pour garder à l'échiquier sa forme carrée d'origine, les boutons poussoirs et les leds de contrôles sont disposés en longueur, côté droit de l'échiquier, le but étant d'obtenir une mince bande verticale dont les dimensions deviennent assez importantes (30 cm). C'est la raison pour laquelle nous avons finalement étudié deux circuits imprimés.

Le premier (figures 3 et 4) regroupe le microcontrôleur, l'alimentation, les circuits de commandes et les boutons poussoirs.

Le deuxième circuit, plus petit (figures 5 et 6), sert de support aux



5



6

leds de contrôles dans le prolongement des boutons poussoirs.

Les deux circuits sont reliés entre eux par une nappe à six conducteurs, voire par de simples straps. Le côté composants ne faisant apparaître que deux liaisons cuivrées, il est tout à fait possible d'envisager la gravure d'un circuit simple face et d'effectuer les deux liaisons avec du fil isolé au niveau des pattes de IC5.

La principale difficulté de la réalisation réside sans conteste dans la mise en place et le soudage du dsPIC.

Le montage en surface de IC1 nous dispense d'une partie du travail des perçages, mais attention aux soudures ! L'entraxe entre chaque patte n'est que de 0,8 mm ! Il faut impérativement utiliser un fer à panne fine. Une solution peut être de commencer à étamer légèrement le circuit imprimé ainsi que les pattes du dsPIC.

Une fois le composant mis en place, il n'y a plus qu'à réchauffer, sachant qu'il n'y a pas énormément de pattes réellement utilisées.

Une autre difficulté est la mise en place des boutons poussoirs dont il faut contrôler la hauteur en fonction du passage éventuel dans l'échiquier.

## Programmation du dsPIC

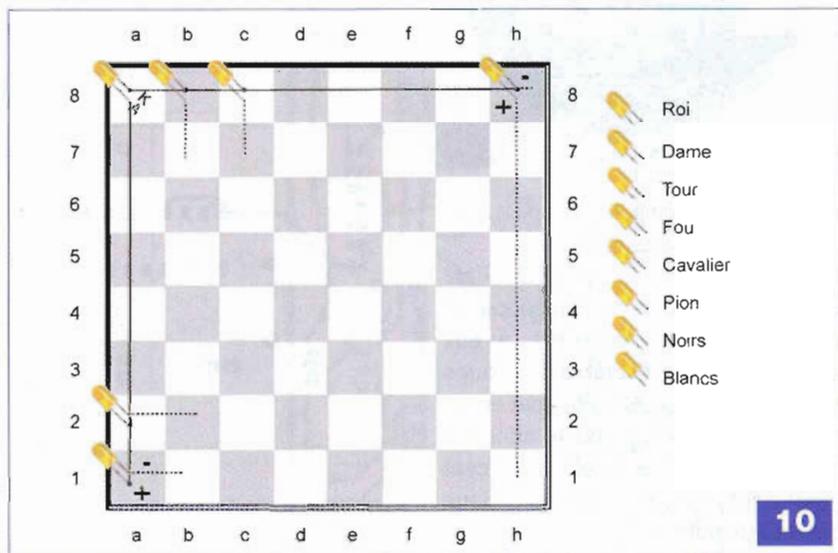
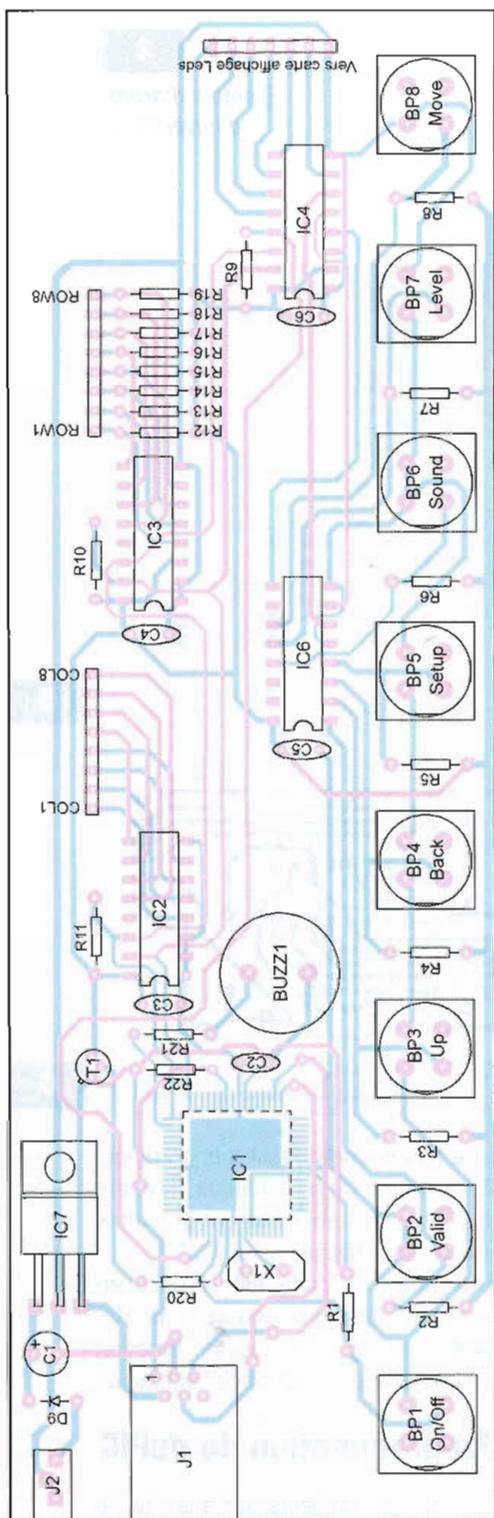
Un dsPIC n'est hélas pas aussi facile à programmer qu'un PIC16F84. De toute façon, le boîtier miniature TQFP ne permet pas d'utiliser un simple programmeur. Le circuit devra d'abord être soudé à son emplacement final et la programmation se fera par le connecteur J2 (RJ11) en utilisant un module ICD2 (photo A) de Microchip (ou équivalent : voir encadré « Pour en savoir plus... »).

Quoi qu'il en soit, **si vous n'êtes pas équipé** de ce type de matériel alors

## Réalisation de l'échiquier

que cette réalisation retient toute votre attention, l'auteur se propose de vous « dépanner » par simple aller-retour par la poste en programmant votre composant soudé sur son circuit imprimé ou fourni seul (le contacter directement par mail donné en fin d'article).

Le prototype a été réalisé à partir d'un échiquier « standard » en cases de 50 x 50 mm et bois simili acajou. On en trouve facilement, pour une trentaine d'euros, sur Internet ou ailleurs. Il laisse largement assez de



10

### Nomenclature

#### Résistances

- R1 à R11 : 10 kΩ
- R12 à R19 : 1 kΩ
- R20 : 2,2 kΩ
- R21 : 100 Ω
- R22 : 10 kΩ
- R23, R24 : 470 Ω

#### Condensateurs

- C1 : 10 μF
- C2 à C7 : 100 nF

#### Semiconducteurs

- D1, D2 : leds 3 mm cylindriques (rouges pour blancs/noirs)
- D3 à D8 : leds 3 mm cylindriques (jaunes pour nature des pièces)
- D10 à D74 : leds 3 mm à bouts plats (verts pour l'échiquier)
- D9 : 1N4148
- T1 : 2N2907

#### Circuits intégrés

- IC1 : DSPIC30F6012-30I/PF

#### Distributeurs :

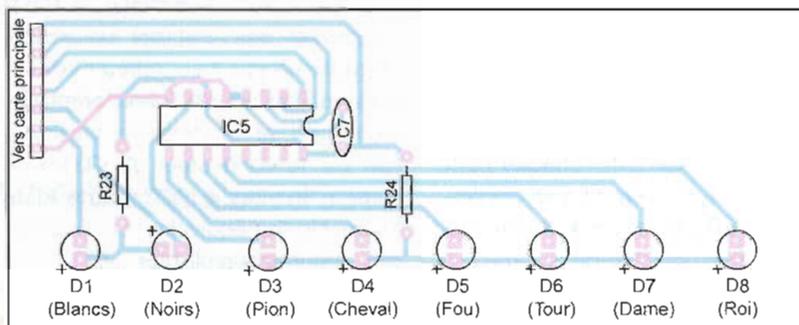
- Radiospares, [radiospares-fr.rs-online.com](http://radiospares-fr.rs-online.com) (professionnels), code : 250 836 8852
- Farnell, [fr.farnell.com](http://fr.farnell.com), Tél. : 04 74 68 99 99, code : 126 2779
- Microchip direct, [www.microchipdirect.com](http://www.microchipdirect.com)
- [g.samblancat@free.fr](mailto:g.samblancat@free.fr) (l'auteur)

- IC2, IC3, IC4 : PCF8584 (Attention, le PCF8584A n'est pas compatible, il utilise une autre adresse I<sup>2</sup>C)
- IC5 : 74LS138
- IC6 : 74LS148
- IC7 : 7805 avec radiateur

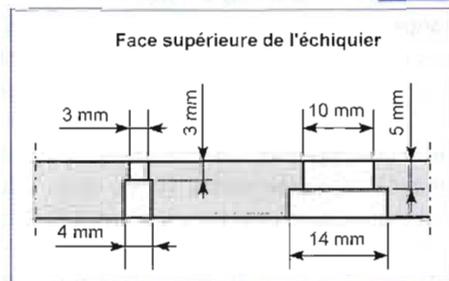
#### Divers

- X1 : quartz 6,5536 MHz
- BP1 – BP8 : boutons poussoirs à tête cylindrique
- BUZZ1 : mini buzzer (avec oscillateur intégré)
- J1 : connecteur ICD2 RJ à six conducteurs pour circuit imprimé
- J2 : bornier à vis deux conducteurs

7



8



9

place pour insérer une led de 3 mm (voire 5 mm) sur chaque case. On peut ainsi jouer avec de grandes et belles pièces, bien plus agréables à manipuler que les petites figurines en plastique des jeux miniatures.

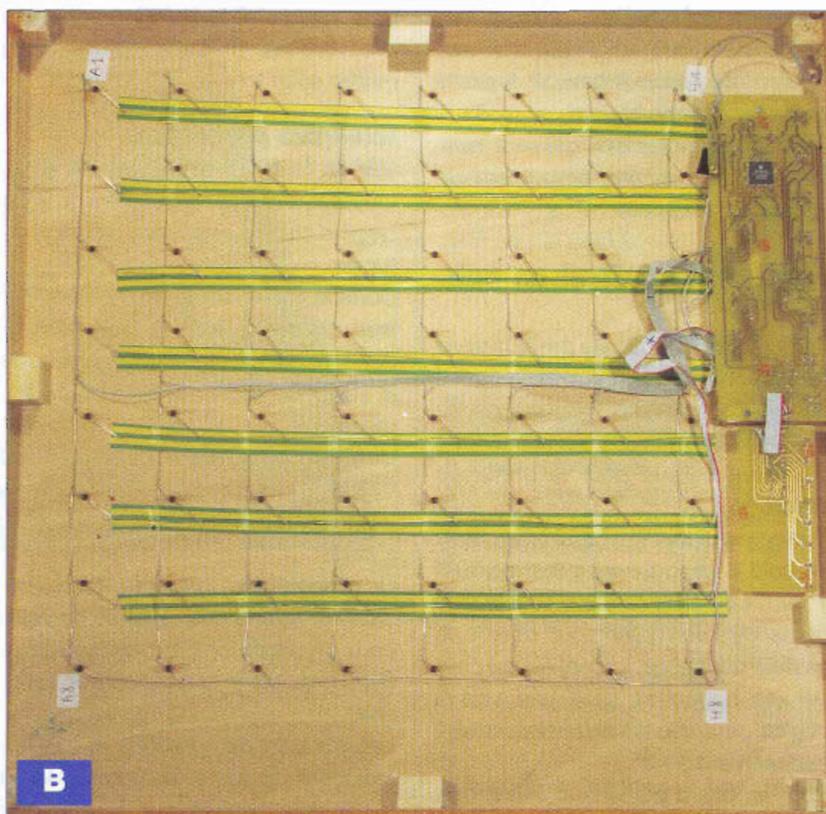
## Réalisation de la matrice de 64 leds

Avec une grande règle, commencer par marquer au préalable les trous à 3 mm du coin bas/gauche de chaque case, par un point précis au crayon.

Il faut ensuite percer **par le dessus** de l'échiquier chaque trou à  $\varnothing$  3 mm, ce qui correspond au diamètre de l'extrémité visible de **la led à bout plat**. Pour cela ne pas oublier de plaquer fermement la face supérieure de l'échiquier sur une plaque de bois dur, afin d'éviter les éclats lors des perçages. Utiliser de préférence un foret à bois neuf et rester aussi vertical que possible.

Ensuite, agrandir chaque trou par l'arrière à  $\varnothing$  4 mm, pour permettre le passage de l'anneau inférieur de chaque led. La profondeur de perçage devra être contrôlée au mieux, pour que la **face plate de la led affleure** juste à la surface de l'échiquier (figure 9).

Après avoir inséré et collé chaque led **dans le même sens** avec une goutte de colle époxy, il ne reste plus qu'à



rassembler les pattes en lignes/colonnes pour former une matrice 8 x 8 (figure 10).

Les **anodes** - patte (+), la plus longue de chaque led sont reliées ensemble pour former les **colonnes verticales**. Les **cathodes** également reliées ensemble forment les **lignes horizontales**.

De simples bandes de « scotch électrique » ont été utilisées pour isoler

chaque liaison faite avec du fil simple rigide dénudé.

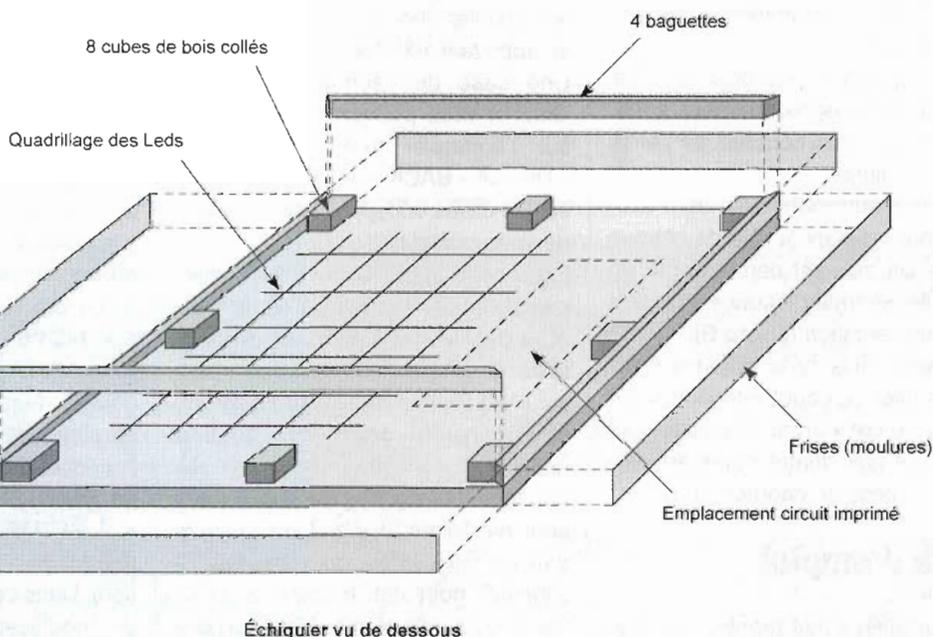
Deux nappes de fils à huit conducteurs sont ensuite soudées pour relier colonnes et rangées aux deux connecteurs à huit contacts.

