

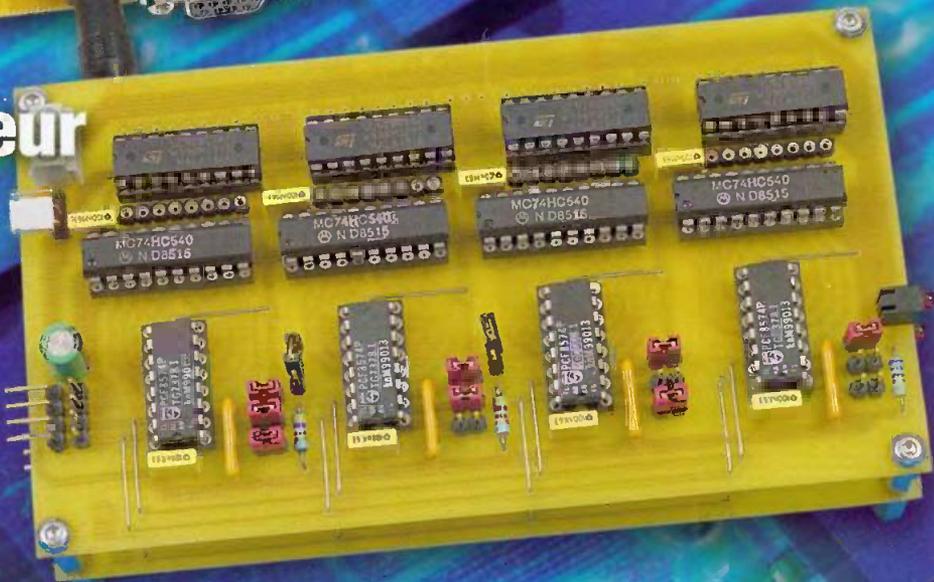
Recevoir A-10.05  
5

309 OCTOBRE 2006 ■ www.electroniquepratique.com ■ 5,00 €

Retrouvez  
le cahier audio  
**Led**



**Le microcontrôleur  
CUBLOC CB220  
et le port I<sup>2</sup>C  
32 entrées  
32 sorties ▶**



**Les modules XBEE**

**Terminal de saisie  
pour bus USB**

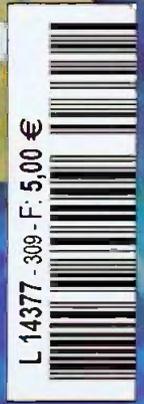
**Contrôleur  
du secteur EDF**

**Compteur  
d'énergie**

**Distorsiomètre  
audio ▶  
analogique**



FRANCE : 5,00 € • DOM Avion : 6,40 € • DOM surface : 5,80 € • Port 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 \$



## 4 Infos/Nouveautés

### Initiation

- 8 Internet pratique
- 10 Les modules XBEE
- 12 La suite de développement PDS

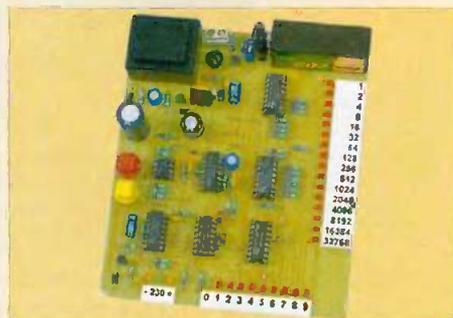
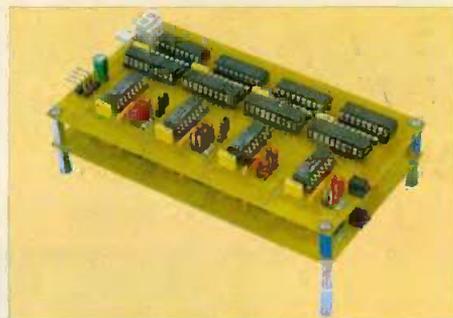
### Réalisez vous-même

### Micro/Robot/Domotique

- 16 Le CB 220 et le port I<sup>2</sup>C (2<sup>e</sup> partie)
- 24 Terminal de saisie pour bus USB
- 30 Contrôleur du secteur EDF
- 36 Compteur d'énergie

### Audio

- 48 Et si on parlait tubes (cours n°27)
- 54 Distorsiomètre audio analogique



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 : Patrick VERCHER - Rédacteur en chef : Bernard DUVAL

Secrétaire de rédaction : Elsa SEPULVEDA - Couverture : Dominique DUMAS - Illustrations : Alain BOUTEVELLE SANDERS, P. MERCIER

Photos : Isabelle GARRIGOU - Avec la participation de : R. Bassi, G. Ehretsmann, F. Jongbloet, R. Knoerr, P. Mayeux, Y. Mergy, P. Morin, JL Vandersleyen  
La Rédaction d'Electronique Pratique décline toute responsabilité quant aux opinions formulées dans les articles, celles-ci n'engageant que leurs auteurs.

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

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

Imprimerie : ACTIS MAULDE & RENO 02430 GAUCHY - DEPOT LEGAL : OCTOBRE 2006 - Copyright © 2006 - TRANSOCEANIC

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

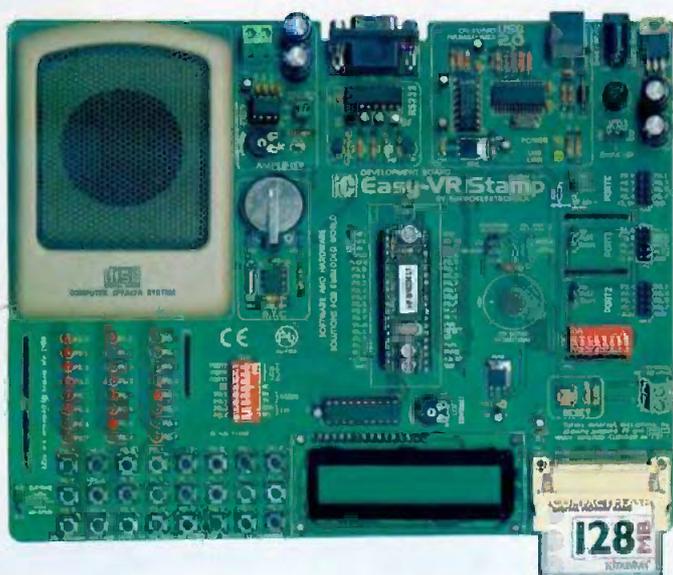
ATTENTION ! Si vous êtes déjà abonné, vous faciliterez notre tâche en joignant à votre règlement soit l'une de vos dernières bandes-adresses, soit le relevé des indications qui y figurent.

Abonnements USA - Canada : Contacter Express Mag - [www.expressmag.com](http://www.expressmag.com) - [expmag@expressmag.com](mailto:expmag@expressmag.com) - Tarif abonnement USA-Canada : 60 €

TARIFS AU NUMÉRO : France Métropolitaine : 5,00 € • DOM Avlon : 6,40 € • DOM Surface : 5,80 € • Port 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

# Starter-kit Easy VR Stamp



Distribué, comme toute la gamme Mikroelektronika, en exclusivité en France par la société Lextronic, le Starter-kit « Easy VR Stamp » est spécialement conçu pour développer des applications à base du processeur RSC-4128. Ce dernier, livré avec un compilateur « C » (en version limitée à 64 K), repose sur l'exploitation du module microcontrôlé VR Stamp conçu par la société Sensory.

Ce module hybride au format DIL 40 broches dispose d'une mémoire programme de 128 K, de 24 lignes d'entrées/sorties et de 1 Mbit de Flash. Il se programme en langage « C » à la manière d'un microcontrôleur standard à la différence près qu'il intègre de puissantes fonctions de reconnaissance de la parole, de génération de synthèse vocale, de génération de synthèse musicale et autres fréquen-

ces DTMF. La platine de développement dispose de leds de visualisation, de boutons-poussoirs, d'un microphone, d'un haut-parleur, d'un port série, d'une horloge temps réel, de connecteurs pour cartes compact Flash (non livrées), d'un afficheur LCD alphanumérique (livré en option) ainsi que d'un support sur lequel est livré un module VR-Stamp.

Une fois compilé, votre programme « C » pourra être directement téléchargé dans le module grâce au programmeur USB intégré à la platine. Le starter-kit est actuellement proposé au prix d'introduction de 159 € TTC.

[www.lextronic.fr](http://www.lextronic.fr)

Tél. : 01 45 76 83 88

## Émetteur 500 mW TX3H-869



De faibles dimensions (45 x 17 x 5,5 mm), le "TX3H-869" est un émetteur hybride OEM low-cost "FM" opérant sur la bande 869,50 MHz avec une puissance de 500 mW. Répondant aux critères radio ETSI EN 300 200-3 et EMC EN301 489-3, il est destiné à être alimenté sous + 5 Vcc avec une consommation de l'ordre de 310 mA. Ce dernier pourra être idéalement utilisé pour la réalisation de télécommandes radio longue portée et autres systèmes de transmission en milieu perturbé, tout en étant capable d'envoyer des données à 10 Kbps sur une distance supérieure à 3 km en terrain dégagé.

[www.lextronic.fr](http://www.lextronic.fr)

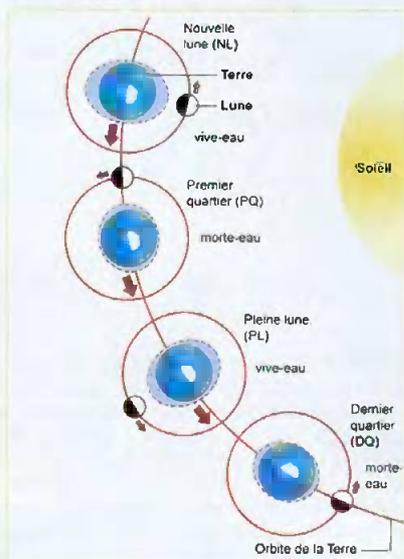
Tél. : 01 45 76 83 88

## Précisions sur les marées

Dans *Electronique Pratique* n°307 (juillet-août 2006) nous avons publié la réalisation d'un indicateur permanent de marées. Si notre montage fonctionne parfaitement, nous avons pêché au sujet de notre « Rappel sur les marées » en page 22.