Percer maintenant les trous de  $\varnothing$  10 mm pour le passage des boutons poussoirs sur le côté droit de l'échiquier (figure 9).

Ce diamètre étant celui de la tête des

11

### Plan d'ensemble de l'échiquier



Échiquier vu de dessous

poussoirs cylindriques, chaque trou doit ensuite être agrandi à  $\varnothing 14$  mm environ, de façon à pouvoir loger le corps de chaque bouton.

De même pour les leds qui sont insérées par le dessous et qui ont un anneau de  $\varnothing 3,2$  mm.

## Finition du coffret en bois

Ce qui suit n'est qu'une possibilité de réalisation parmi d'autres; chacun pourra l'adapter en fonction de sa sensibilité artistique. Voici la méthode qui a été utilisée pour le prototype (figure 11).

Quatre moulures (ou de simples tiges de bois « samba » ou autre) de 30 x 4 mm sont collées juste à fleur des bords de l'échiquier pour obtenir la hauteur souhaitée. L'idéal est de couper les baguettes avec une scie à onglet, pour que les extrémités soient parfaitement à 45°.

Pour un prix à peine plus élevé, certains magasins de bricolage proposent des moulures sculptées de motifs géométriques.

Quatre cubes de bois (découpés dans un tasseau de 2 m en pin, par exemple) sont collés en même temps aux quatre coins pour garantir un bon positionnement et un bon collage des moulures. Pour plus de solidité, on peut en coller quatre autres aux milieux (sauf à la place des circuits imprimés). Ces rectangles serviront ensuite de supports à la plaque carrée (en CTP ou mélaminé) qui viendra fermer la boîte.

Une fois que la colle à bois tenant le tout est bien sèche, on peut appliquer une ou deux couches de vernis sur les moulures.

Des lettres auto-adhésives sont utilisées pour indiquer le rôle de chaque bouton. Un trou est percé à côté du circuit de commande pour y passer le jack d'alimentation (photo B).

Il ne reste plus qu'à refermer l'ensemble avec le capot inférieur (carré de 50 x 50 cm x 3mm d'épaisseur en mélaminé) aux quatre coins en utilisant des pieds en caoutchouc.

## Mode d'emploi

Tout est maintenant terminé, les leds sont soudées, l'alimentation du mon-

tage vérifiée et le dsPIC programmé avec succès. Bref, il n'y a plus qu'à mettre sous tension et... jouer !

## Quelques précisions sur le fonctionnement du jeu

L'utilisation du jeu est tout ce qu'il y a de plus classique pour ce type d'ordinateur.

Comme vous vous en doutez, les leds de droite sont là pour donner des informations sur l'avancement de la partie ou aider au placement des pièces.

Une des deux leds « BLANCS » ou « NOIRS » doit toujours être allumée (clignotante) en indiquant ainsi le côté à jouer.

Un clignotement lent indique que l'ordinateur attend une réponse de votre part, un clignotement rapide indique que l'ordinateur est en train de réfléchir.

Les six leds de « PION » à « ROI » indiquent toujours la nature de la pièce sélectionnée sur la case de l'échiquier ou celle dont le mouvement est indiqué à un moment donné. Il y a quand même des exceptions à cette règle. Lorsque l'on change le niveau de jeu, la profondeur de jeu va de (1) à (6) soit de « PION » à « ROI ». Lorsqu'un roi est mis en échec, la led « ROI » s'allume, même si aucun roi n'a bougé.

## Sélection du coup à jouer

Lorsque vous voulez jouer, vous devez indiquer à l'ordinateur que vous voulez choisir le point de départ en appuyant sur « VALID » (ou « UP »). Une case de l'échiquier s'allume alors et vous pouvez vous déplacer sur l'échiquier avec les touches « UP » et « BACK », mais uniquement sur les cases occupées par une pièce de votre couleur.

Un second appui sur « VALID » permet de choisir la case de destination et le déplacement entre les destinations possibles. Un troisième appui sur « VALID » confirme le mouvement, et l'ordinateur commence alors à réfléchir.

Les leds indiquant la couleur à jouer sont modifiées. Il y a donc toujours une led « NOIRS » ou « BLANCS » allumée indiquant le côté à jouer. Dans le cas du roque il faut uniquement déplacer le « ROI ».

Lorsque la partie se termine par un mat, la led « ROI/ECHEC » clignote avec la led du côté mis en échec. L'ordinateur joue alors un air de musique en fonction de son humeur. Dans le cas d'une partie nulle (pat), les leds « NOIRS » et « BLANCS » clignent en alternance.

## Rôle des boutons poussoirs

- « **ON/OFF** » un appui court permet d'allumer ou d'éteindre le jeu. Dans tous les cas, la partie en cours est sauvegardée dans la mémoire EEPROM du contrôleur. Pour démarrer une nouvelle partie à zéro, il faut appuyer sur « ON/OFF » pendant trois secondes jusqu'à ce qu'une petite musique retentisse. Toutes les colonnes de l'échiquier s'allument alors en faisant un chenillard, c'est le signe que l'on reprend une nouvelle partie.

- « **LEVEL** » permet de changer le niveau de jeu de (1) à (6), toujours avec les touches « UP » et « BACK ». Par défaut à (4) au départ d'une nouvelle partie, le niveau apparaît en fonction de la led de la pièce allumée. Le niveau (1) allume la led « PION », le niveau (6) allume la led « ROI ». Le réglage est ensuite validé dès que l'on appuie sur « LEVEL » ou « VALID ». Le niveau correspond au nombre de coups anticipés de (1) à (6), le temps de calcul y est donc directement proportionnel et peut très vite augmenter. Il n'est pourtant jamais tout à fait le même puisqu'il dépend du nombre de pièces jouables et de la présence ou non de coups très importants.

La phase la plus longue est généralement celle qui suit les premiers coups d'ouverture.

- « **SOUND** » active ou désactive le buzzer. Un son grave est émis lorsqu'on désactive les effets sonores.

- « **MOVE** » pousse l'ordinateur à jouer. Cela permet de changer de côté et de jouer avec les « NOIRS » ou simplement de voir ce que ferait l'ordinateur à votre place en revenant un coup en arrière par la suite.

- « **SETUP** » pour entrer dans le mode édition des pièces (ou vérification). Dans ce mode, la case en cours de modification se met à clignoter rapidement. Toutes les cases de



l'échiquier sont cette fois accessibles avec « UP » et « BACK », même les vides ou celles de l'adversaire. Un déplacement accéléré est possible lorsque l'on maintient une de ces deux touches assez longtemps.

La touche « LEVEL » permet alors de changer la pièce présente sur la case en cours, en passant alternativement de « vide » à « ROI », « vide », etc.

La touche « VALID » vide directement la case. Dans le cas où un changement est impossible (par exemple si on passe de « PION » à « CAVALIER » avec deux cavaliers déjà présents), la case passe à la valeur suivante (« FOU » dans notre exemple). Et si l'échiquier est déjà complet, une promotion provoque le vidage de la case.

La touche « MOVE » permet d'échanger la couleur des pièces en cours de sélection.

Enfin « SETUP » quitte le mode édition. L'ordinateur contrôle alors qu'il y

a bien deux « ROIS » en présence.

À chaque instant, les leds de contrôle doivent vous indiquer le type de pièce (si il y en a une) sur la case cliquant.

- « BACK » permet d'annuler le dernier coup, et change donc le côté à jouer. Le dernier mouvement est alors représenté en sens inverse. Une éventuelle pièce prise est également signalée et validée par un second appui sur « VALID ».

Il est possible de stopper la réflexion de l'ordinateur pour rejouer un coup douteux. Mais il ne faut pas que ceci devienne une habitude.

L'ordinateur conserve l'historique des cent derniers coups, pas plus.

## A vous de jouer !

Maintenant vous savez tout. Concernant un tel projet, nous considérons que six mois de mise au point ne sont

qu'un début. On peut, en effet, passer des années à améliorer les choses. C'est pourquoi l'auteur reste à l'écoute des remarques constructives au sujet d'éventuelles améliorations ou clarifications concernant le programme. En attendant, il convient de mater la bête !

**G. SAMBLANCAT**  
g.samblancat@free.fr

## Pour en savoir plus...

### Liens échiquéens

- <http://www.tckerrigan.com/Chess/TSCP>  
Le site de « Tom Simple Chess Program » (de Tom Kerrigan) sur lequel notre logiciel est basé.

- <http://www.echecs.asso.fr>

Site de la Fédération française d'échecs à l'on trouve les règles officielles en plus de l'actualité.

- <http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89checs>

Plus qu'une simple définition, on trouve sur Wikipedia les origines du jeu et les débuts de parties les plus connus.

- [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lagage\\_alpha-beta](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lagage_alpha-beta)

Un peu de théorie sur les méthodes de recherche utilisées par les ordinateurs d'échecs.

- <http://www.variantes.com>

Grand choix d'échiquiers et de pièces en bois à tous les prix.

### Liens Microcontrôleur

- <http://www.jelectronique.com/modules/news/article.php?storyid=56>

Schéma de module ICD2 à faire soi-même.

- <http://stolz.de.be/>

Idem, mais en anglais.

- <http://fr.farnell.com>

Fournisseur de composants et des DSPIC30F.

- <http://www.microchip.com>

Le site officiel du fabricant et également fournisseur de notre microcontrôleur.

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

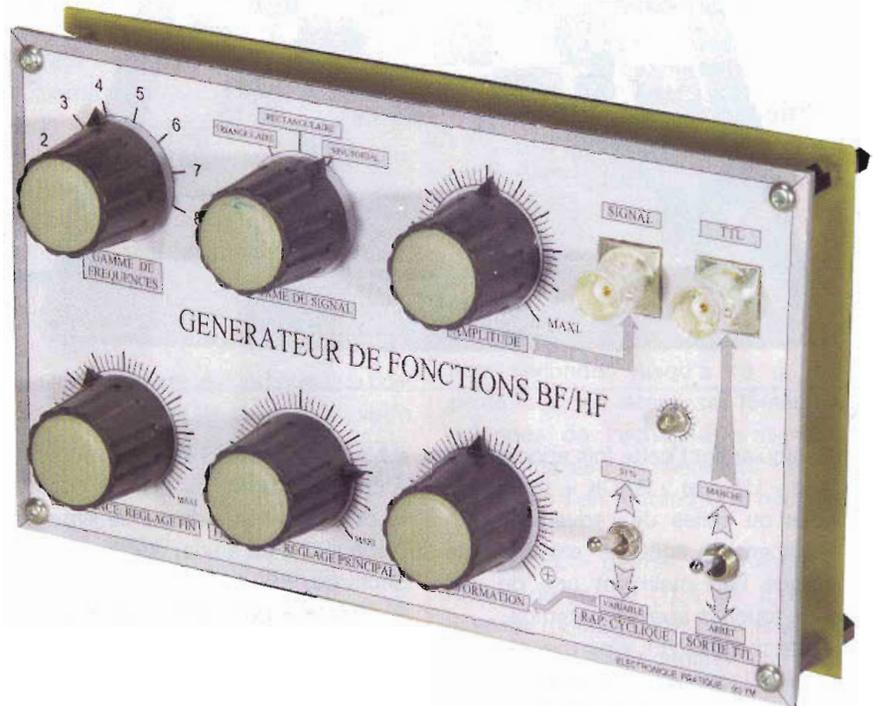
- "Technologie pooling" à prix attractifs
- de 1 à 8 couches
- de 1 à 1000 pièces
- délais à partir de 3 jours ouvrés

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

# Générateur de fonctions BF/HF

Pour les nostalgiques de cette époque où l'électronique était une discipline magique, *Électronique Pratique* a sélectionné des circuits intégrés obsolètes, mais encore disponibles en grande quantité et offrant les applications les plus attrayantes. Cet article, consacré au circuit intégré MAX038, intègre toute l'électronique pour réaliser un générateur de fonctions précis.



**C**e générateur de fonctions BF/HF est capable de monter allègrement à 20 MHz en produisant les trois formes d'ondes de base : triangulaire, rectangulaire et sinusoïdale. La déformation de celles-ci permet d'obtenir des dents de scie ou des impulsions en faisant varier le rapport cyclique du signal rectangulaire. La **figure 1** donne le schéma interne de

ce composant par blocs de fonctions. Notre réalisation très compacte supprime totalement les câblages externes, sources d'erreurs et de parasitages.

Deux sorties sont disponibles :

- « SIGNAL » offre les trois formes d'ondes avec une amplitude variable
- « TTL » donne une forme bien rectangulaire de 5 V, sous un rapport cyclique invariable de 50 %.

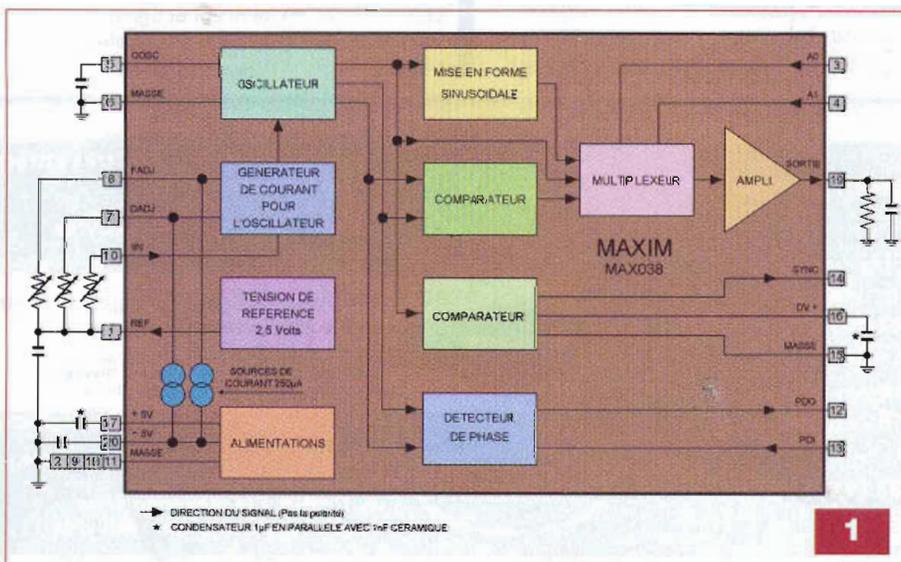
## Schéma de principe

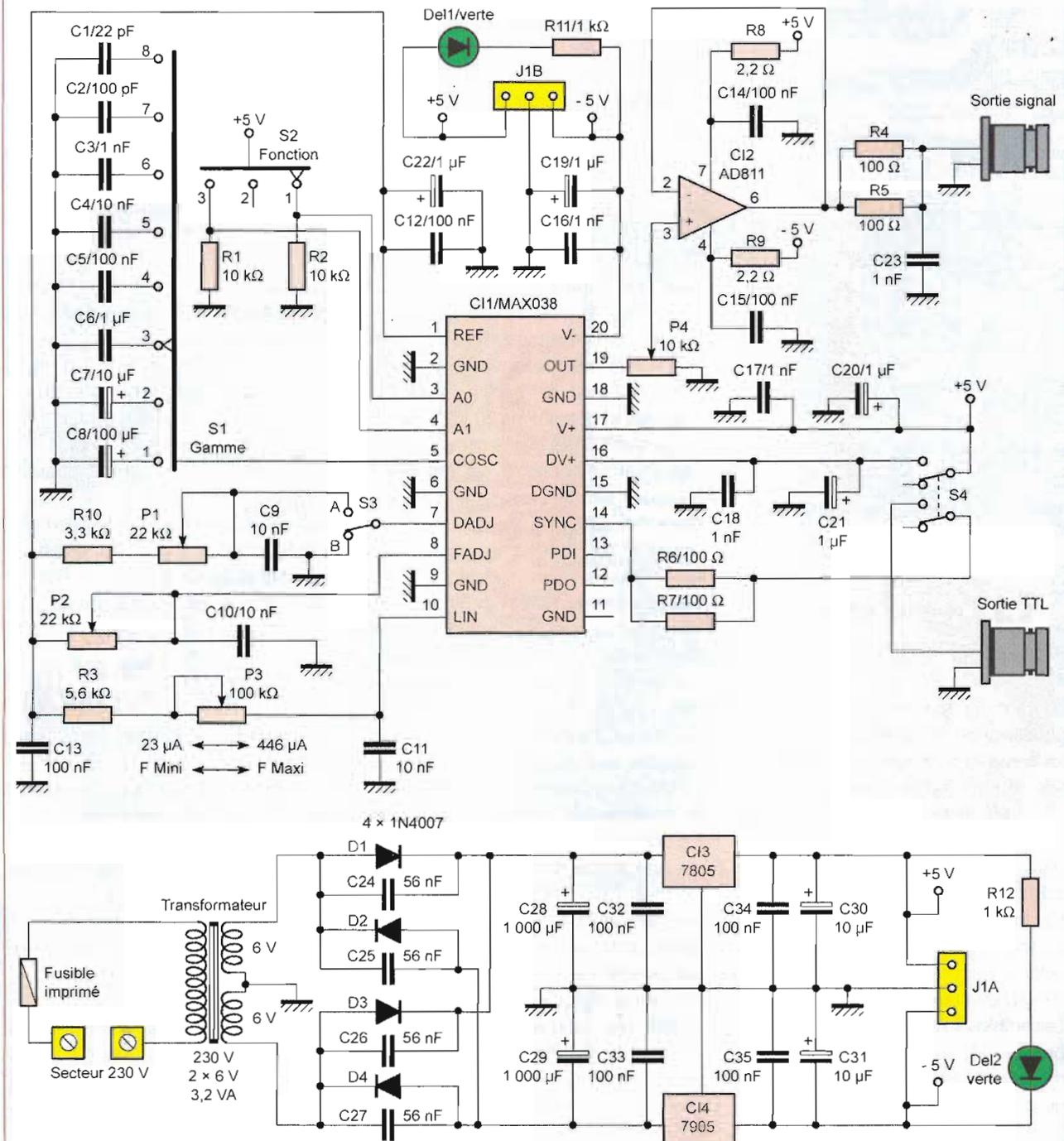
Le schéma de la **figure 2** permet de suivre cette étude. Comme précisé ci-dessus, peu de composants entourent CI1, le circuit MAX038.

Nous avons conçu cet appareil avec un souci de simplicité, sans pour autant limiter sa fiabilité, en nous inspirant de la notice de la société Maxim, fabricant du MAX038.

Le circuit produit sa propre référence de tension, fixée très précisément à 2,5 V. Elle est utilisée pour paramétrer le générateur en l'appliquant sur certaines broches, après modification de son courant par le biais de potentiomètres utilisés en résistances ajustables. Cette tension est découplée par les condensateurs C12, C13 et C22.

Le commutateur rotatif S1 sélectionne un condensateur parmi C1 à C8 afin de déterminer une gamme de fréquences comprises entre 0,1 Hz et 20 MHz. Le potentiomètre P3 et la résistance « talon » R3 font varier le courant de la référence de tension pour attaquer la broche (10) « LIN » dans le but d'ajuster la fréquence.

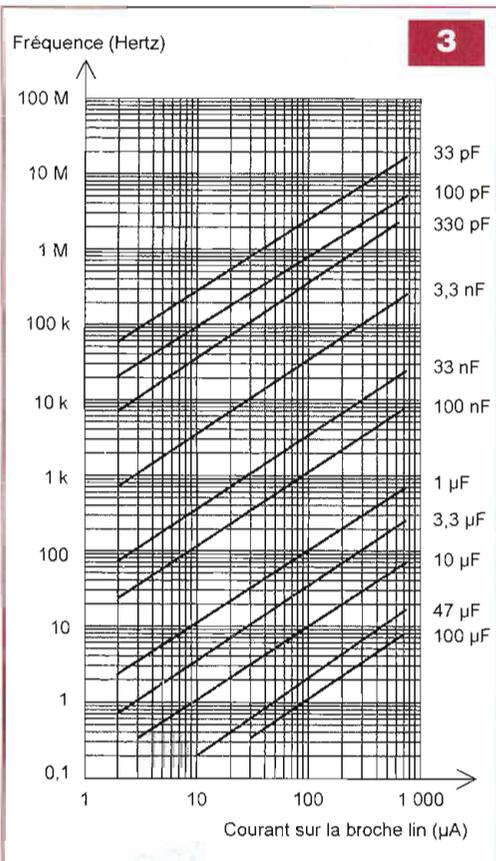




Comme préconisé par le constructeur, nous travaillons dans une gamme d'intensités comprises entre 25  $\mu\text{A}$  et 445  $\mu\text{A}$ . Le potentiomètre P2, selon le même principe, agit sur la broche (8) « FADJ » et sert à affiner le réglage de la fréquence précédemment définie par P3. Une dernière entrée « DADJ », broche (7), com-

mandée par le potentiomètre P1 et la résistance « talon » R10, joue sur le rapport cyclique ou la déformation du signal. Cette fonction permet d'obtenir des dents de scie à partir de la forme triangulaire, des impulsions à base du signal rectangulaire et de modifier la symétrie des sinusoïdes. L'inverseur S3 inhibe ce réglage et

fixe le rapport cyclique à 50 % en reliant la broche (7) à la masse. Les condensateurs C9, C10 et C11 découplent les tensions des réglages au plus près des potentiomètres. La **figure 3** montre l'abaque émanant de la notice du fabricant du MAX038. Sur celui-ci, vous pouvez déduire la fréquence obtenue en fonction du



courant sur la broche « LIN » et du condensateur sélectionné sur « COSC ». Le **tableau 1** donne, à titre indicatif, les fréquences ainsi obtenues avec notre choix de condensateurs. Ces valeurs varient en fonction de la tolérance et de la qualité des composants.

La forme du signal est définie en agissant sur le multiplexeur interne selon un code binaire à deux bits au moyen du commutateur S2.

Les entrées « A0 », broche (3) et « A1 », broche (4) sont maintenues à la masse via les résistances R1 et R2, quand S2 est sur la position 2. Dans

les deux autres cas, une des entrées est forcée au potentiel positif.

Comme précisé ci-dessus, en actionnant S2 et S3 conjointement avec le potentiomètre P1, il est possible d'obtenir cinq formes de signaux.

Le **tableau 2** indique toutes les possibilités.

La consommation en courant sur la sortie du circuit MAX038, broche (19) ne peut excéder quelques milliampères; de plus, elle ne supporte pas un court-circuit durant plus de quelques secondes. Afin d'éviter la destruction accidentelle de C11, il faut utiliser un amplificateur opérationnel rencontré habituellement en vidéo (C12) et dont la bande passante dépasse largement les 20 MHz. Notre choix s'est porté sur le circuit AD811 largement distribué. Il est monté en « suiveur non inverseur » afin de restituer fidèlement le signal. Le potentiomètre P4 permet de régler son amplitude.

Les résistances R4 et R5, montées en parallèle, adaptent l'impédance de sortie à 50 Ω. Le condensateur céramique C23 supprime les éventuels bruits parasites.

Les lignes d'alimentations, positive et négative de C12, sont découplées au moyen des résistances R8, R9 et des condensateurs C14 et C15.

La sortie « SYNC », broche (14) fournit une forme d'onde conforme aux normes TTL. Comme ci-dessus, les résistances R6 et R7 adaptent l'impédance à 50 Ω. L'interrupteur double S4 permet de couper l'alimentation de l'étage digital et la sortie TTL pour éviter les interférences parasites lorsque la fonction sinusoïdale est sélectionnée.

Les condensateurs C16 à C21

découplent les alimentations positives (V+ et DV+) et négative (V-), au plus près du MAX038.

L'alimentation séparée reste très classique, mais offre un filtrage efficace. Elle fait appel à un transformateur moulé à deux enroulements secondaires de 3,2 VA.

Le fusible est directement gravé sur le circuit imprimé. S'il fond, il suffit de déposer une légère goutte de soudu- re sur l'emplacement suivant.

Les diodes D1 à D4 redressent les deux tensions, positive et négative, la masse étant obtenue au point milieu des deux enroulements.

Les condensateurs C24 à C27 épu- rent le courant de chaque diode. Les condensateurs C28 à C35 filtrent et découplent les tensions au plus près des régulateurs fixes de 5 V, positif et négatif.

Deux visualisations de la tension sont installées, l'une sur le bloc d'alimen- tation constituée de R12 et Del2 et l'autre sur le générateur à l'aide de R11 et Del1.

## Réalisation

Nous avons conçu un seul circuit imprimé qu'il convient de couper juste après la gravure pour séparer le générateur de son alimentation.

Le dessin du typon est donné en **figure 4** en vue de son transfert selon la méthode photographique.

Il est vivement recommandé de réunir tous les composants afin de détermi- ner les diamètres des perçages.

Percer, dans un premier temps, tous les trous avec un foret de 0,8 mm, puis aléser certains trous (commu- teurs, borniers, inverseurs, régula- teurs, etc.) au diamètre convenable.

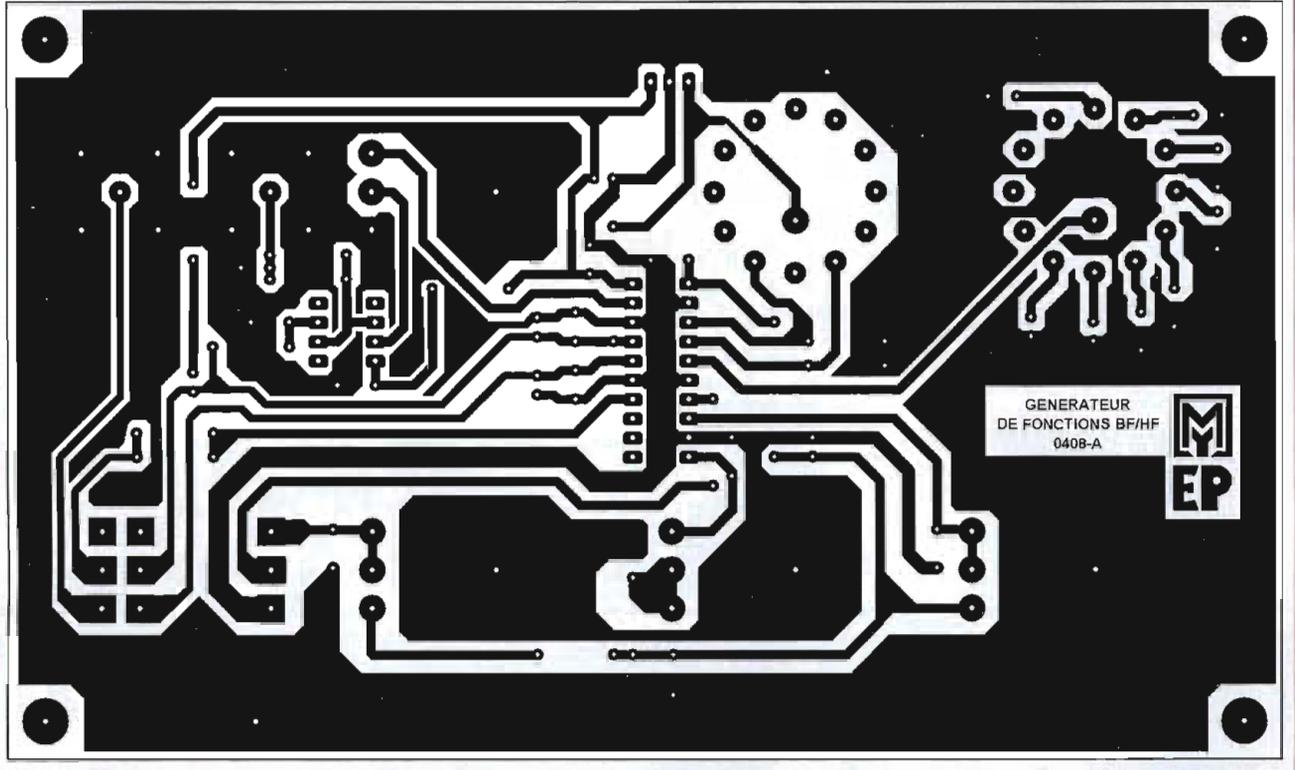
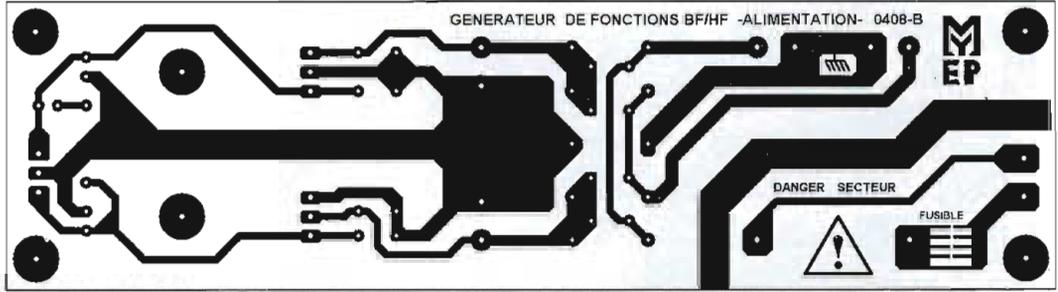
GAMME (S1)	FRÉQUENCE MIN.	FRÉQUENCE MAX.
1	100 µF	0,2 Hz
2	10 µF	2 Hz
3	1 µF	20 Hz
4	100 nF	200 Hz
5	10 nF	2 kHz
6	1 nF	20 kHz
7	100 pF	200 kHz
8	22 pF	1 MHz