Un lecteur attentif, M. Lescop de la Société d'Astronomie de Nantes, nous a fait part, à juste raison, d'une erreur dans nos explications relatives aux phénomènes des marées. Les deux dessins consacrés à l'intensité des marées correspondent, en réalité, à des marées de vives-eaux qui se produisent à chaque fois que le soleil, la lune et la terre sont alignés (pleine lune ou nouvelle lune). Les marées de mortes-eaux se produisent lorsque les axes soleil/terre et terre/lune forment un angle droit

(premier ou dernier quartier de lune). Le dessin ci-dessous illustre ces phénomènes bien connus.



Le silicium est roi dans le domaine de l'électronique moderne. Il a donné naissance aux transistors bipolaires, puis aux transistors MOS que l'on retrouve par millions dans les circuits intégrés actuels. Pourtant, dans le domaine des amplificateurs audio, les transistors à base de silicium n'ont pas réussi à détrôner complètement leurs ancêtres : les tubes à vide. C'est pour découvrir les propriétés des tubes à vide que nous vous invitons ce mois-ci à naviguer avec nous sur la toile mondiale du « World Wide Web ».

**P**our entrer directement dans le vif du sujet nous vous invitons à charger la page suivante dans votre navigateur favori :

<http://perso.orange.fr/steph.web/elec/lactifs/lampes.htm>

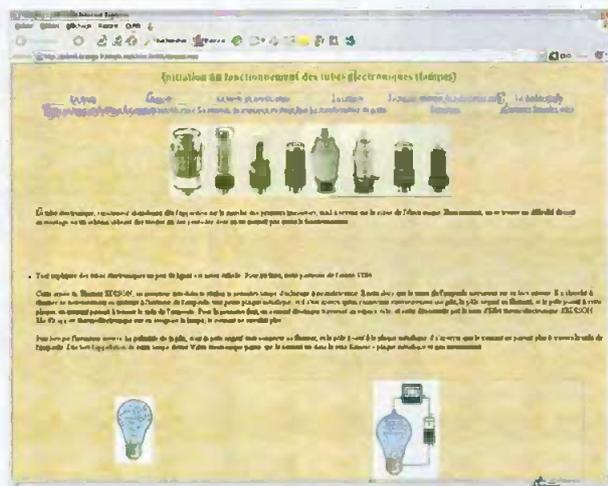
Ce site rappelle très succinctement les découvertes de Thomas Edison et de Sir John Ambrose Fleming avant d'aborder brièvement la description des triodes, tétrodes, pentodes et autres tubes à vide inventés à la même époque.

Pour bien comprendre les propriétés de tous ces tubes à vide, nous vous invitons ensuite à consulter la page : <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G01.HTM>

Cette page rappelle également l'histoire des tubes à vide, puis elle vous donne accès à des explications plus ciblées telle que la page :

<http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G03.html> qui décrit la triode de façon détaillée ou bien la page : <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G04.html>

# internet PROTIQUE

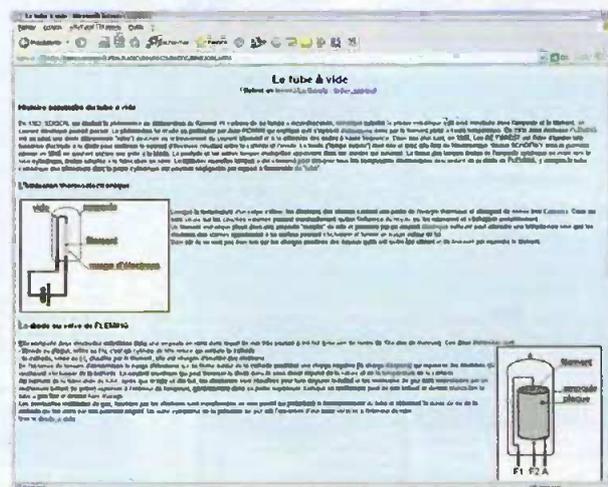


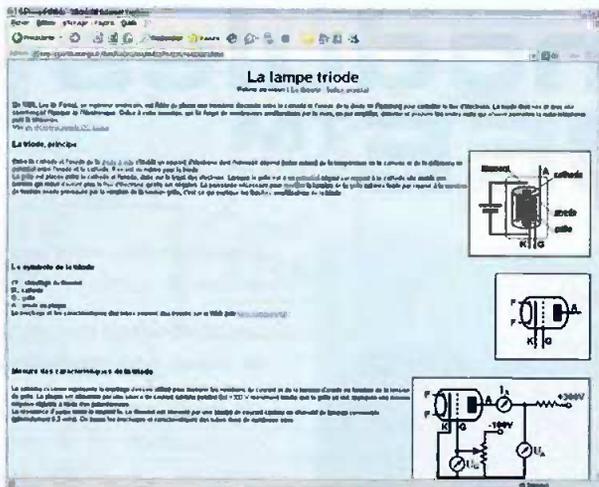
**1** <http://perso.orange.fr/steph.web/elec/actifs/lampes.htm>

qui décrit la tétrode et la pentode. Vous pourrez également consulter le site <http://perso.orange.fr/f6crp/elec/sc/tube.htm> qui présente des informations similaires mais formulées de façon un peu différente. La page <http://perso.orange.fr/f6crp/elec/sc/tubea.htm> présente plus particulièrement comment les propriétés des tubes à vide peuvent être exploitées pour amplifier des signaux (la similitude avec le comportement des transistors à effet de champ y appa-

raît de façon flagrante). Notez un petit détail à propos des liens que nous venons de vous indiquer sur le site <http://perso.orange.fr/f6crp/elec/index.htm>. Lors de la connexion à ce site, le serveur de ce dernier vous redirige systématiquement vers la page d'accueil, quelle que soit l'adresse que vous pouvez saisir manuellement dans la barre d'adresse de votre navigateur. Pour accéder aux pages que nous venons de vous indiquer, vous devrez utiliser le menu du

**2** <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G01.HTM>





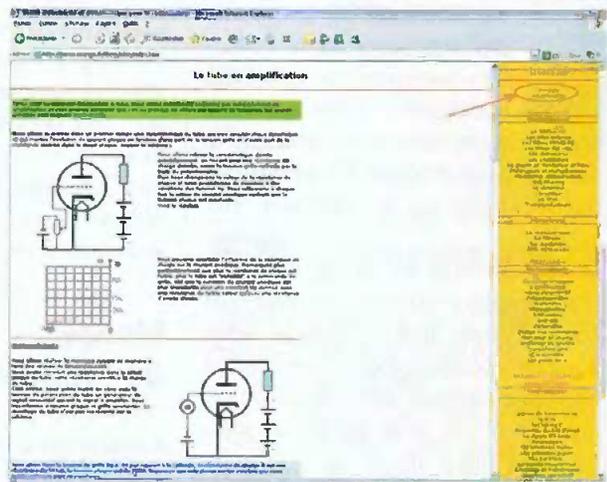
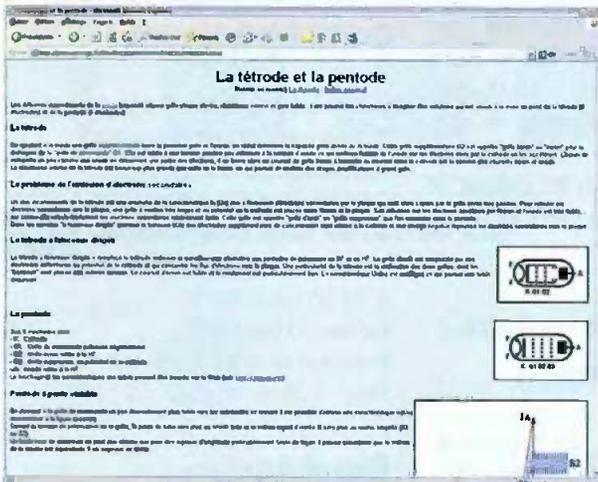
**3** <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G03.html>

site qui se trouve sur la gauche et descendre jusqu'à la rubrique « Le tube à vide », comme cela apparaît encadré en rouge sur la vue numéro 5. Si la découverte des propriétés des tubes à vide a piqué à vif votre curiosité, vous pourrez consulter également le site à l'adresse : <http://perso.orange.fr/michel.terrier/radiocol/detail2003/ampli-class-a-triode-connect.htm>. Vous y découvrirez quelques schémas d'amplificateurs en « classe A » réalisés avec des tubes à vide. Nous vous souhaitons une agréable découverte des sites proposés et nous vous donnons rendez-vous le mois prochain pour de nouvelles découvertes grâce à Internet.

P. MORIN

**4** <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G04.html>

**5** <http://perso.orange.fr/f6crp/elec/sc/tubea.htm>



- <http://perso.orange.fr/steph.web/elec/actifs/lampes.htm>
- <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G01.HTM>
- <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G03.html>
- <http://perso.orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM23/RM23G/RM23G04.html>
- <http://perso.orange.fr/michel.terrier/radiocol/detail2003/ampli-class-a-triode-connect.htm>
- <http://perso.orange.fr/f6crp/elec/sc/tube.htm>
- <http://perso.orange.fr/f6crp/elec/sc/tubea.htm>
- [http://perso.orange.fr/francois.mastroiannidiy/\\_preampli%20ecc88%20theorie.htm](http://perso.orange.fr/francois.mastroiannidiy/_preampli%20ecc88%20theorie.htm)
- <http://perso.orange.fr/tsf/tsf/triode.htm>
- <http://www.fundp.ac.be/facultes/sciences/departements/physique/recherche/centres/udp/bac2/manipulations/triode.html>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Tube\\_%C3%A9lectronique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Tube_%C3%A9lectronique)
- <http://membres.lycos.fr/puechmor/>
- <http://www.mev.fr/histoire.htm>
- [http://mantova.chez-alice.fr/cours\\_tube\\_a2.htm](http://mantova.chez-alice.fr/cours_tube_a2.htm)
- [http://mantova.chez-alice.fr/cours\\_tube\\_b10.htm](http://mantova.chez-alice.fr/cours_tube_b10.htm)
- [http://perso.orange.fr/tsf/tsf/lp\\_phil.htm](http://perso.orange.fr/tsf/tsf/lp_phil.htm)
- <http://www.beiret-communication.com/collection/lampes.htm>
- [http://www.sonelec-musique.com/electronique\\_theorie\\_tube\\_electronique.html](http://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_tube_electronique.html)

Liste des liens de ce dossier

# Les modules XBEE™

Les Modules XBEE se présentent sous la forme d'un boîtier DIP avec sorties au pas de 2,54 mm. Ces modules sont spécialement conçus pour gérer des communications au standard « ZigBee » / IEEE 802.15.4.