Tableau 1

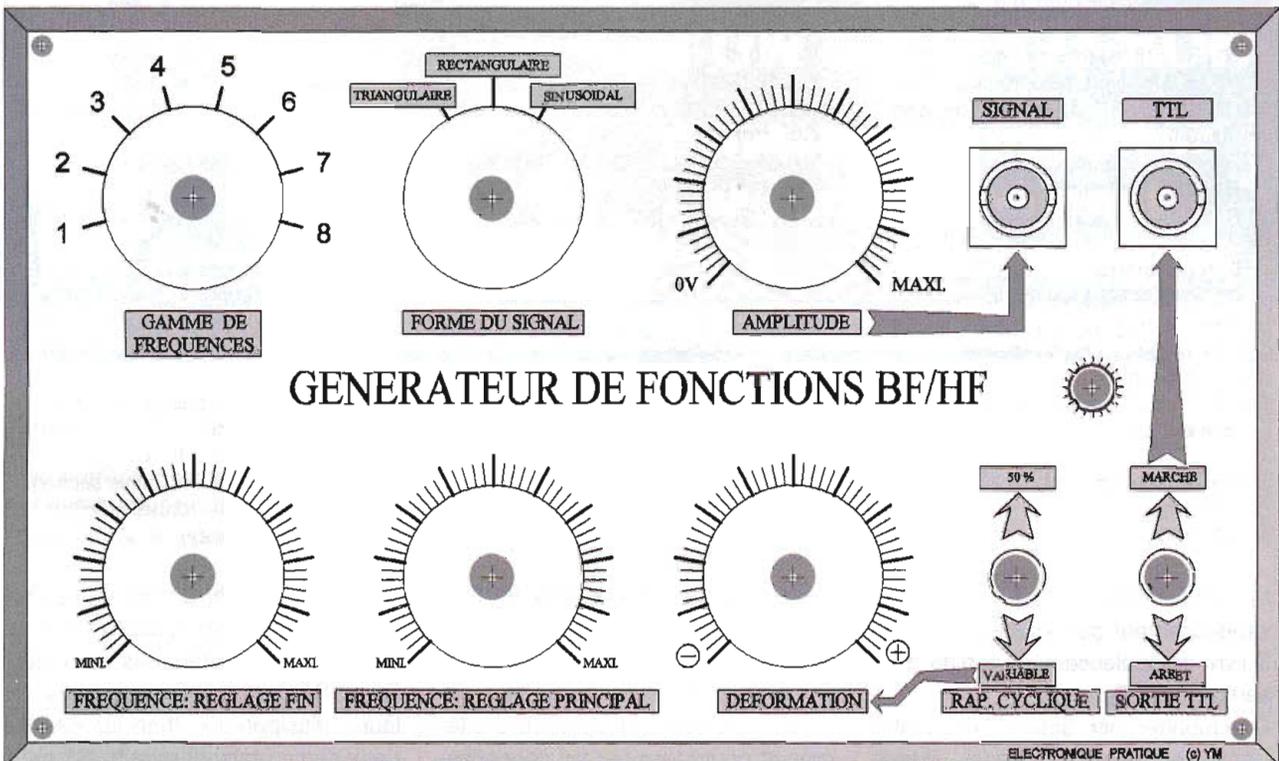
A0	A1	S2	S3	FORME
+5V	MASSE	1	B	TRIANGULAIRE
MASSE	MASSE	2	B	RECTANGULAIRE
MASSE	+5V	3	B	SINUSOÏDALE
+5V	MASSE	1	A	DENTS DE SCIE
MASSE	MASSE	2	A	IMPULSIONS

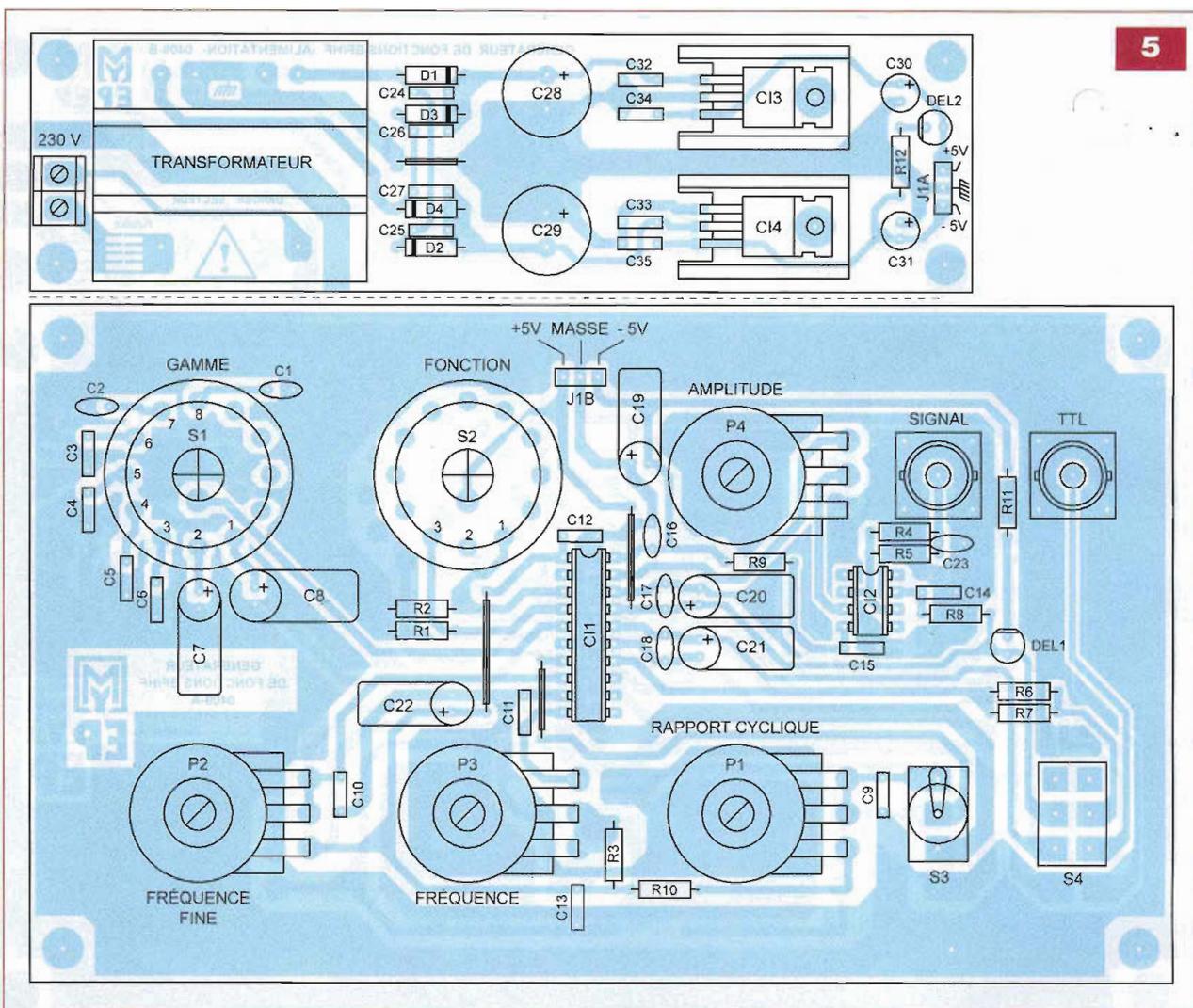
Tableau 2

4



6





## Nomenclature

### Résistances 5 %

R1, R2 : 10 k $\Omega$  (marron, noir, orange)  
 R3 : 5,6 k $\Omega$  (vert, bleu, rouge)  
 R4, R5, R6, R7 : 100  $\Omega$  (marron, noir, marron)  
 R8, R9 : 2,2  $\Omega$  (rouge, rouge, or)  
 R10 : 3,3 k $\Omega$  (orange, orange, rouge)  
 R11, R12 : 1 k $\Omega$  (marron, noir, rouge)

### Potentiomètres

P1, P2 : 22 k $\Omega$  à courbe linéaire (axe  $\varnothing$  6 mm)  
 P3 : 100 k $\Omega$  à courbe linéaire (axe  $\varnothing$  6 mm)  
 P4 : 10 k $\Omega$  à courbe linéaire (axe  $\varnothing$  6 mm)

### Condensateurs

C1 : 22 pF  
 C2 : 100 pF

C3, C16, C17, C18, C23 : 1 nF  
 C4 : 10 nF  
 C5, C12, C13, C14, C15, C32, C33, C34, C35 : 100 nF  
 C6 : 1  $\mu$ F  
 C7, C9, C10, C11, C30, C31 : 10  $\mu$ F/25 V  
 C8 : 100  $\mu$ F/25 V  
 C19, C20, C21, C22 : 2,2  $\mu$ F/25 V  
 C24, C25, C26, C27 : 47 à 68 nF  
 C28, C29 : 1 000 à 2 200  $\mu$ F/25 V

### Semiconducteurs

C11 : MAX038 (Saint-Quentin Radio ou Lextronic)  
 C12 : AD811 (Saint-Quentin Radio)  
 C13 : 7805  
 C14 : 7905  
 D1 à D4 : 1N4007  
 Del1, Del2 : leds verts 5 mm

### Divers

1 support de C.I. à 20 broches  
 1 support de C.I. à 8 broches  
 2 embases BNC femelles 50  $\Omega$  pour circuit imprimé  
 2 commutateurs rotatifs 1 circuit/12 positions  
 1 inverseur 1 circuit/2 positions stables pour circuit imprimé  
 1 inverseur 2 circuits/2 positions stables pour circuit imprimé  
 1 transformateur moulé 3,2 VA, 2 x 6 V  
 2 dissipateurs thermiques type ML26 pour TO220  
 1 bornier à 2 vis au pas de 2,54 mm pour circuit imprimé  
 6 boutons pour axe  $\varnothing$  6 mm  
 Fils souples (3 couleurs, faible section)  
 Visserie (vis, écrous, rondelles, entretoises filetées  $\varnothing$  3 mm)

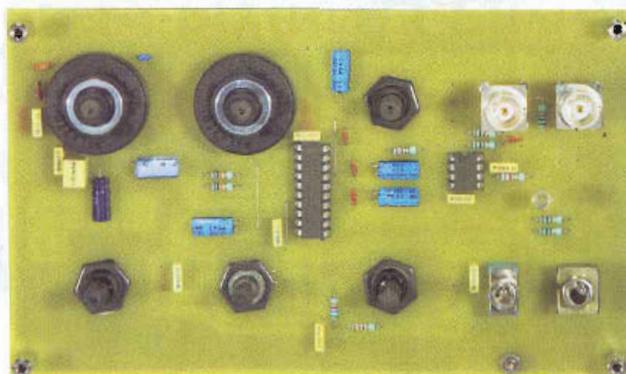
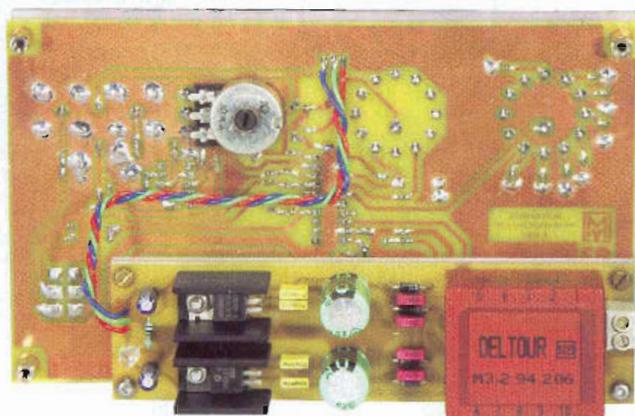
Le travail de câblage s'effectue simultanément sur les deux circuits. Suivre scrupuleusement le plan d'insertion de la **figure 5**.

Commencer par souder les quatre ponts de liaisons (straps). Placer

ensuite les pièces selon l'ordre bien précis préconisé, dicté essentiellement par leurs dimensions.

Débuter par les résistances, les diodes, les supports de circuits intégrés et poursuivre par les condensa-

teurs céramiques, au mylar, électrochimiques **montés couchés** sur la platine du générateur, les inverseurs S3 et S4, les régulateurs vissés sur leurs dissipateurs thermiques, les deux commutateurs rotatifs (S1 réglé



sur huit positions et S2 sur trois positions), les quatre potentiomètres, le transformateur moulé et, enfin, les Dels, puis les deux embases BNC rehaussées et bien alignées avec les autres organes de commandes.

Les deux platines sont raccordées entre elles au moyen de trois fils torsadés de trois couleurs différentes; respecter les polarités.

Dès le montage terminé, contrôler avec soin l'état des pistes du circuit imprimé, la valeur et le sens des composants polarisés. Sans insérer les

circuits intégrés, procéder à un essai afin de contrôler la présence et la valeur des tensions.

La platine d'alimentation peut se fixer sous le circuit du générateur et à l'aide d'entretoises filetées. Prendre auparavant la précaution indispensable de protéger les pistes soumises au potentiel du secteur avec une plaque isolante (plastique, plexiglas, carton, etc.).

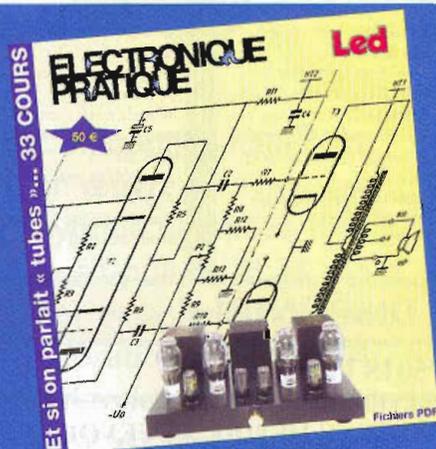
Afin de donner à cet appareil une esthétique et un aspect professionnels, nous proposons, en **figure 6**, le

dessin à l'échelle 1:1 d'une face avant conçue à l'aide du logiciel FrontDesigner commercialisé par Lextronic à un prix très abordable.

Y. MERGY

### ATTENTION !

Cet appareil comporte une section présentant un GRAND DANGER car exposée au potentiel de la tension du secteur. Il est impératif de l'enfermer dans un boîtier isolant en plastique pour votre sécurité et celle de vos proches.



## Et si on parlait tubes...

# 33 COURS EN UN SEUL CD-ROM

## Connaître et maîtriser le fonctionnement des tubes électroniques

Bon à retourner à : TRANSOCÉANIC - 3, boulevard Ney 75108 Paris - France

- Oui, je désire recevoir le CD complet 33 premiers cours (fichiers PDF) « Et si on parlait tubes... »  
France : 50 € Union européenne : 52 € Autres destinations : 53 €
- Je préfère recevoir le CD 22 cours (fichiers PDF) « Et si on parlait tubes... » faisant suite au CD de 11 cours précédemment proposé.  
France : 30 € Union européenne : 32 € Autres pays : 33 €
- J'envoie mon règlement
  - par chèque joint à l'ordre de Transocéanic
  - par virement bancaire (IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445/BIC : CCFRFRPP)

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal :

Ville-Pays :

Tél. ou e-mail :

# AMPLIFICATEUR HYBRIDE Push-Pull de EL95



Cet amplificateur met en œuvre un système hybride composé d'un push-pull de EL95 piloté par deux amplificateurs opérationnels OPA604. Il développe une puissance de 2 x 7 Weff, sa bande passante s'étend de 30 Hz à 25 kHz à -1dB. Cette réalisation accepte également un push-pull de EL90, 6AQ5 ou 6005 qui développe 2 x 10 Weff.

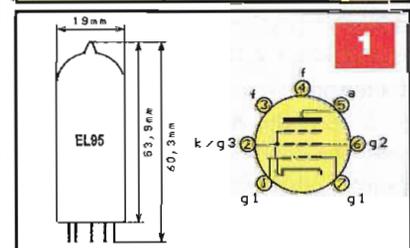
**P**résenté sous une réalisation très compacte, ce push-pull de EL95 permet de sonoriser confortablement une pièce moyenne avec une qualité audiophile.

## Le principe

Nous étudierons un amplificateur équipé de tubes EL95 (figure 1). La pentode EL95 a été conçue pour équiper les meubles « radio » des années 50 et les amplificateurs à faible consommation, comme ceux des magnétophones. Elle fut abondamment utilisée à partir de 1955 par les majors de la hi-fi tels Telefunken, Grundig, Philips, Siemens et leurs sous-marques. L'avantage certain de ce tube par rapport à son challenger, la EL84, réside dans sa faible consommation de chauffage - 200 mA - et sa faible tension d'anode de 200 Vdc à 250 Vdc. Montée en push-pull, elle développe néanmoins 8 W musicaux. Les récepteurs FM Stéréo de la série « Concerto 2550 » et « Opus 2430 » de Telefunken font preuve d'une musicalité inégalée à ce jour et ces appareils se négocient à prix d'or. Si le push-pull est de facture clas-

sique, sa commande est réalisée par deux OPA, comme le montre la figure 2. Un premier OPA/IC1 amplifie le signal d'un facteur de 36 dB, sa sortie pilote directement le premier tube EL95. Le signal de sortie de IC1 est

EL95 - 6DL5	
Filament	6,3 V / 0,2 A
Vak	250 V
Vg2	250 V
Vg1	-9,0 V
Ik	24 mA
Wa	6 W
Ig2	4,5 mA
Wg2 max	1,25 W
$\mu$	5 mA/V
Ri	80 K $\Omega$



ensuite inversé par le deuxième OPA/IC2 de gain unitaire, sa sortie pilote le deuxième tube EL95. Le signal de contre-réaction est injecté dans le pied de la contre-réaction négative de IC1.

## Le schéma

### Le circuit d'entrée

Les deux OPA 604 sont alimentés à partir de la haute tension (**figure 3**). Une résistance de 15 kΩ fait chuter celle-ci à +36 Vdc. IC1 et IC2 consomment chacun 5 mA. La diode zéner absorbe les variations de courant inhérentes aux aléas de l'alimentation non stabilisée. Les OPA 604 sont polarisés à la moitié de la tension d'alimentation par les ponts diviseurs R2-R3 et R11-R12.

Le signal est injecté sur l'entrée « non inverseuse » de IC1 qui fait l'objet d'une double contre-réaction. La première fixe le gain à 66 par le pont diviseur R7-R5, la seconde est issue du signal de sortie de l'amplificateur et réduit le gain global à 6.

La sortie de IC1 pilote la grille de commande de V1 et l'entrée « inverseuse » de IC2. Ce dernier est configuré en gain unitaire inverseur et pilote en opposition de phase la grille de V2. Le condensateur C2 limite la bande passante des drivers à 30 kHz afin d'éviter la saturation des tubes en présence de transitoires.

Le condensateur C6 est indispensable pour écraser les velléités d'oscillation de l'OPA604 dont le taux de contre-réaction en gain unitaire est de l'ordre de 120 dB.

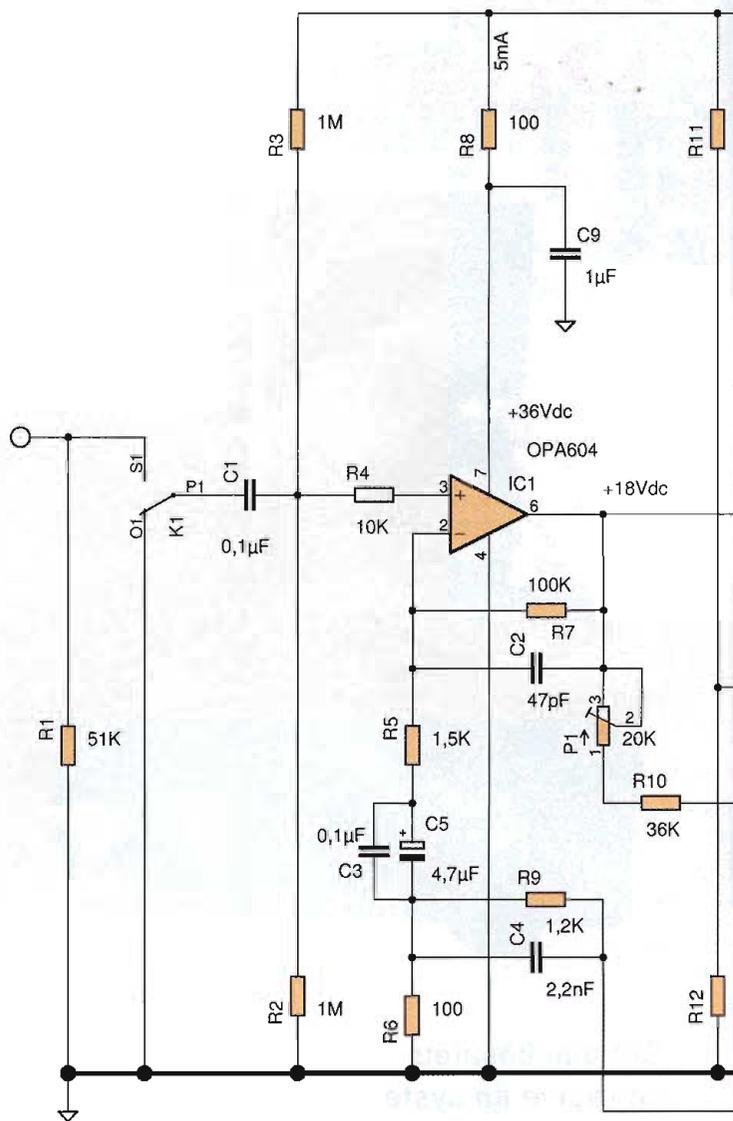
Le potentiomètre P1 ajuste la balance dynamique du push. Son réglage se fait pour un minimum de distorsion à 6 W. Il n'est pas vraiment indispensable et peut même être court-circuité. Dans ce cas, nous placerons une résistance de 47 kΩ en R10.

### Le push-pull

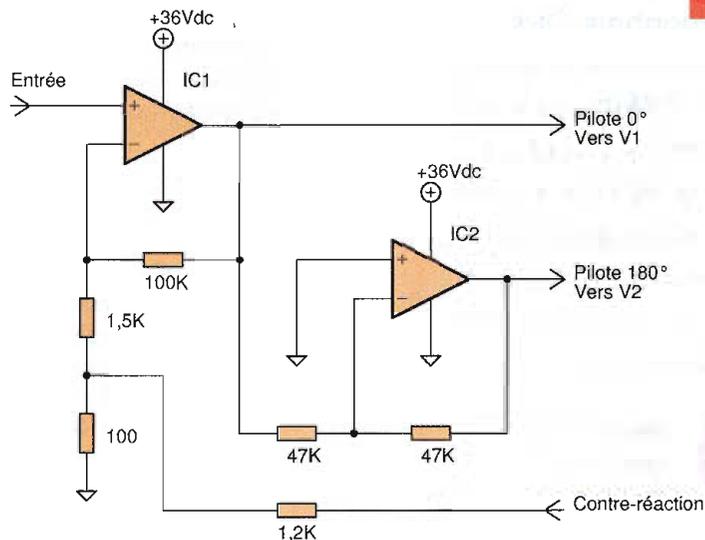
Afin d'éviter de devoir appairer les tubes V1 et V2, nous avons opté pour des résistances de cathodes séparées. La tension  $V_k$  s'établit à +9,5 Vdc.

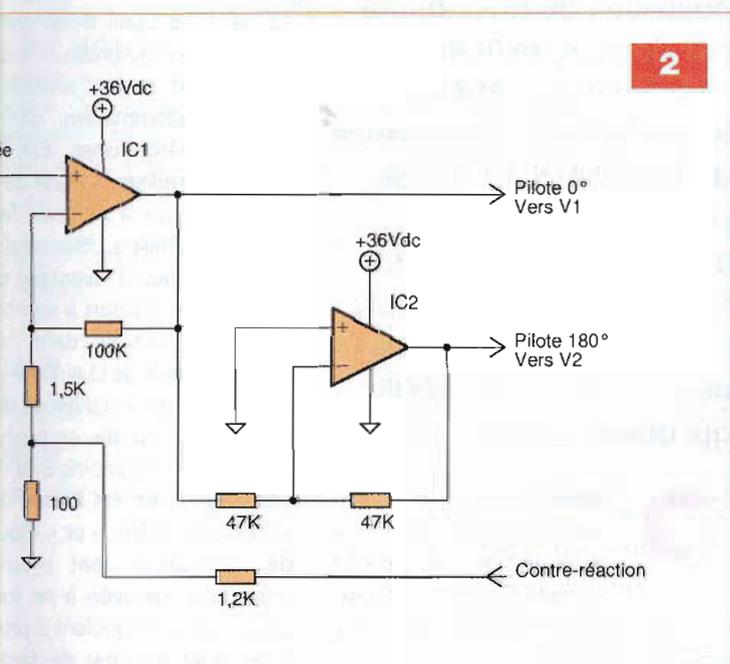
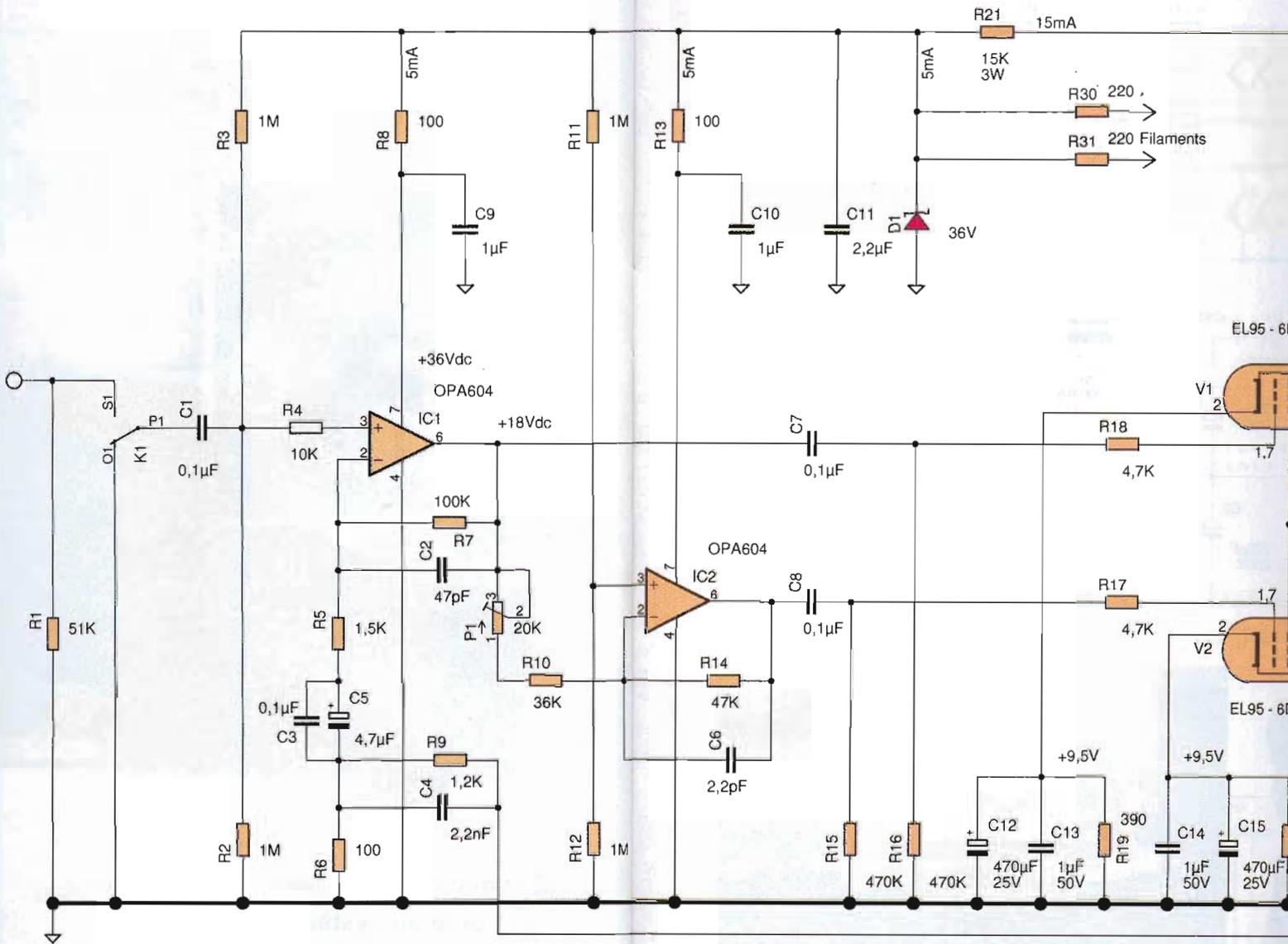
A ce propos, nous avons constaté une constance étonnante dans les points de fonctionnement de ces EL95. La douzaine de tubes que nous possédons est interchangeable sans

3



2





grande variation de polarisation, donc de courant d'anode. Les anodes sont chargées par le transformateur de sortie d'impédance 10 k $\Omega$ . Les grilles « écran » sont reliées directement à la haute tension. Le courant de cathode, autrement dit anode + G2, s'établit à 24,5 mA. Chaque tube dissipe 6 W (anode + G2) et nous fonctionnons en classe AB. A noter également que l'écrêtage se produit de manière assez douce à l'inverse des amplificateurs à semi-conducteurs.