Les circuits XBEE font partie de l'impressionnante collection distribuée par la société MaxStream®. Deux versions sont dérivées du même produit, la version XBEE et XBEE Pro qui intègre par exemple de la mémoire non volatile.

Chaque module est en fait un émetteur/récepteur utilisant la bande ISM des 2,4 GHz (tout comme le WIFI) sous une puissance de 1 mW, ce qui offre des portées allant de 30 m en intérieur à 100 m en terrain dégagé. Le débit radio atteint les 250 kbps (kilo bit par seconde). Plusieurs modèles sont proposés avec une antenne filaire intégrée ou bien pour utilisation avec antenne externe.

Une des particularités intéressantes de ces modules est qu'ils peuvent être utilisés en mode point à point, en mode multipoint, en mode peer to peer et également en unicast ou broadcast, fonction permettant d'envoyer une commande générale avec quelques 65 000 adresses disponibles !

La conception de ces modules fait qu'ils sont destinés à être directement interfacés avec un microcontrôleur par exemple ou bien avec un PC à partir d'une liaison série en utilisant les signaux de gestion des flux ou encore à partir du port USB. La configuration de la liaison série se situe pour des débits allant de 1200 à 115200 bauds (figures 1 et 2).



## Organisation interne

L'organisation interne simplifiée d'un module est représentée figure 3, on retrouve quatre buffers pour la gestion des données entrantes et sortantes le tout contrôlé par un processeur. Un switch de sortie permet la connexion de l'antenne vers le mode émission ou réception.

## Modes de fonctionnement

Il existe cinq modes de fonctionnements avec les modules (figure 4)

- Le mode réception où le module reçoit des informations d'un autre module XBEE.
- Le mode transmission qui permet

d'émettre des données vers un ou plusieurs autres modules.

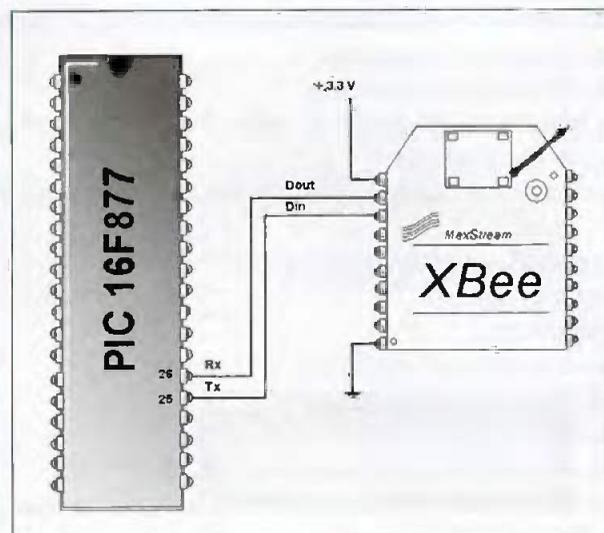
- Le mode Sleep qui passe le module en basse consommation (< 10 µA).
- Le mode commande qui permet la configuration et la commande du module, ce mode supporte les commandes de type API ou AT (détaillées dans la note technique).
- Le mode Idle qui est le fonctionnement par défaut quand aucun des modes cités n'est en cours.

## Caractéristiques

Alimentation : 2,8 à 3,4 V  
 Consommation en émission : 45 mA sous 3,3 V  
 Consommation en réception : 50 mA sous 3,3 V  
 Consommation en power down : < 10 µA sous 3,3 V  
 Boîtier 20 broches  
 Encombrement : 2,438 x 2,761 cm  
 Prix : < 30 €

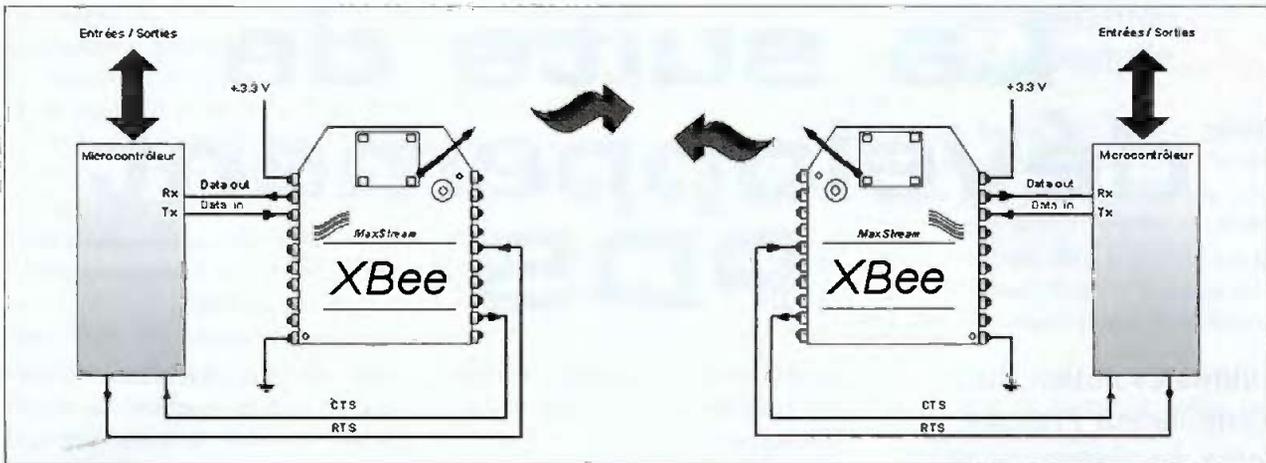
## Brochage

Celui-ci vous est dévoilé en figure 5. Il s'agit d'un boîtier à 20 broches de dimensions 24,38 mm x 27,61 mm.

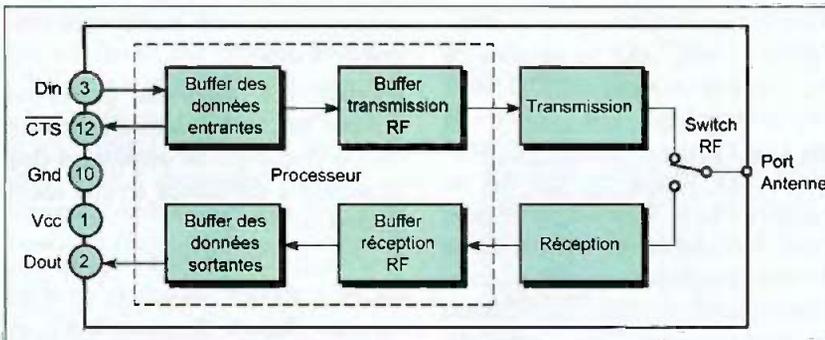


1

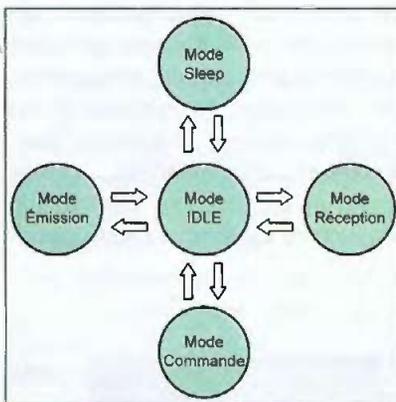
Interface avec un microcontrôleur PIC



## 2 Exemple d'environnement



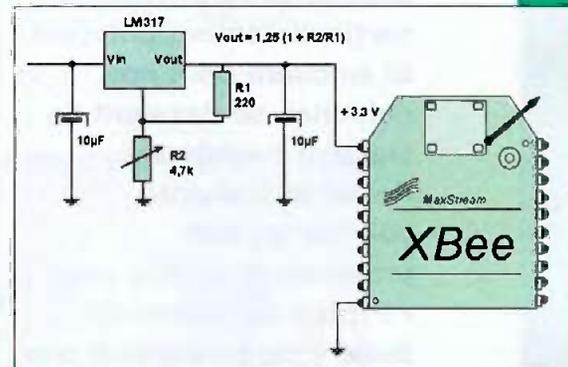
## 3 Organisation interne d'un module XBEE



## 4 Les différents modes de fonctionnement

### Alimentation du circuit

Les circuits XBEE nécessitent une alimentation de 3,3 V, cette alimentation peut être facilement réalisable avec un régulateur ajustable de type LM317 par exemple (figure 6). Un autre régulateur du type LE33 peut également fournir le 3,3 V nécessaire au circuit.



## 6 Exemple d'alimentation 3,3 V

### Conclusion

Nous espérons que cette présentation sommaire des modules XBEE vous aura fait apprécier les possibilités de ce composant. Ces transceivers radio miniatures à bas prix permettent rapidement d'établir une communication distante au standard Zigbee/IEEE 802.15.4 et seront spécialement utilisés par des microcontrôleurs devant gérer des réseaux de capteurs par exemple. Les circuits

XBEE s'inséreront donc facilement dans un montage et permettront une commande à distance.

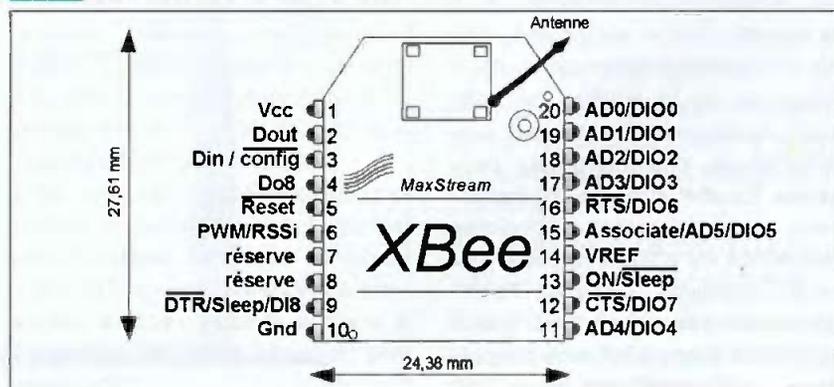
Nous proposerons dans les prochains numéros une application à partir de ces modules qui sont sans aucun doute voués à un bel avenir... Vous pouvez télécharger la documentation technique au format PDF et consulter d'autres informations sur le site de LEXTRONIC :

[www.lextronic.fr](http://www.lextronic.fr)

P. MAYEUX

<http://perso.libertysurf.fr/p.may>

## 5 Brochage et encombrement



# La suite de développement PDS

**Ultime évolution du compilateur Proton+, la suite de développement PDS se révèle être un outil de programmation particulièrement puissant et innovant dont nos colonnes se devaient de signaler l'existence. Pensé et présenté comme un outil professionnel, PDS pour « Proton Development Suite », se révèle être une judicieuse association de logiciels. Une sorte de « tout en un » qui offre la possibilité de passer d'une idée à sa réalisation sans toucher un seul composant !**

## Proton 3

PDS est proposé par la société anglaise Crownhill et distribué en France par le revendeur Sélectronic. Cette suite de logiciels s'articule autour du compilateur en langage Basic Proton qui en est aujourd'hui à sa version 3. Ce compilateur, déjà décrit dans nos colonnes, a été, à l'occasion de la création de cette suite, agrémenté d'instructions supplémentaires particulièrement puissantes. En effet, près de 170 instructions sont maintenant disponibles, permettant entre autre de piloter des cartes mémoires "Compact Flash", de piloter les interfaces "USB 1 et 2" ainsi qu'un grand nombre de périphériques : qu'ils soient infra rouge, X10,

série ou encore répondant à la norme de communication « One Wire » développée par Dallas.

La gamme des microcontrôleurs avec lesquels il est compatible est également étendue. Il est capable de produire du code machine, à partir d'instructions Basic, pour les familles de PICs allant du tout petit 10F200 de 12 bits embarquant 256 octets de mémoire Flash au puissant 18F8720 de 16 bits équipé de 128 Ko de mémoire Flash. Pour les personnes ayant leurs habitudes avec d'autres compilateurs, Proton prévoit une compatibilité avec les logiciels PicBasic Pro ainsi que Basic Stamp, ceci afin de permettre, non seulement une transition en douceur vers ce nouveau compilateur, mais surtout l'ouverture vers une bibliothèque de programmes particulièrement étendue.

## Proton IDE

Le Basic est un langage simplifié dit de haut niveau car une instruction

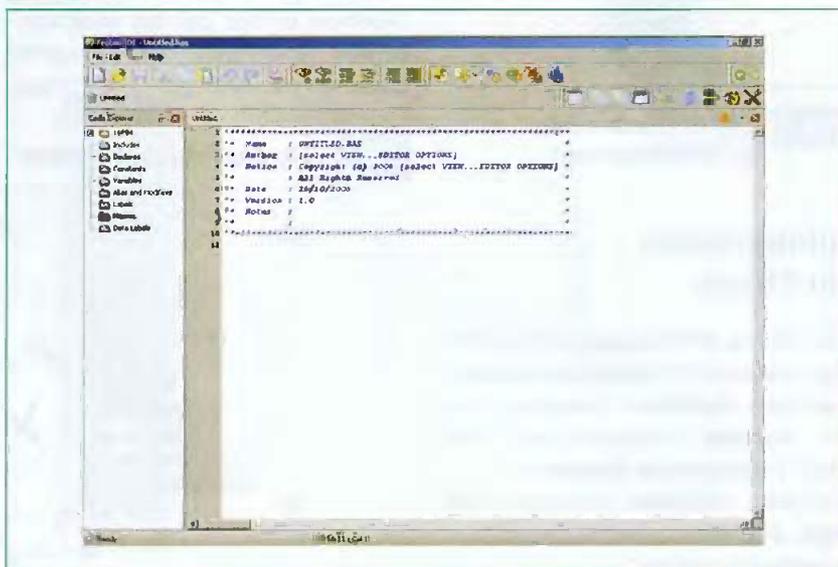
Basic réalise de nombreuses opérations en langage machine. Ce langage est constitué de mots clés qui, assemblés selon une syntaxe déterminée, réalisent des fonctions. Son apprentissage reste rapide et obtenir un programme « qui tourne » est relativement aisé.

Pourtant, son apparente facilité ne doit pas faire oublier sa puissance qui offre la possibilité de développer des applications complètes en une seule journée de travail.

Pour faciliter l'écriture d'un programme, PDS contient un éditeur de texte puissant (**figure 1**) rassemblant un grand nombre de fonctions d'édition de texte : C'est l'interface utilisateur principale de PDS.

On trouve sur cette interface l'ensemble des outils qui vont permettre le développement du programme, son assemblage, sa validation et son transfert dans le microcontrôleur. Séparé en deux colonnes, l'éditeur laisse un espace pour l'écriture du programme tandis que l'autre colon-

### 1 L'interface de PDS



ne rassemble, sous la forme d'un explorateur, l'ensemble des variables, routines, sous routines, etc... formant la structure du programme. L'objectif de cette présentation est de faciliter l'écriture en offrant l'accès direct aux éléments clés du programme.

Différentes icônes sont placées sur l'espace supérieur et donnent accès aux fonctions d'éditations habituelles permettant de manipuler des zones de programmes contenant plusieurs lignes.

Des outils tels que la visualisation en assembleur du programme écrit en Basic, un terminal série ou encore une table ASCII sont directement proposés par l'éditeur.

Celui-ci est souple et paramétrable. Il offre ainsi la possibilité d'ajouter des Plugins, ou petits utilitaires d'extensions, offrant différentes fonctions telles que l'importation directe de lignes de code pré-écrites, un générateur de macros et autres fonctions très utiles.

Ces programmes sont souvent écrits et distribués gratuitement par les utilisateurs de PDS. Ces derniers forment une communauté sur Internet dont le lieu d'échange se trouve sur le forum des utilisateurs de la suite de développement.

Ce forum offre, de plus, la possibilité de soumettre une difficulté, de demander des conseils d'utilisation des différents modules de PDS ou encore des renseignements sur la programmation en Basic.

C'est certainement cette communauté qui constitue une partie de la richesse de la suite PDS : il existe, en effet, toujours un utilisateur qui peut vous apporter de l'aide d'autant plus que le développeur de cette suite de logiciels participe régulièrement aux réponses et suggestions.

## La simulation de circuit

La révolution apportée par la suite PDS consiste à mettre à la disposition de l'utilisateur un simulateur de circuit Spice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis).

Celui-ci est tiré du logiciel de conception électronique Proteus de chez Labcenter Electronics. Il rassemble,

en effet, ARES (qui est un routeur) et ISIS VSM qui permettent à la fois la création d'un schéma puis sa simulation virtuelle.

PDS offre ainsi l'équivalent de six plateformes d'expérimentations différentes mettant en œuvre les microcontrôleurs suivants :

PIC 12F675, PIC 16F628, PIC 16F877 et PIC 18F452, tous deux équipés de différents périphériques (mémoire I2C, oscilloscope ou terminal série virtuel).

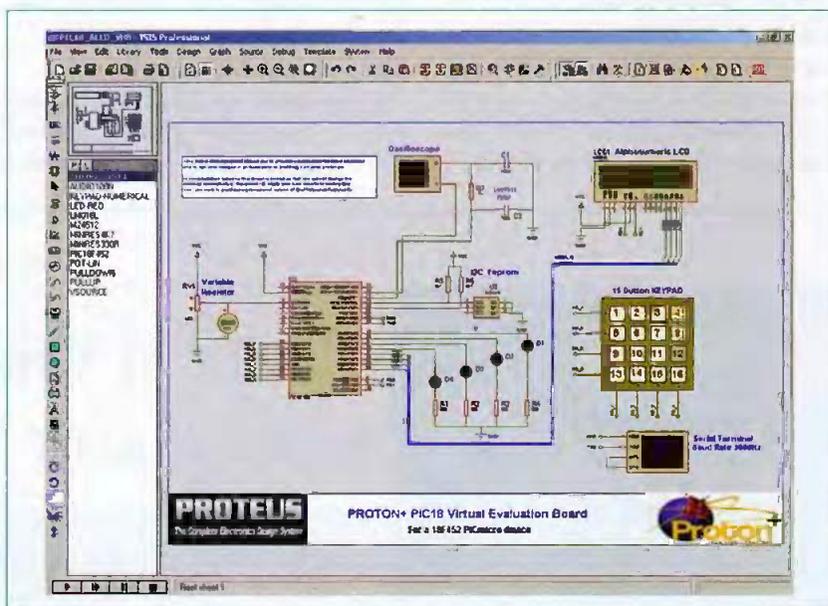
Cet ensemble permet ainsi la mise au point d'un programme en basic, sa compilation puis sa simulation virtuelle avec les composants dont sera équipé le futur circuit imprimé (**figure 2**).

## La programmation du fichier compile

Lorsque toutes les étapes précédentes ont été franchies avec succès et que vous avez pu constater que votre programme tourne comme vous l'attendiez dans le simulateur, la dernière étape consiste à passer à la réalité en programmant le composant.

De ce côté là également, PDS est bien équipé puisqu'il propose en standard un bootloader perfectionné. Ce système exploite la capacité de certains microcontrôleurs PIC à se programmer eux mêmes.

Le PIC est programmé avec un



### 2 Le circuit de simulation virtuelle

La mise au point est alors particulièrement aisée car il est possible de vérifier directement le déroulement d'un programme sur un circuit électronique virtuel. Une fonction "Debug" permet également de vérifier dans le détail le déroulement du programme et d'observer l'état des registres du microcontrôleur.