### Le transformateur de sortie

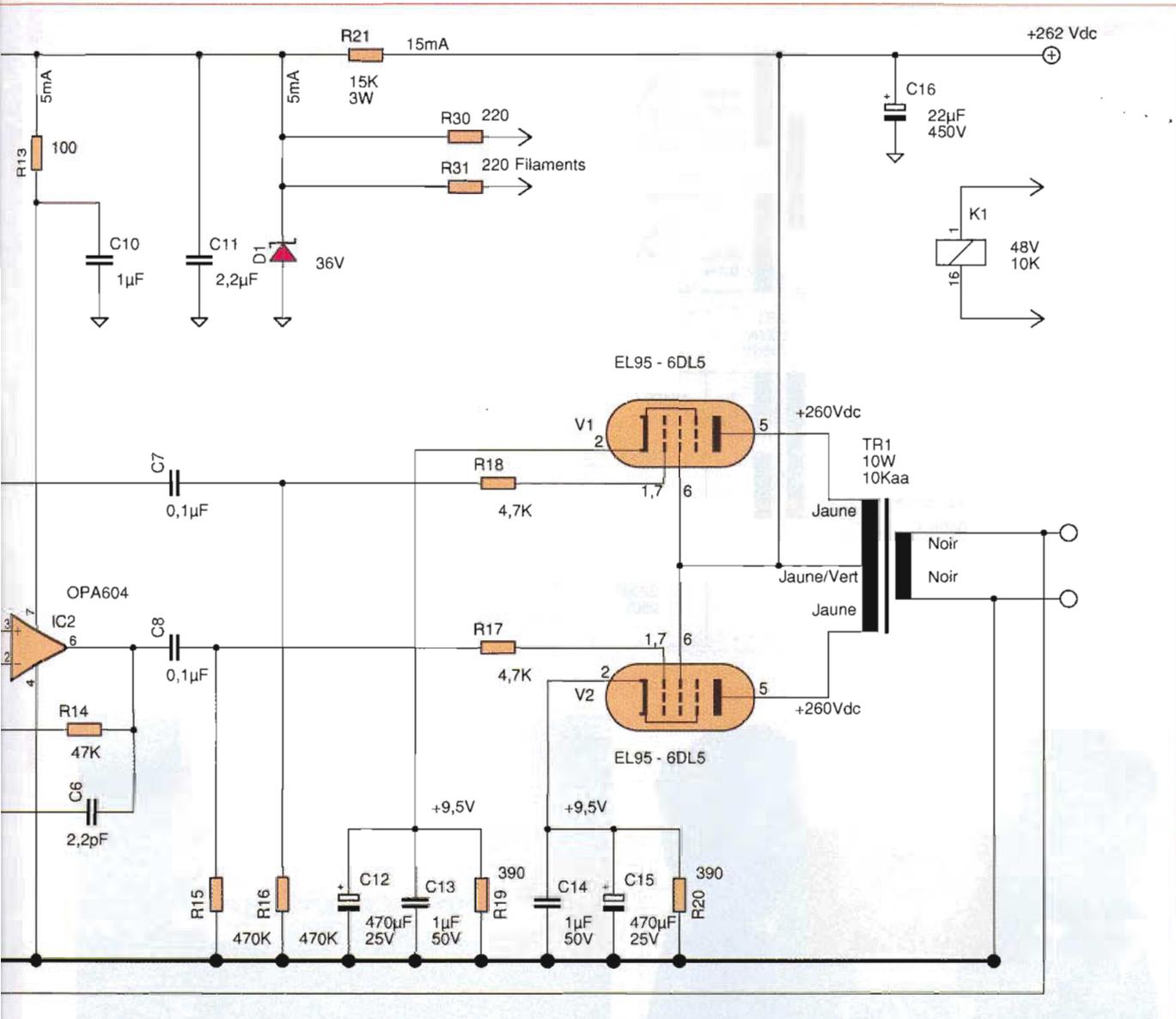
Le transformateur de sortie a une puissance nominale de 10 W. Il n'est pas doté de prises « écran » et possède une unique sortie de 8  $\Omega$ . Son temps de montée s'élève à 6  $\mu$ s.

Il a été développé pour Electra Sud-Ouest.

### La contre-réaction

Le taux de contre-réaction s'élève à 17 dB sans qu'il y ait de « motor-latch » ni de « motor-latch ». Une remarque importante : les étages de sortie des amplificateurs à tubes sont conçus pour être chargés par une impédance de 10 k $\Omega$  dans le cas présent. Cette impédance est abaissée en chargeant la sortie par une impédance de 8  $\Omega$ .

En l'absence de cette contre-réaction, l'amplificateur à tubes peut se révéler instable. Par la contre-réaction, le gain de sortie est abaissé à 17 dB, ce qui porte le facteur d'amortissement à 10.



grande variation de polarisation, donc de courant d'anode. Les anodes sont chargées par le transformateur de sortie d'impédance 10 k $\Omega$ . Les grilles « écran » sont reliées directement à la haute tension. Le courant de cathode, autrement dit anode + G2, s'établit à 24,5 mA. Chaque tube dissipe 6 W (anode + G2) et nous fonctionnons en classe AB.

A noter également que l'écrêtage se produit de manière assez douce à l'inverse des amplificateurs à semi-conducteurs.

### Le transformateur de sortie

Le transformateur de sortie a une puissance nominale de 10 W. Il n'est pas doté de prises « écran » et possède une unique sortie de 8  $\Omega$ . Son temps de montée s'élève à 6  $\mu$ s.

Il a été développé pour ce projet par Electra Sud-Ouest.

### La contre-réaction

Le taux de contre-réaction appliqué s'élève à 17 dB sans qu'il n'y ait d'accrochage ni de « motor-boating ».

**Une remarque importante :** les étages de sortie des amplificateurs à tubes sont conçus pour être chargés par une impédance bien définie, 10 k $\Omega$  dans le cas présent.

Cette impédance est obtenue en chargeant la sortie par une impédance de 8  $\Omega$ .

En l'absence de cette charge, un amplificateur à tubes contre-réactionné peut se révéler instable!

Par la contre-réaction, l'impédance de sortie est abaissée à 1,3  $\Omega$ , ce qui porte le facteur d'amortissement à 6.

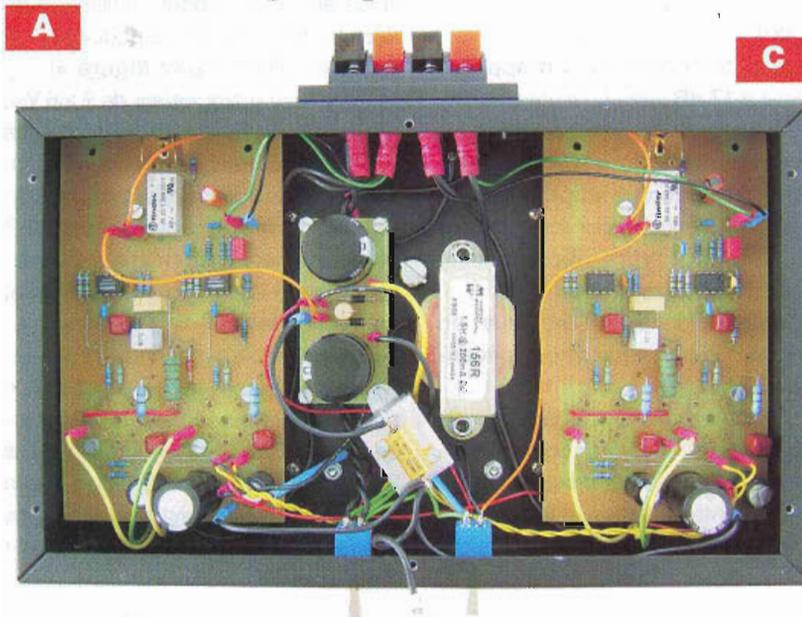
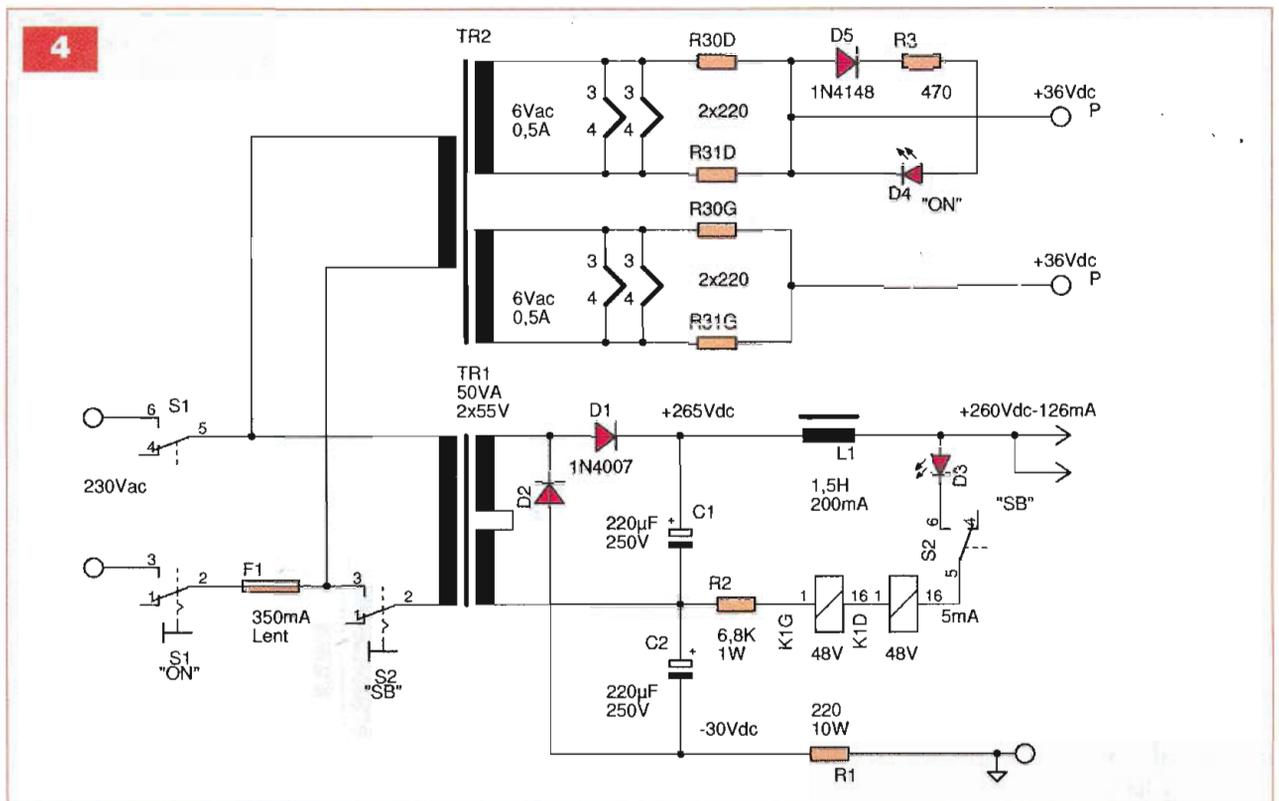
### Le circuit d'alimentation

Nous avons opté pour l'utilisation de deux transformateurs disponibles chez plusieurs distributeurs (figure 4).

Un premier transformateur de 2 x 6 Vac – 500 mA fournit les 2 x 6,3 Vac sous 400 mA pour le chauffage des tubes.

Les filaments sont polarisés par rapport au +36 Vdc de l'alimentation des AOP. Le deuxième transformateur, de modèle torique de 2 x 55 Vac – 450 mA, fournit une tension de 110 Vac.

Le redressement configuré en doubleur de tension « monte » à +290 Vdc pour 235 Vac au secteur. La résistance R1 de 220  $\Omega$  fait chuter la HT à 265 Vdc. Le filtrage est réalisé par la self de 1,5 H, la résistance R1 et les condensateurs de 22  $\mu$ F placés sur chaque carte ampli.



L'ondulation de la HT est de 250 mVpp. La haute tension suit les aléas de la tension secteur. Les mesures ont été réalisées avec une tension secteur stabilisée de 235 Vac. Il importe de ne pas dépasser les +260 Vdc de HT.

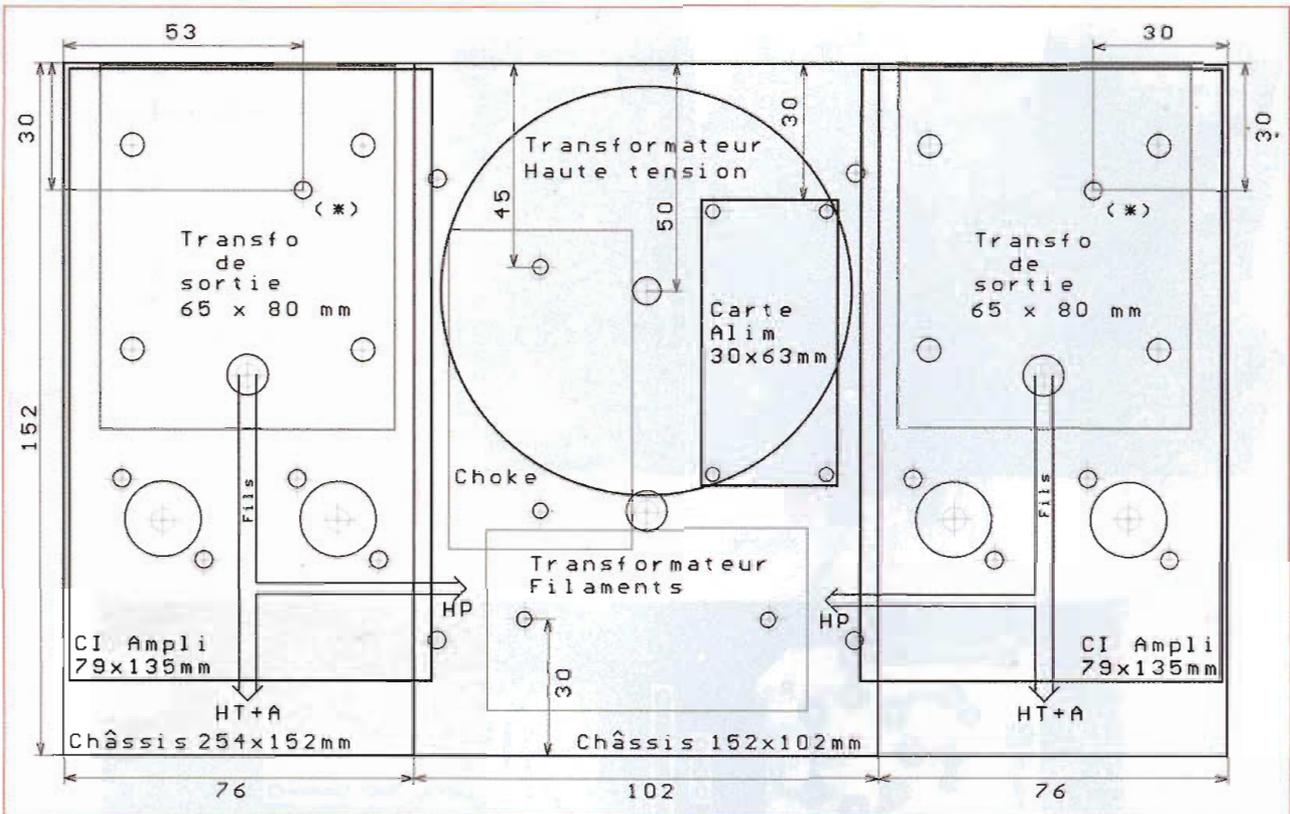
## Mise en œuvre

### Le châssis

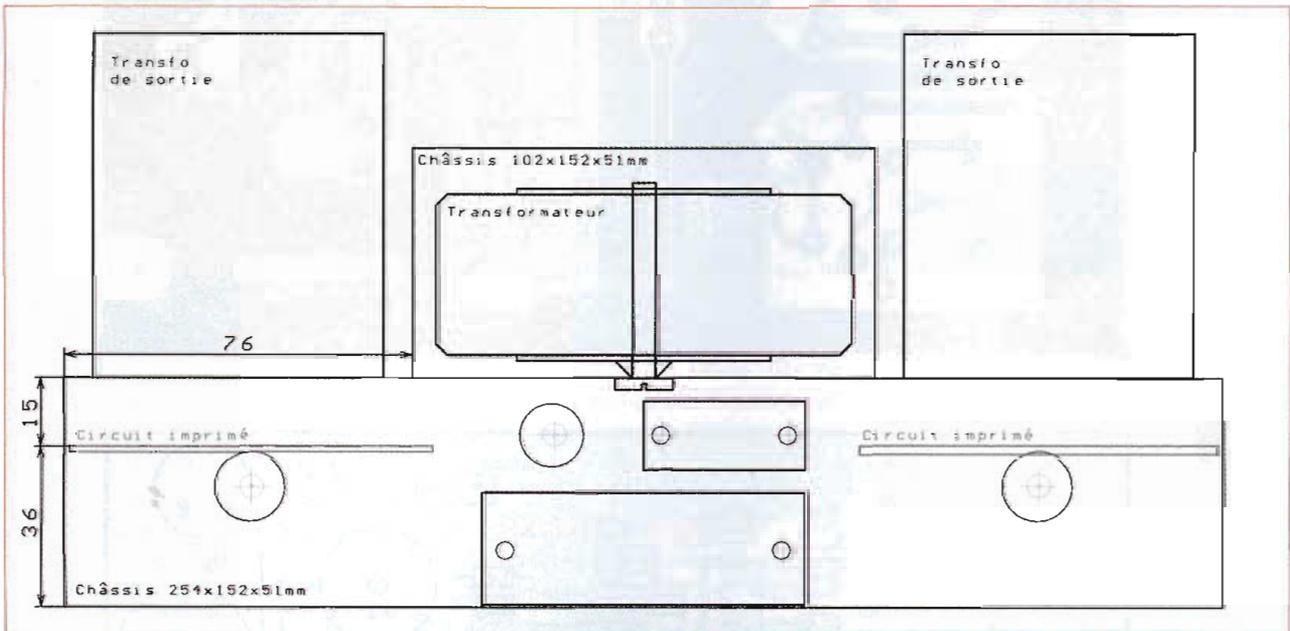
L'assemblage est composé d'un châssis Hammond de 254 x 152 x 51 mm surmonté d'un petit châssis du même fabricant de 152 x 102 x 51 mm.

Il est plus facile de réaliser en premier lieu la partie mécanique en se servant des cartes non câblées et des divers éléments. Les transformateurs d'ali-

5



6



mentation sont fixés sur le dessus du grand châssis et sont protégés par le deuxième petit châssis.

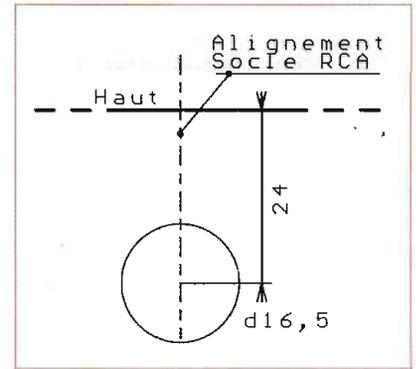
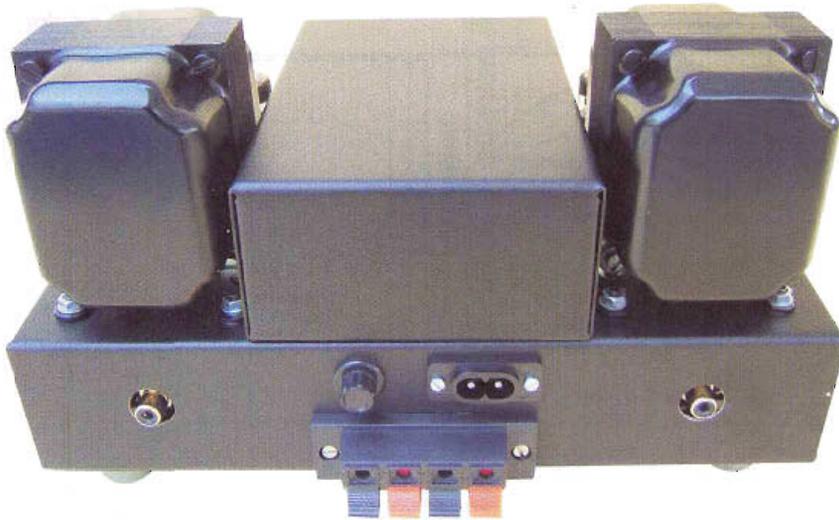
Le petit châssis sera fixé sur le grand en fin de montage par quatre vis autotaraudeuses de 6,5 mm et  $\varnothing$  2,9 mm. Le transformateur d'alimentation torique est fixé à l'aide de deux coupelles.

Celle du bas, montée à l'envers, surélève le transformateur de 5 mm environ, ce qui permet la fermeture du

capot supérieur et le placement des vis de fixation de la carte alimentation et de la self de choc (**figures 5 et 6, photos A et B**). La **photo C** et la figure 5 présentent l'agencement général et les diverses cotes d'usinage. Les cotes de la figure 5 sont relevées à l'extérieur du châssis - vue de haut. Les cotes de placement des deux cartes amplificatrices doivent être marquées et percées avec précision. A cet effet, on commence par percer

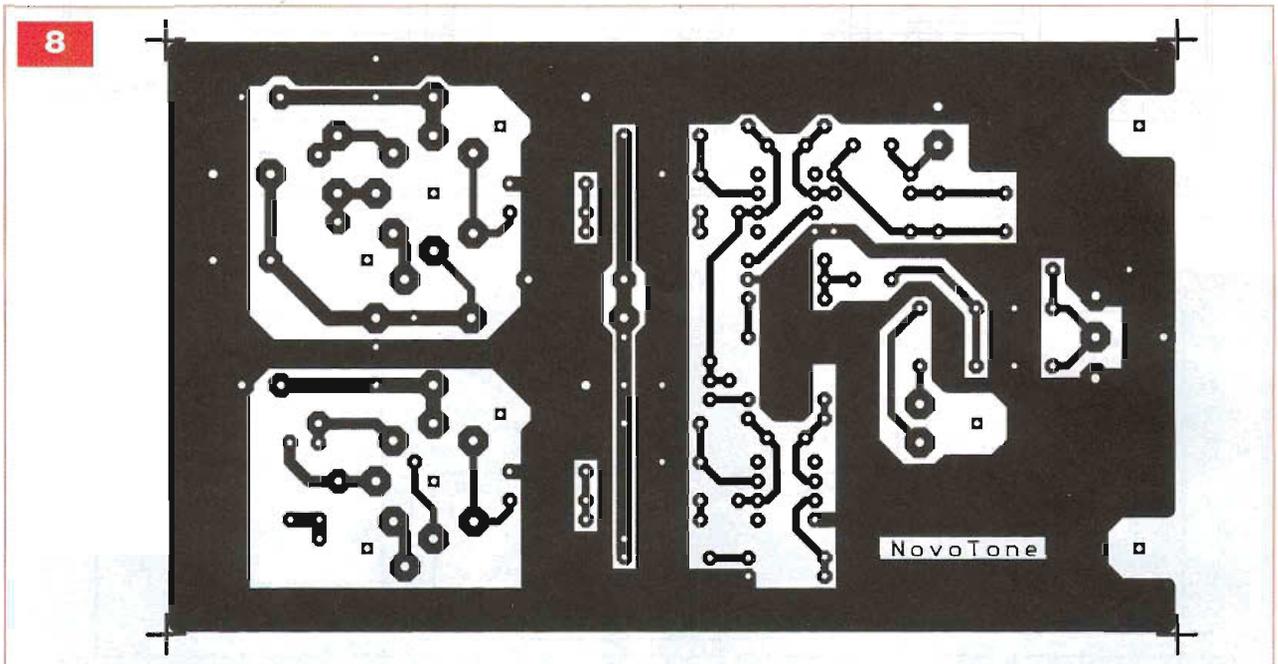
les deux trous marqués d'un astérisque. On y maintient les deux cartes, à l'extérieur et avec le cuivre apparent, bien orthogonalement, puis on perce un deuxième trou afin de les fixer. Les autres trous sont percés en utilisant les cartes comme guides. On marque également l'alignement des deux socles RCA sur la face arrière (**photo D**).

Pour les découpes des culots des tubes, il est préférable d'utiliser un

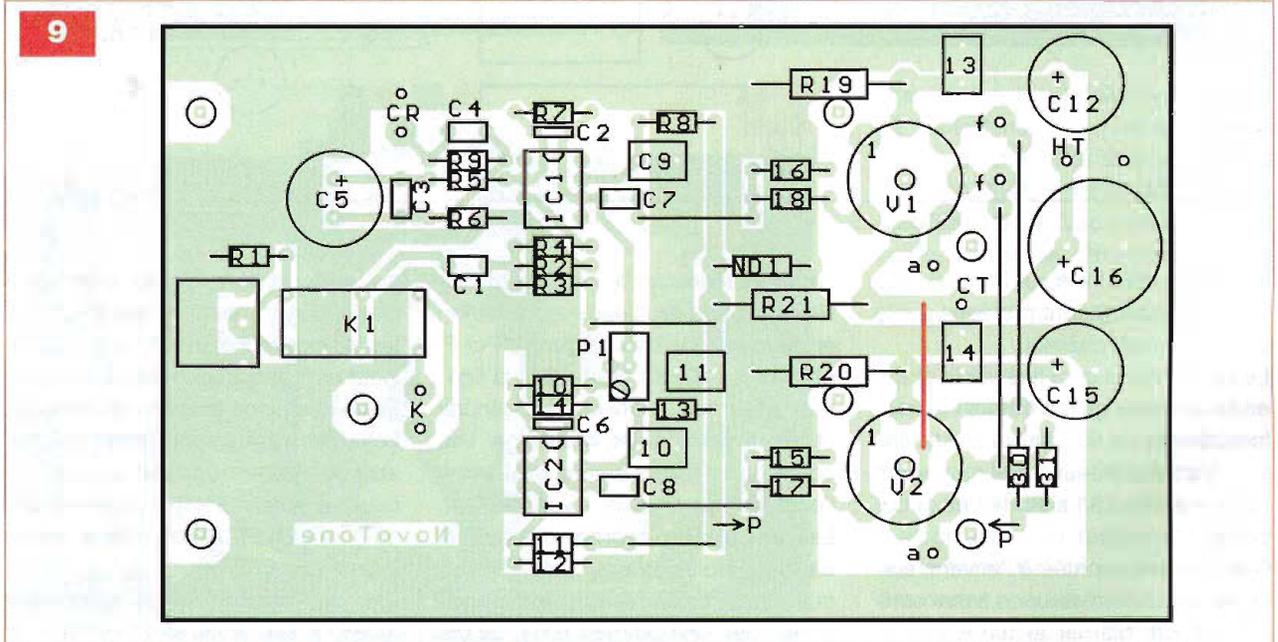


7

D



8



9

## Nomenclature

### MODULE AMPLIFICATEUR

#### Résistances 1/4 W - 1 %

- R1 : 51 k $\Omega$
- R2, R3, R11, R12 : 1 M $\Omega$
- R4 : 10 k $\Omega$
- R5 : 1,5 k $\Omega$
- R6, R8, R13 : 100 $\Omega$
- R7 : 100 k $\Omega$
- R9 : 1,2 k $\Omega$
- R10 : 36 k $\Omega$  (voir texte)
- R14 : 47 k $\Omega$
- R15, R16 : 470 k $\Omega$
- R17, R18 : 4,7 k $\Omega$

#### Résistances

- R19, R20 : 390  $\Omega$  - 1 W - 5 %
- R21 : 15 k $\Omega$  - 3 W - 5 %
- R30, R31 : 220  $\Omega$  - 1/4 W - 5 %

#### Condensateurs

- C1, C3, C7, C8 : 0,1  $\mu$ F/50 V
- C2 : 47 pF/100 V
- C4 : 2,2 nF/50 V
- C5 : 4,7  $\mu$ F/50 V
- C6 : 2,2 pF/100 V
- C9, C10, C13, C14 : 1  $\mu$ F/50 V
- C11 : 2,2  $\mu$ F/50 V
- C12, C15 : 470  $\mu$ F/25 V
- C16 : 22  $\mu$ F/450 V

#### Semiconducteurs

- D1 : zéner 36 V/1,3 W
- IC1, IC2 : OPA604

#### Divers

- K1 : relais 48 V/10 k $\Omega$
- P1 (voir texte) : 22 k $\Omega$ /10 tours vertical
- V1, V2 : EL95

### MODULE ALIMENTATION

#### Résistances

- R1 : 220  $\Omega$  - 10 W - 5 %
- R2 : 6,8 k $\Omega$  - 2 W - 5 %
- R3 : 470  $\Omega$  - 1/2 W - 5 %

#### Condensateurs

- C1, C2 : 220  $\mu$ F/250 V

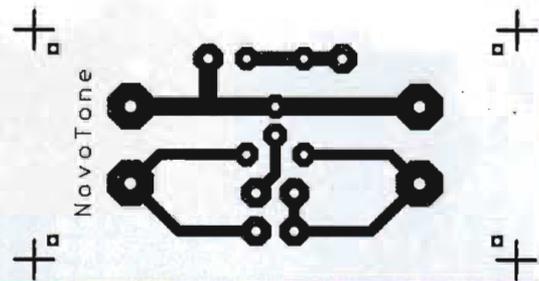
#### Semiconducteurs + Divers

- D1, D2 : 1N4007
- D3, D5 : led
- D4 : 1N4148
- F1 : 315 mA lent

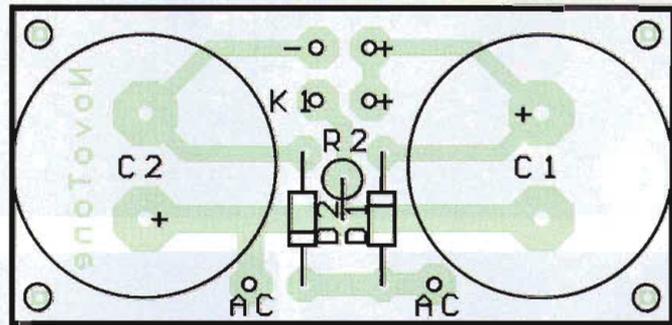
### COMPOSANTS SPÉCIFIQUES

- 1 TR1 230 V - 2 x 55 V - 50 VA torique
- 1 TR2 230 V - 2 x 6 V - 6 VA
- 2 TR1, Transfo audio 10 W, PP10 k $\Omega$
- 1 self 1,5 H/200 mA Hammond 156R
- 1 châssis 254 x 152 x 51 mm Hammond 1441-16BK3
- 1 châssis 102 x 152 x 51 mm Hammond 1441-8BK3
- 4 pieds 10 mm
- 4 supports tube heptal céramique (PCB)
- 8 entretoises 15 mm F-F/M3 isolée
- 6 entretoises 15 mm F-F/M3 métal
- 1 porte-fusible châssis F1 (20 mm)
- 2 S1, S2 : interrupteur DPDT
- 2 socles RCA mono pour PCB
- 1 bornier HP stéréo
- 1 socle 230V/1A pour châssis
- 2 supports led
- 2 câbles + contact led
- 20 picots + 20 cosses 1,3 mm

10



11



poinçon emporte-pièce de  $\varnothing 16,5$  mm. Les découpes sont alors parfaites.