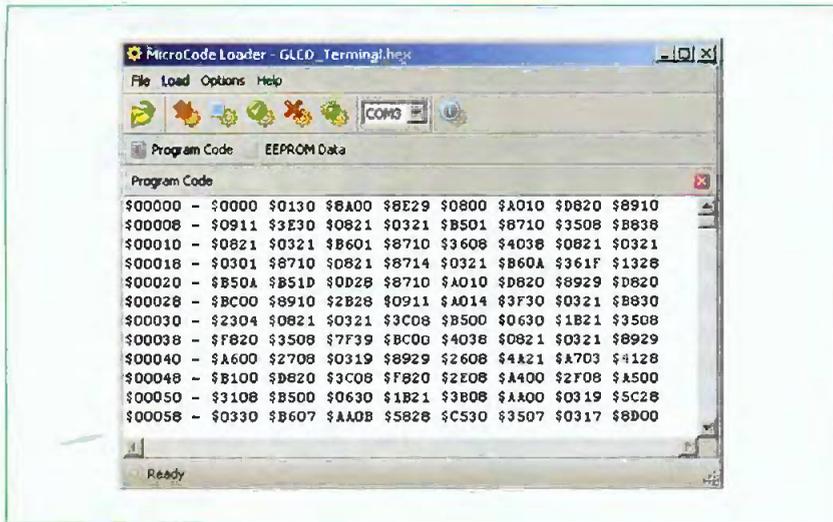
Enfin, les outils virtuels tels que l'oscilloscope permettent d'aller plus loin dans l'analyse électrique du circuit virtuel et le terminal série offre la possibilité au montage virtuel d'agir à l'extérieur par l'intermédiaire du port série du PC.

minuscule logiciel qui, lors de la mise sous tension et pendant quelques centaines de millisecondes, intercepte les données placées sur le port série des PIC qui en sont équipés et les place en mémoire Flash.

Du côté du PC, un deuxième logiciel formate le fichier HEX destiné au PIC de façon à ce qu'il soit transmis par le port série.

Une simple remise à zéro du PIC et le voilà qui se programme lui-même.

Dans PDS, cette fonction est assurée par le logiciel Microcode Loader de chez Mécanique (**figure 3**).



### 3 Le bootloader

Un grand nombre de microcontrôleurs PIC peuvent être équipés de ce système de programmation qui accélère grandement le développement. Pour vous en convaincre, Crownhill tient à votre disposition en libre téléchargement un exemplaire limité à

100 lignes de code de sa suite de développement. Vous pourrez le télécharger à l'adresse suivante : <http://www.picbasic.org>. Cet exemplaire de démonstration est fourni avec un grand nombre d'exemples très documentés permet-

tant de se faire une idée sur la puissance de cette suite.

### Conclusion

Nous voici donc en présence d'un outil de développement puissant qui dispose d'un grand nombre de possibilités permettant la mise au point de projets complets très rapidement. Signalons, de plus, pour ceux que le langage Basic rebuterait, que PDS accepte des lignes d'assembleur dans le programme en Basic lorsqu'il est nécessaire de contrôler précisément un processus interne au microcontrôleur. Enfin, pour être complet sur ce sujet, sachez que des mises à jour sont régulièrement proposées et ne se contentent pas uniquement de corriger les bugs mais proposent régulièrement de nouvelles instructions.

G. EHRETSMANN  
[http://g.ehretsmann@free.fr](mailto:http://g.ehretsmann@free.fr)

**CD-02 Led**  
Fichiers PDF - 137 pages

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

**FILTRE ACTIF 2 VOIES**  
**PUSH-PULL KT90**  
**QUADRUPLE PUSH-PULL 6L6**  
**PRÉAMPLI ECF82**  
**TRIPLE PUSH-PULL EL34**  
**PRÉAMPLI ECL86**  
**QUADRUPLE PUSH-PULL EL84**  
**PUSH-PULL ECL86**  
**PRÉAMPLIFICATEURS HAUT ET BAS NIVEAU A ECC83/ECC81**  
**SINGLE END 6X6**  
**SINGLE END ECL86**

*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... »

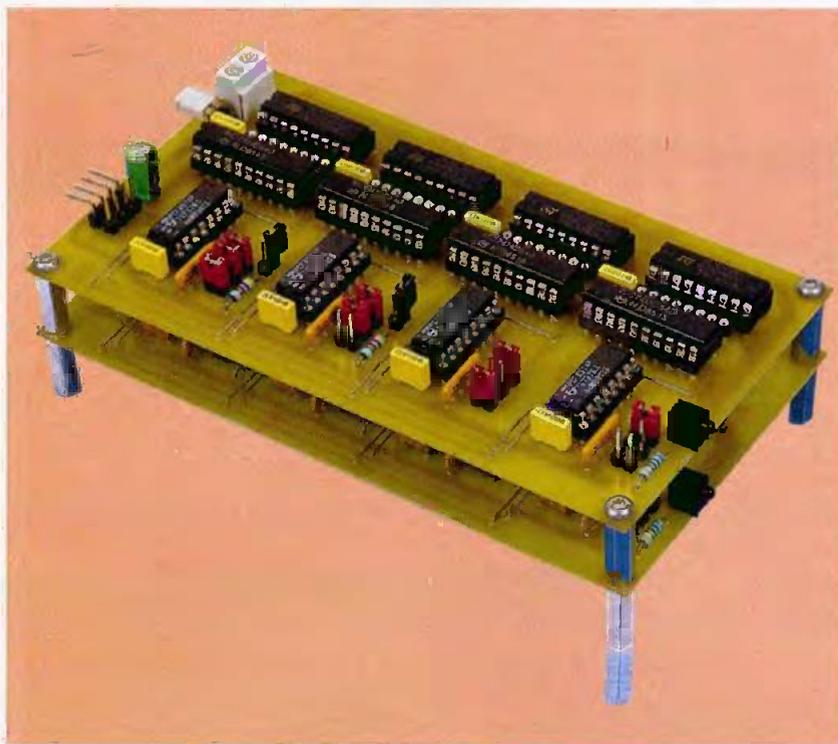
France : 30 € Union européenne : 30 € + 2 € frais de port

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_  
N° : \_\_\_\_\_ Rue : \_\_\_\_\_  
Code Postal : \_\_\_\_\_ Ville-Pays : \_\_\_\_\_

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

# Le CB220 et le port I<sup>2</sup>C

## Extension à 32 entrées et 32 sorties numériques



Dans notre premier article consacré au microcontrôleur Cubloc CB220 et de son port I<sup>2</sup>C, nous avons étudié la possibilité de lui adjoindre un afficheur LCD alphanumérique de 4 x 20 caractères par cette liaison. Le second volet traitant de ce sujet propose de réaliser deux petites platines pour étendre à 32 entrées et 32 sorties numériques les ports du CB220, toujours sur la même liaison I<sup>2</sup>C

**N**ous allons ainsi obtenir, hormis l'afficheur LCD, 8 ports supplémentaires de 8 bits chacun sur un simple CB220. Nous étudierons également l'incomparable avantage du langage de programmation de ce microcontrôleur qui permet de créer vos propres fonctions, utilisables ensuite dans n'importe quel programme comme une instruction du concepteur.

Rappelons que le Cubloc CB220, fabriqué par Comfile® et commercialisé par Lextronic®, est compatible broche à broche avec le BasicStamp2, mais les points communs s'arrêtent là ! Le CB220 bénéficie d'une documentation intégrale en français, de 80 Ko de mémoire flash (contre 2 Ko pour le BS2), d'un fonctionnement multitâche en « Ladder » ou en Basic et d'un coût nettement inférieur.

### Schéma de principe

Bien qu'identiques au niveau du traitement du signal I<sup>2</sup>C, nous proposons malgré tout deux schémas de principe distincts, car la réalisation tient sur deux platines indépendantes, mais raccordable entre-elles. La partie identique du schéma ne sera étudiée qu'une seule fois, bien entendu, afin de ne pas surcharger cet article.

### La platine des 32 entrées par liaison I<sup>2</sup>C

Le connecteur I<sup>2</sup>C double, car permettant le raccordement d'autres cartes, comporte quatre fils : le positif de l'alimentation +5 volts, la masse, le signal d'horloge « SCL » et celui des données « SDA ». Voyez le schéma de principe dessiné à la **figure 1**. La DEL limitée en courant par la résistance R35 atteste la présence de la tension d'alimentation. Les résistances R1 et R2 sont indispensables au bon fonctionnement du protocole I<sup>2</sup>C, elles positionnent les deux lignes au niveau « haut » au repos. Les cavaliers JR permettent de mettre hors service ces résistances lorsque plusieurs cartes sont connectées en parallèle.

Nous faisons appel, pour C11 à C14, à quatre circuits PCF8574 montés en parallèle sur la liaison I<sup>2</sup>C. Chaque composant comporte trois lignes d'adresses nommées « A0, A1 et A2 ». Celles-ci servent à différencier huit circuits identiques sur une même liaison I<sup>2</sup>C. Dans notre cas, quatre sont utilisés pour les entrées et les quatre suivants pour les sorties. Les réseaux de quatre résistances RES1 à RES4 polarisent au niveau logique « haut » les adresses A0 à A2. Nous utilisons

et A2 est au +5V), soit en décimal :  $64 + 8 = 72$ . Nous voulons une lecture du port P0 à P7 (entrées), il faut mettre à « 1 » le premier bit du registre interne soit :  $72 + 1 = 73$ . D'après la même méthode, l'adresse de CI2 correspond à 75, celle de CI3 à 77 et celle de CI4 à 79. Pour plus d'informations à ce sujet, nous vous recommandons la lecture de l'article théorique sur le PCF8574, paru précédemment, ou celle de la note d'application de Philips®, en langue anglaise, à l'adresse Internet :