Les faces avant et arrière ne font pas l'objet d'un plan coté et sont laissées à l'appréciation de chacun.

Les découpes des trous de passages des socles RCA peuvent être réalisées à l'aide d'un emporte-pièce de  $\varnothing 16,5$  mm. On fore un trou de guidage à 24 mm du haut du châssis (figure 7) sur l'alignement préalablement marqué. Tous les autres trous sont marqués et percés *in situ*.

On n'oubliera pas les quatre trous de fixation du châssis supérieur.

Après vous être assurés que tous les ensembles trouvent leurs places, vous pouvez passer au montage des divers composants sur le circuit imprimé.

### Les circuits imprimés

Le circuit imprimé du module amplificateur mesure 79 x 135 mm (figure 8). Les onze picots de 1,3 mm sont insérés et soudés en premier lieu.

Ensuite, on soude les deux supports des tubes.

Les 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 quatre entretoises isolées de 15 mm positionnera ceux-ci à la bonne hauteur. On progresse avec les composants par ordre de grandeur croissant,

en terminant par l'électrolytique C16 (figure 9).

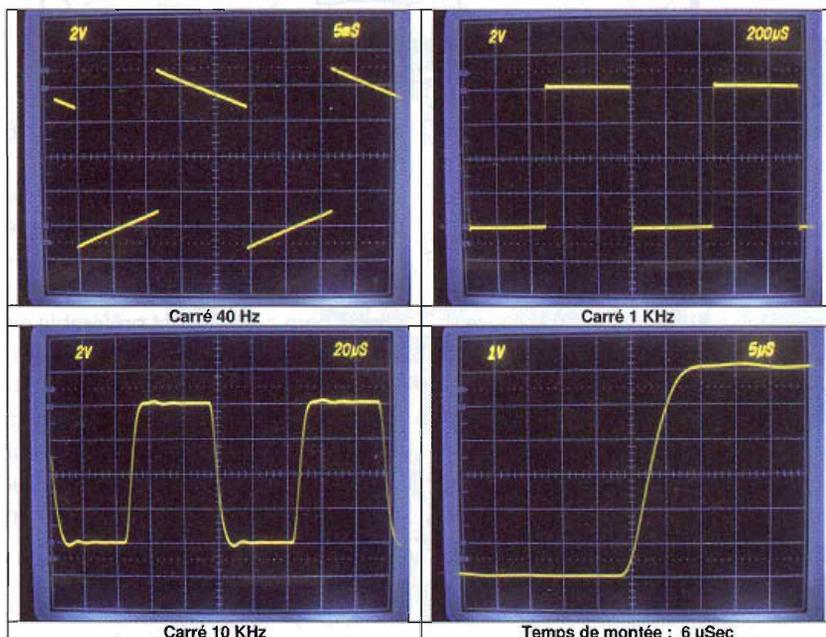
Il y a huit pontages. Le lien HT-G2 de V2 doit être isolé. Le pontage marqué « P » qui relie le +36 Vdc aux deux résistances R30-R31 est isolé et soudé coté cuivre. Il est préférable de tester la carte en dehors du châssis. Mais cela nécessite une tension d'alimentation continue variable jusqu'à 260 Vdc ou un auto-transformateur variable. On ne saurait assez insister sur l'utilité de cet appareil quand on travaille avec des tubes.

Le premier test se fait sans les tubes : la tension d'alimentation des OPA se stabilise à +36 Vdc. Vérifier que la polarisation de IC1 est bien correcte en mesurant +18 Vdc aux broches (6). Après l'insertion des tubes et le raccordement des trois fils du primaire du transformateur de sortie, il faut alimenter les filaments pendant une minute, puis appliquer progressivement la haute tension en surveillant la tension aux anodes et grilles « écran » (G2) des EL95. Celles-ci doivent progresser jusqu'à +260 Vdc.

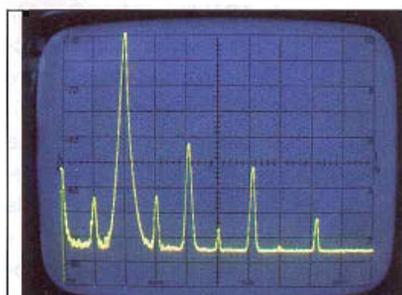
La tension aux cathodes (R19-R20) s'établit à +9,5 Vdc environ.

La carte redressement filtrage mesure 63 x 30 mm (figures 10 et 11). Elle comprend six picots de 1,3 mm, les condensateurs C1-C2, les diodes D1-D2 et la résistance R2 de 6,8 k $\Omega$ . La résistance R1 de 220  $\Omega$  est bloquée contre une petite pièce métallique à l'une des quatre fixations de la carte.

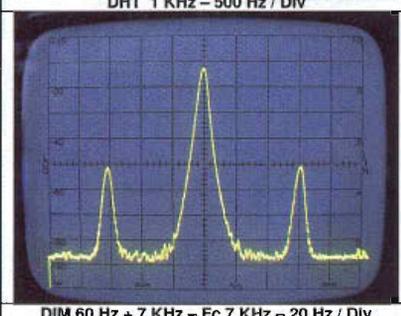
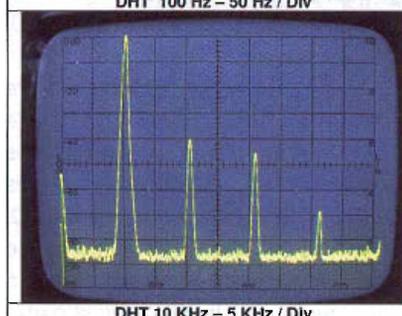
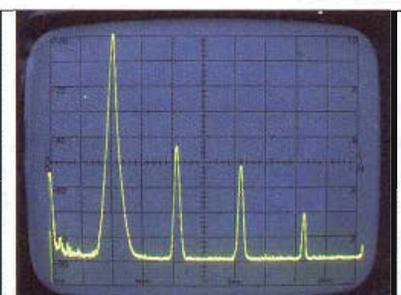
F



12



13



## Le montage final

Les premiers éléments à fixer sont les dix entretoises M3/F-F de 15 mm qui servent au maintien des modules amplificateurs.

À propos des entretoises de maintien des supports des tubes, il faut absolument utiliser des modèles isolants en polyamide. En effet, vu la proximité des trous de fixation des supports heptal, il y a risque de court-circuit avec les pistes cuivrées avoisinantes. Ensuite, nous positionnerons les transformateurs de sortie à l'aide de vis M4 suivies, dans l'ordre, par les commutateurs et voyants de la face avant, les accessoires de la face arrière, la carte alimentation et la résistance R1, la self, le transformateur pour le filtrage des filaments, le transformateur torique et ses deux coupelles et, en dernier lieu, les deux cartes amplificatrices.

Tous les fils des transformateurs de sortie sont rassemblés dans une gaine, routés vers l'avant en passant entre les entretoises des tubes pour ressortir à l'arrière du module (figure 5). Les deux fils du haut-parleur sont redirigés vers la face arrière via le centre du châssis. Tout ce petit monde est enfin interconnecté comme indiqué sur les schémas.

## Les masses

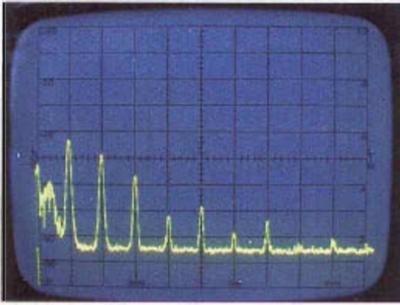
L'ensemble des circuits est flottant. La mise à la masse du châssis se fait en un seul point via la vis de fixation de la grille de fond (**photo F**).

Une des vis auto-taraudeuses assure le contact électrique avec le châssis et la grille. On s'assure que, sans ce contact de masse, le circuit est bien flottant par rapport au châssis. Si ce n'est pas le cas, il faut chercher et lever la « fuite » coupable.

## Mise sous tension

Dans un premier temps, il convient de ne pas raccorder les deux fils de contre-réaction.

Les deux sorties doivent être chargées. Pour la sortie inutilisée pendant le test, une résistance de 10 Ω - 2 W fera l'affaire. À la mise sous tension, utiliser de préférence un auto-transformateur. Basculer les deux commutateurs et contrôler la montée pro-



15

gressive des tensions jusqu'à obtenir les 6,3 Vac de chauffage et les 260 Vdc de HT.

Vérifier la tension d'alimentation de +36 Vdc des AOP et les tensions de +260 Vdc d'anode des pentodes.

Les deux relais étant activés, injecter un signal de 100 mVpp en entrée et visualiser la sortie.

C'est le moment de raccorder les deux fils de la contre-réaction.

Le signal en sortie doit s'effondrer d'un facteur 10. Si, au contraire, vous constatez un accrochage, il y a lieu d'inverser les deux fils du primaire.

Si vous avez opté pour le potentiomètre P1, il doit être ajusté pour obtenir un minimum de distorsion à 6 W.

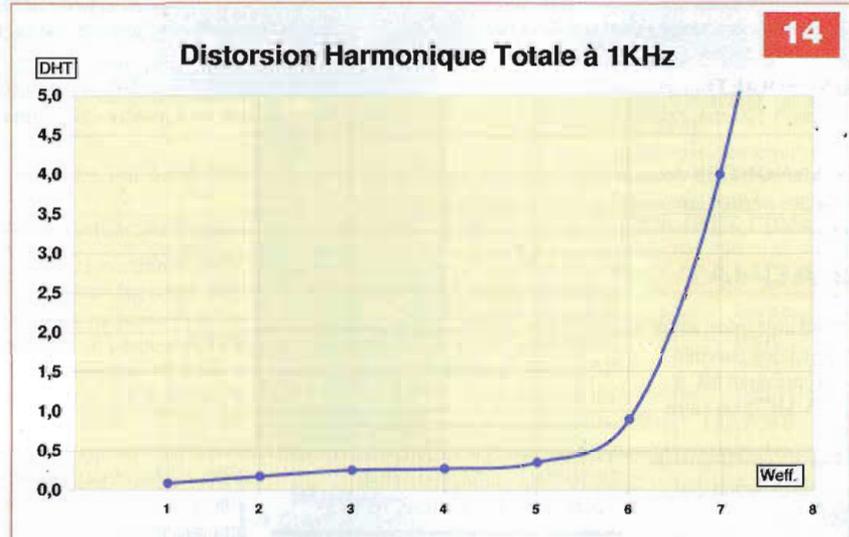
## Quelques mesures

Les mesures classiques sur notre prototype vous sont présentées en figures 12 à 15.

La réponse aux signaux carrés (figure 12) est excellente. Le dépassement est inexistant et le temps de montée est de l'ordre de 6  $\mu$ s.

La fréquence de coupure se situe vers 50 kHz à -3 dB. L'ajout d'une réactance composée d'une capacité de 1  $\mu$ F en série avec une résistance de 8  $\Omega$  laisse le signal imperturbable. Le taux de distorsion à 1 dB de la puissance nominale est inférieur à 1%. La représentation spectrale montre une décroissance progressive des harmoniques : H2 à -42 dB, H3 à -50 dB, H4 à -70 dB. L'écrêtage commence au-dessus de 6 Weff mais de manière assez douce, ce qui à l'écoute donne l'impression d'une puissance nettement supérieure.

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



Caractéristiques Techniques	
Puissance nominale	2 x 7 Weff
Puissance impulsionnelle	2 x 8 W
DHT + Bruit à 6 Weff	< 1%
Distorsion d'intermodulation à 6 Weff	< 0,5%
Temps de montée	6 $\mu$ Sec
Sensibilité	1 Vac pour 6 W
Réponse en fréquence à -1 dB à 6 W	30 Hz $\rightarrow$ 25 KHz
Diaphonie 10 Hz $\rightarrow$ 10 KHz	> 60 dB
Impédance de sortie	8 $\Omega$
Impédance d'entrée	47 K $\Omega$
Taux de contre-réaction (NFB)	17 dB
Impédance interne	1,3 $\Omega$
Facteur d'amortissement (DF)	6
Bruit de fond (H&N)	< 200 $\mu$ V Lin - 30 $\mu$ V A-Pond
Rapport S/B (Flat SNR) à 1 W	> 80 dB Lin
Rapport S/B (A-Weighted) à 1 W	> 96 dBA
Tubes: 4	EL95
Consommation au repos (SB)	230 V - 37 mA - 8 VA
Consommation	230 V - 270 mA - 62 VA
Dimensions	254x152x140 mm
Poids	4,7 Kg

part et d'autre de la raie à 7 kHz, sont à 50 dB du signal pilote à 0 dBV de 60 Hz (figure 13).

La figure 15 montre les bruits et ronflements résiduels, le niveau de référence est placé à -40 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 -84 dBV et celle à 100 Hz à -88 dBV. Ceci nous donne un rapport signal bruit supérieur à 80 dB-Lin pour 1 W en sortie.

## Conclusion

Bien que d'une puissance de 2 x 7 Weff, assez modeste au vu de ce qui est

proposé aujourd'hui sur le marché de l'audio, nous avons été surpris par la puissance apparente de cet amplificateur.

Le grave est restitué sans traînage et les aigus avec une excellente précision. Le son est très agréable, sans coloration particulière et sans agressivité pour nos sens.

Associé à des enceintes de qualité, cet amplificateur restitue la musique classique et le jazz avec une excellente musicalité.

J-L VANDERSLEYEN

*Pour les données de fabrication de la carte imprimée ou quelque problème d'approvisionnement, vous pouvez contacter l'auteur à l'adresse [jl.vandersleyen@skynet.be](mailto:jl.vandersleyen@skynet.be) ou via son site [www.novotone.be/fr](http://www.novotone.be/fr)*