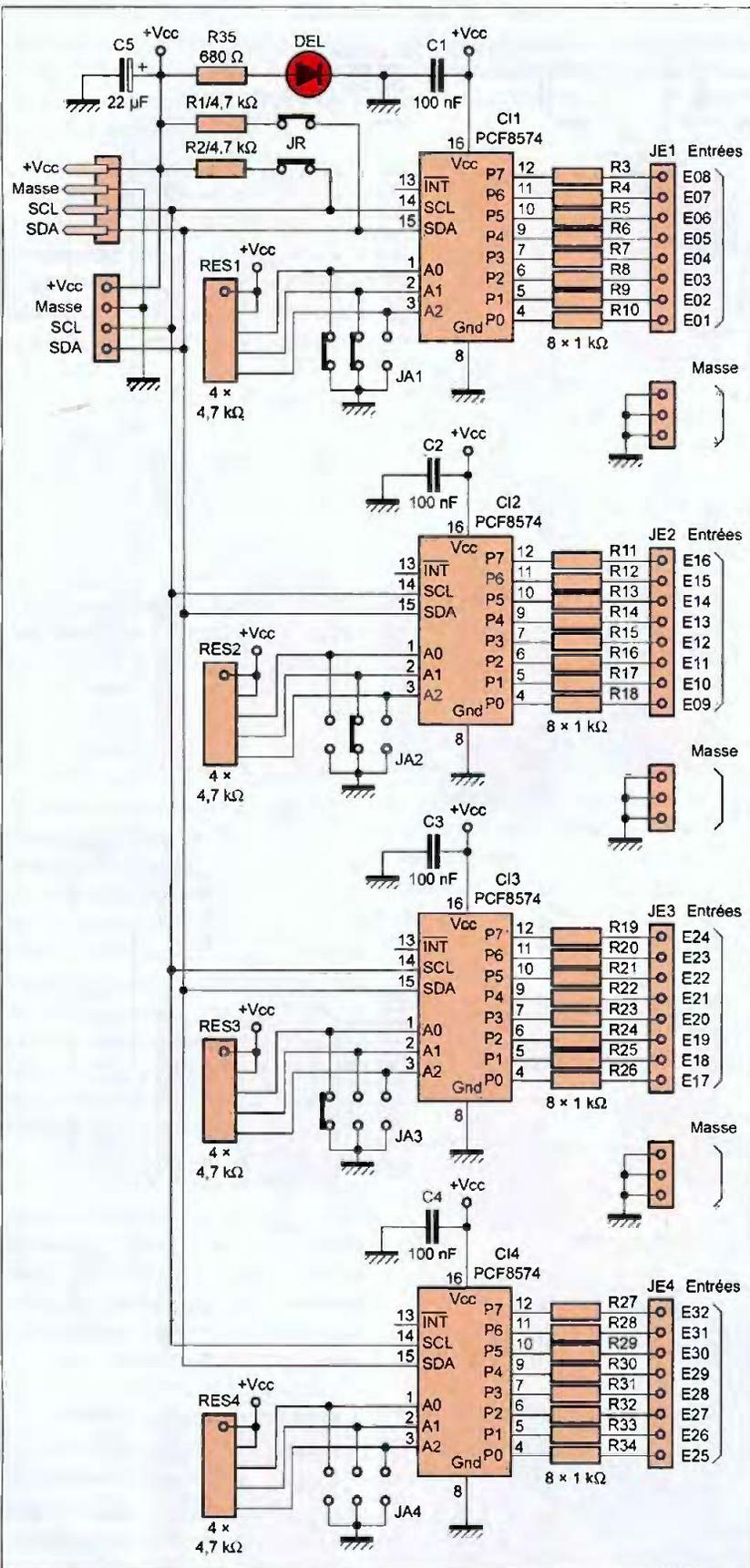
« [http://www.semiconductors.philips.com/acrobat\\_download/data\\_sheets/PCF8574\\_4.pdf](http://www.semiconductors.philips.com/acrobat_download/data_sheets/PCF8574_4.pdf) ».

Configuré en entrée, un PCF8574 positionne toutes les lignes de son port (P0 à P7) au niveau logique " haut " à travers une source de courant interne de 100 µA. Un actionneur doit donc forcer une entrée à la masse pour être lue .

Un changement d'état sur le port d'un PCF8574 configuré en entrée fait passer au niveau logique " bas " sa sortie « INT » en vue d'une exploitation logicielle par le microcontrôleur. Nous ne mettons pas à profit cette particularité au sein de notre réalisation. Les résistances R3 à R34 protègent les lignes P0 à P7 de CI1 à CI4. Nous retrouvons les entrées sur les connecteurs JE1 à JE4, entre lesquels s'intercalent des connecteurs de masse pour un meilleur confort d'utilisation. Les condensateurs C1 à C4 découplent la tension de chaque circuit intégré au plus près de ses broches d'alimentation et C5 filtre celle issue du connecteur I<sup>2</sup>C.

## Platine 32 sorties par liaison I<sup>2</sup>C

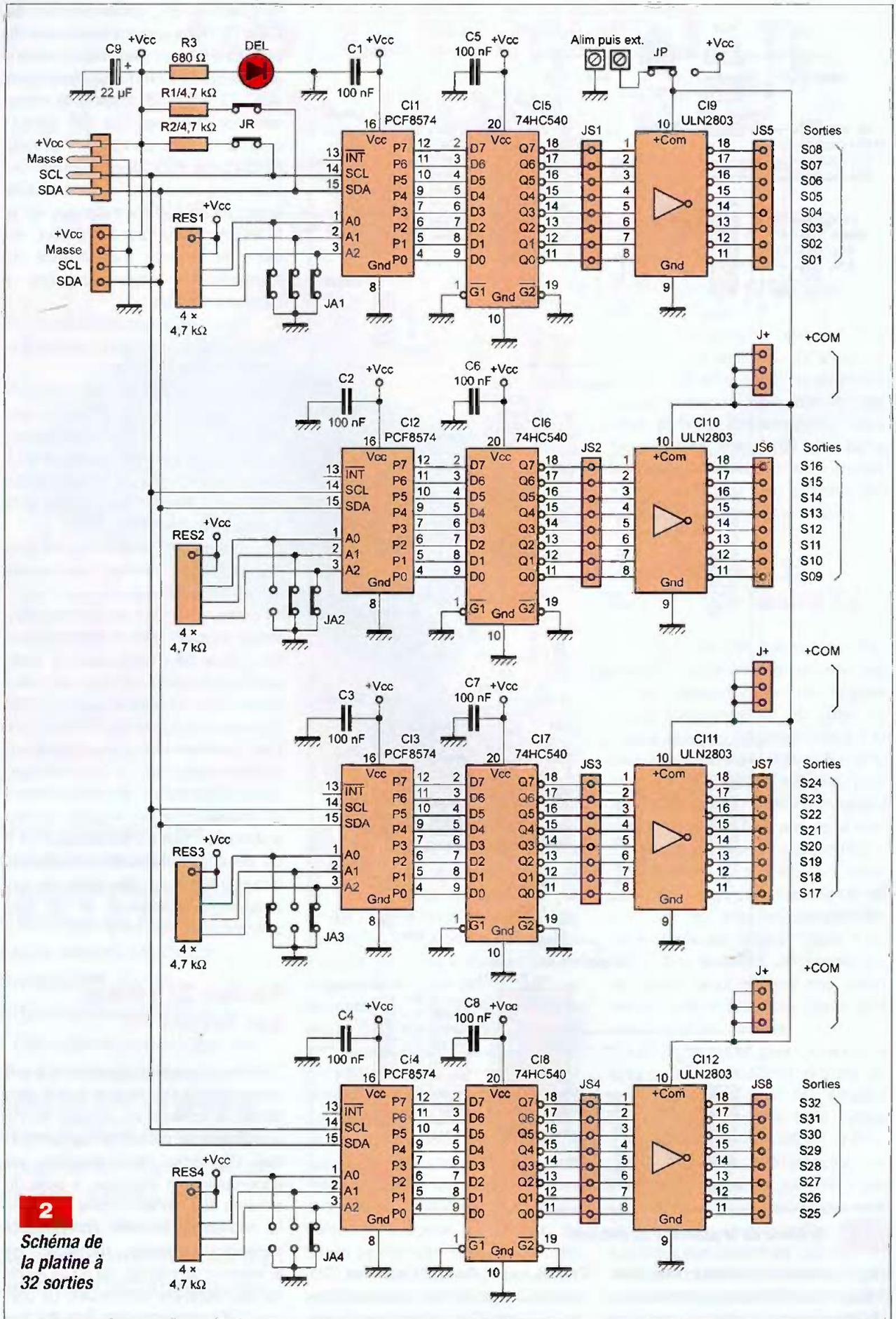
Comme précisé précédemment, nous n'allons pas étudier la première partie du schéma de principe donné à la **figure 2** traitant du signal I<sup>2</sup>C et des PCF8574. Cette dernière est rigoureusement identique à celle du schéma des entrées (figure 1), même la nomenclature des composants correspond. Notez toutefois les adresses des circuits CI1 à CI4 à l'aide des cavaliers JA1 à JA4. Le premier bit du registre est à « 0 » car



**1** Schéma de la platine à 32 entrées

trois cavaliers de configuration pour chaque circuit intégré, nommés JA1 à JA4 pour forcer l'adresse voulue à

l'état " bas ". De cette manière, CI1 se situe à l'adresse de base augmentée de 8 (car A0 et A1 sont à la masse



**2**

**Schéma de la platine à 32 sorties**

nous voulons travailler en écriture (sorties). CI1 est donc situé à l'adresse 64, CI2 à 66, CI3 à 68 et CI4 à 70 (voyez la description à propos de la carte des entrées).

Poursuivons notre étude par celle des circuits CI5 à CI8, des 74HCT540. Ils comportent chacun huit tampons inverseurs chargés d'inverser le niveau logique des lignes P0 à P7 des circuits CI1 à CI4. Nous avons vu que le port du PCF8574 ne peut fournir que 100  $\mu$ A au niveau " haut ", d'ailleurs réservé à la configuration en entrée. Une sortie activée se traduit par sa mise à la masse (niveau 0), potentiel sous lequel elle peut fournir 25 mA. Après inversion par CI5 à CI8, ce potentiel redevient positif avec un courant suffisant pour attaquer un étage de puissance. Nous retrouvons ces signaux sur les connecteurs JS1 à JS4. Nous avons confié l'amplification du courant et l'adaptation de la tension des sorties aux circuits CI9 à CI12. Ce sont les très classiques, mais fiables ULN2803. Chaque circuit comporte huit réseaux de transistors Darlington inverseurs supportant chacun 50 V et 500 mA. De plus, ils sont équipés des diodes de protection anti-retour permettant ainsi de piloter directement des charges inductives (relais, moteurs, etc.). Il est évident que vous ne pouvez pas les exploiter au maximum de leurs possibilités. Un simple calcul vous le prouve : un courant de 0,5 A sur 32 sorties imposerait une alimentation de  $32 \times 0,5 = 16$  A. Imaginez la taille des pistes du circuit imprimé. Alors pourquoi avoir choisi ces circuits ? Tout simplement pour pouvoir commander des petits actionneurs sous 12 à 24 volts ne nécessitant que quelques milliampères, comme des relais par exemple. Le cavalier JP sert justement à choisir entre la tension du circuit (attention : très faible puissance), ou une tension externe plus musclée, ne dépassant pas 50 V.

Les sorties s'effectuent sur les connecteurs JS5 à JS8. Elles présentent un niveau logique 0 lorsqu'elles sont actives, ce qui explique la nécessité d'implanter des connecteurs offrant le positif commun pour un plus grand confort d'utilisation. Les condensateurs C1 à C8 décou-

plent la tension de chaque circuit intégré au plus près de ses broches d'alimentation et C9 filtre celle issue du connecteur I<sup>2</sup>C.

## Réalisation

Cette réalisation tient sur deux circuits imprimés. L'un supporte les 32 entrées, l'autre les 32 sorties. Vous n'avez aucun câblage externe à effectuer, les connecteurs I<sup>2</sup>C se raccordent entre eux sur chaque face des platines et ceux des entrées et des sorties sont directement soudés du côté cuivré (voyez la photo).

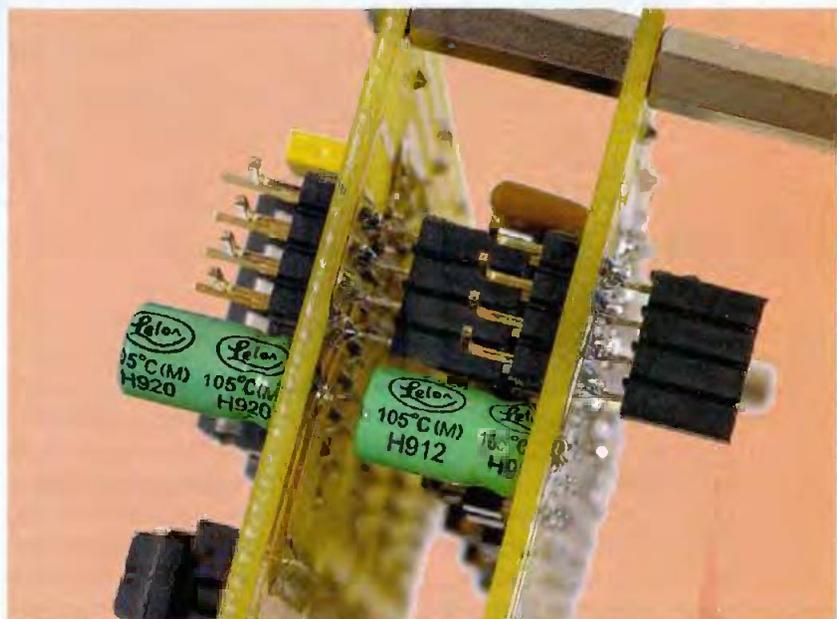
Sur les figures 3 et 4 les typons de ces deux platines. Il convient de reproduire ces circuits imprimés au moyen de la méthode photographique afin d'obtenir un résultat parfait et un fonctionnement électronique assuré. Après révélation et rinçage, passez à l'opération de gravure dans un bain de perchlore de fer agité. Prenez les précautions indispensables à la manipulation des produits chimiques. N'hésitez pas à rincer abondamment les circuits pour terminer. Procurez-vous les composants avant l'opération de perçage des pastilles, vous serez ainsi certain de respecter le diamètre de leurs pattes. N'omettez pas les quatre trous de fixation qui doivent correspondre parfaitement sur les deux platines.

Le câblage des composants impose le respect scrupuleux des implantations des figures 5 et 6. Vous pouvez travailler, par types de composants, sur les deux circuits en même temps. Commencez par souder les ponts de liaisons (straps), la carte des entrées en compte huit, celle des sorties en comporte douze. Poursuivez le câblage en fonction de la taille et de la fragilité des pièces.

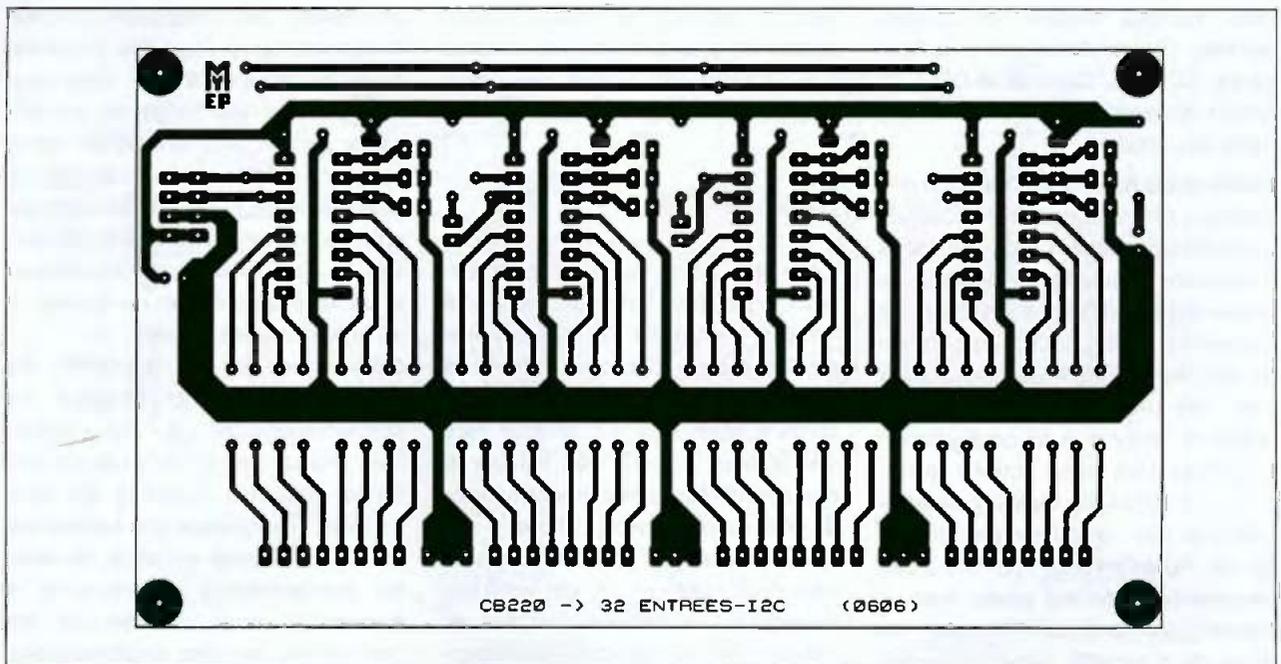
Commencez par les résistances, les supports de circuits intégrés, les connecteurs « JS1 » à « JS4 » constitués chacun de huit broches de barrettes sécables femelles de type " tulipe ", les réseaux de résistances, les condensateurs au mylar, les leds, les condensateurs chimiques et le bornier à deux vis. Soudez les broches de barrettes sécables mâles de type SIL, pour confectionner, avec des cavaliers, les organes de configuration « JA1 à JA4 », « JR » et « JP ». Prenez garde à ne pas créer un conflit d'adresses en positionnant les cavaliers.

Le connecteur I<sup>2</sup>C est constitué de quatre broches de barrettes sécables mâles coudées de type SIL. Il faut également implanter quatre broches mâles droites sur la face des composants et quatre femelles du côté cuivré, sur les soudures des précédentes. Cette opération, un peu délicate, assure le bon raccordement des cartes entre-elles.

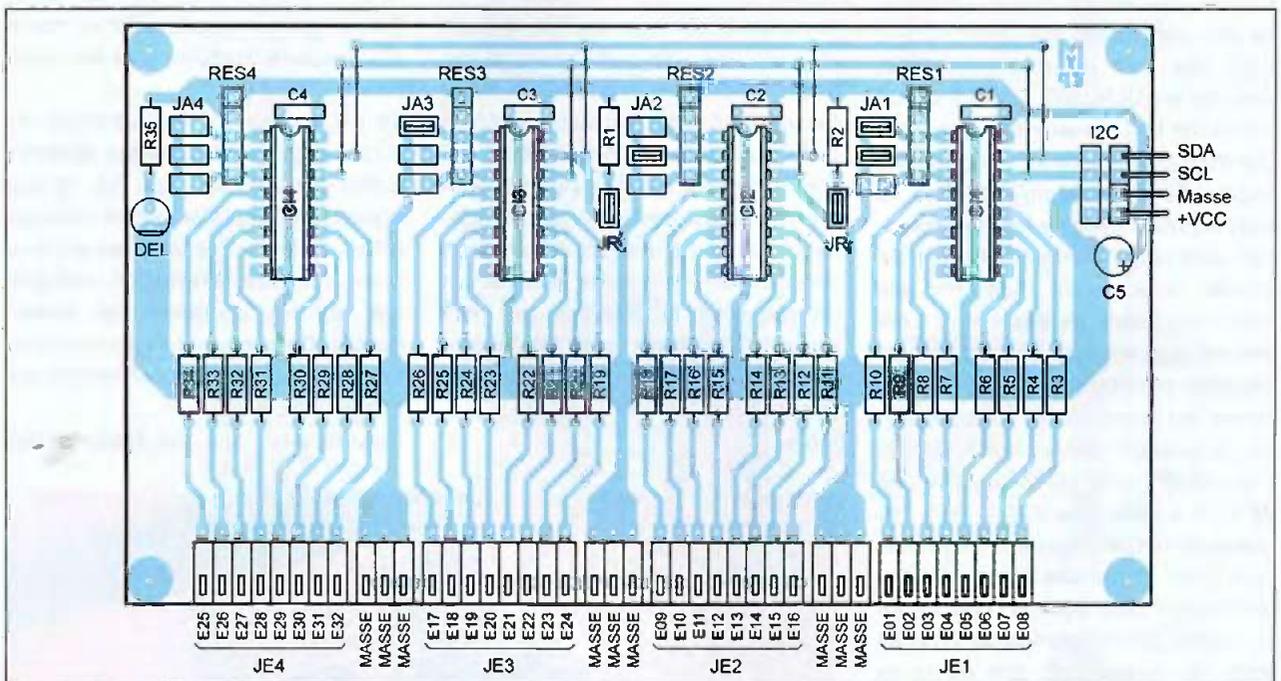
Assurez-vous que les fixations des



Raccordement des deux platines 32 entrées/32 sorties



**3** Circuit imprimé destiné aux 32 entrées



**5** Insertion des composants de la platine 32 entrées

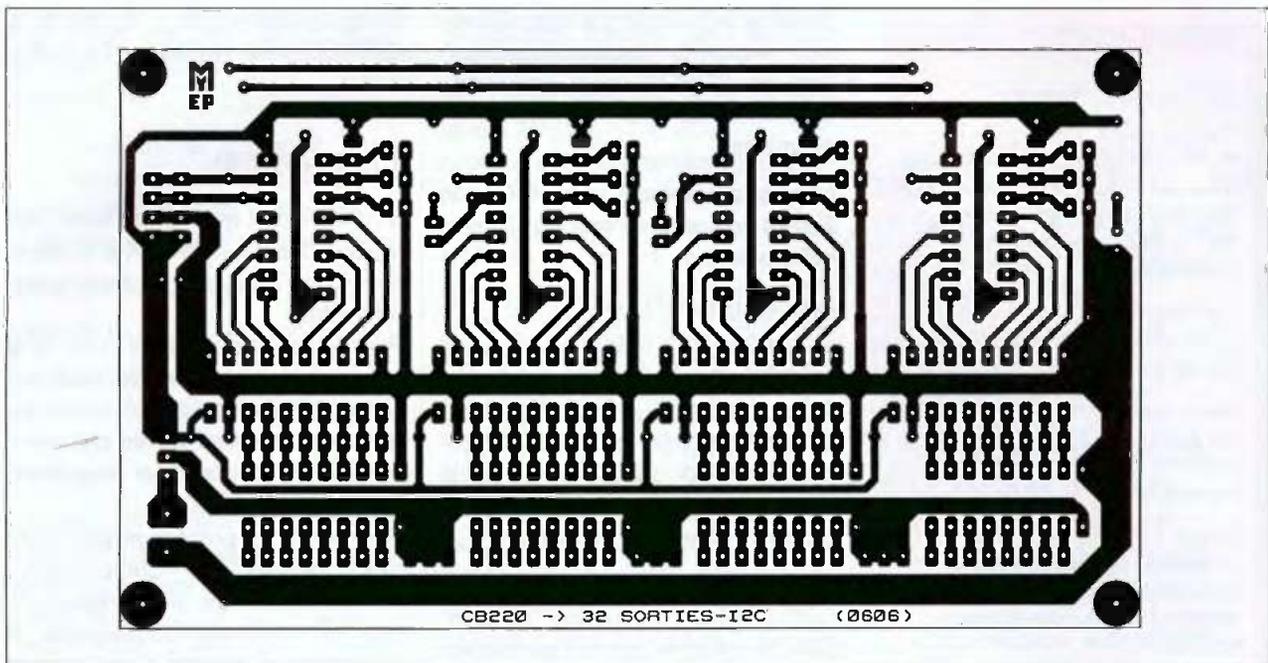
platines, à l'aide d'entretoises filetées, n'entravent pas les liaisons électriques. Choisissez de préférence des entretoises d'une longueur de 15 mm.

Les connecteurs d'entrées « JE1 à JE4 », de sorties « JS5 à JS8 », de masse et de « +COM » se soudent directement sur la face cuivrée. Nous avons employé des broches femelles de type SIL.

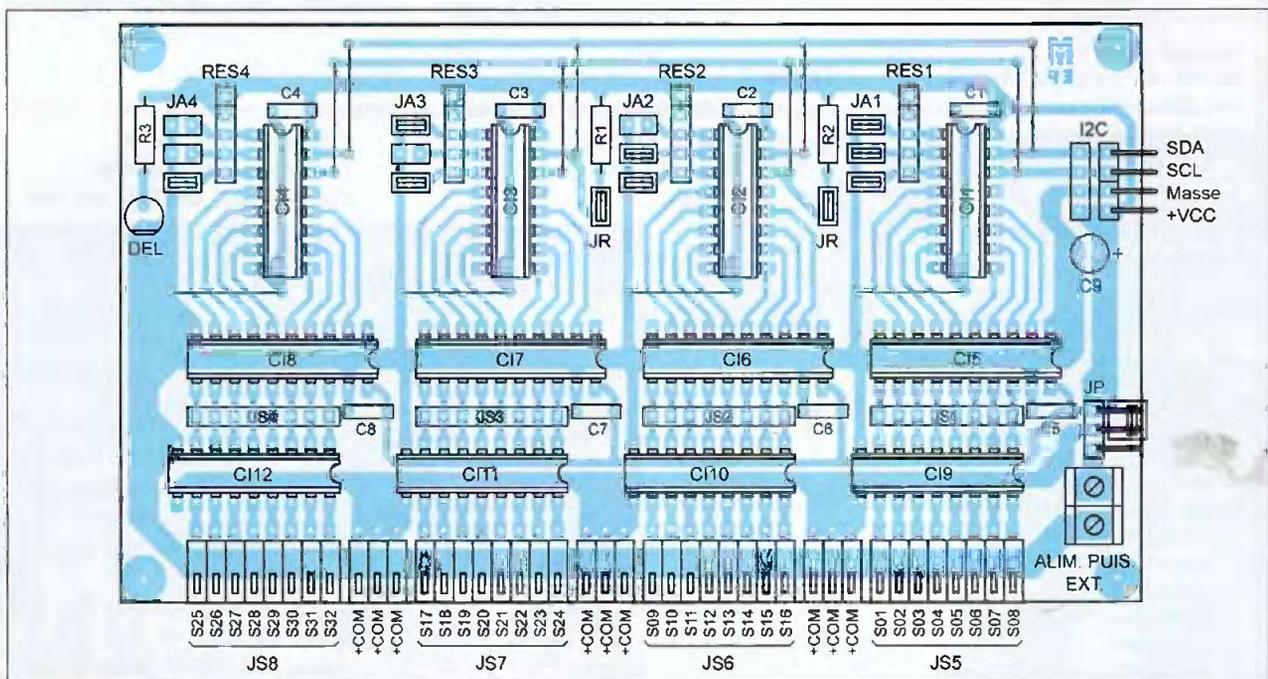
## Mise en service

Lorsque vous avez terminé le travail de câblage, contrôlez le sens des composants polarisés (circuits intégrés, led, condensateurs chimiques, réseaux de résistances). Prenez également le temps de vérifier minutieusement le bon état des pistes des circuits imprimés et la valeur des composants.

N'embrochez pas les circuits intégrés, ne reliez pas les deux platines entre-elles, mais raccordez le câble I<sup>2</sup>C et alimentez le programmeur de l'article précédent via un bloc secteur. Mesurez la tension en différents endroits, sur les supports des circuits intégrés, vous devez trouver 5 V et voir la led s'illuminer. Effectuez ces tests sur les deux cartes l'une après l'autre.



**4** Circuit imprimé destiné aux 32 sorties



**6** Insertion des composants de la platine 32 sorties

Votre réalisation est maintenant terminée. Hors tension, insérez les circuits dans leurs supports respectifs, vérifiez les adresses des circuits PCF8574 avec les cavaliers « JA1 à JA4 », reliez mécaniquement les deux platines entre-elles, les connecteurs I<sup>2</sup>C assurent la liaison électrique. Reliez par le câble I<sup>2</sup>C le programmeur de CB220 précédemment étudié à nos cartes de 32 entrées et 32 sor-

ties. Prenez garde au sens du câble. Il suffit de passer à l'étape de la programmation pour donner vie à votre réalisation.

### Programmation

Le microcontrôleur CB220 se programme très simplement via la liaison RS232 d'un PC. Reportez-vous au premier article étudié concernant la

carte I<sup>2</sup>C pour Cubloc CB220 et l'afficheur LCD pour de plus amples informations. Rappelons, pour nos nouveaux lecteurs, que ce microcontrôleur se programme à l'aide du logiciel « CublocStudio.EXE » de la société Comfile®. Il est gracieusement fourni, ainsi que la documentation française très complète, par la société Lextronic® sur son site Internet :

## Nomenclature

### CARTE DES ENTRÉES

#### Résistances 5 %

R1, R2 : 4,7 kΩ (jaune, violet, rouge)  
 R3 à R34 : 1 kΩ (marron, noir, rouge)  
 R35 : 680 Ω (bleu, gris, marron)  
 RES1 à RES4 : Réseaux de  
 4 résistances de 4,7 kΩ

#### Condensateurs

C1 à C4 : 100 nF (mylar)  
 C5 : 22 à 47 μF/25 V

#### Semiconducteurs

CI1 à CI4 : PCF8574  
 Led 3mm (haute luminosité  
 de préférence)

#### Divers

4 Supports de circuits intégrés  
 à 16 broches  
 Barrette sécable mâle et femelle  
 type SIL  
 Cavaliers de configuration  
 Visserie de 3 mm (entretoises filetées,  
 vis, écrous).

### CARTE DES SORTIES

#### Résistances 5 %

R1, R2 : 4,7 kΩ (jaune, violet, rouge)  
 R3 : 680 Ω (bleu, gris, marron)  
 RES1 à RES4 : Réseaux de  
 4 résistances de 4,7 kΩ

#### Condensateurs

C1 à C8 : 100 nF (mylar)  
 C9 : 22 à 47 μF/25 V

#### Semiconducteurs

CI1 à CI4 : PCF8574  
 CI5 à CI8 : 74HCT540 ou 74HC540  
 CI9 à CI12 : ULN2803  
 Led 3mm (haute luminosité  
 de préférence)

#### Divers

4 Supports de circuits intégrés  
 à 16 broches  
 4 Supports de circuits intégrés  
 à 18 broches  
 4 Supports de circuits intégrés  
 à 20 broches  
 Barrette sécable mâle et femelle  
 type SIL  
 1 Bornier à 2 vis au pas de 5,08 mm  
 Cavaliers de configuration  
 Visserie de 3 mm (entretoises filetées,  
 vis, écrous)

"<http://www.lextronlc.fr/Comfile/cubloc/PP.htm>".

Nous avons développé un programme basic de tests, bien commenté, que vous pouvez télécharger gratuitement sur le site Internet du magazine à l'adresse :

"<http://www.electroniquepratique.com>". Les lecteurs n'ayant pas l'opportu-

unité de se connecter à Internet peuvent l'obtenir en adressant à la rédaction un CDROM sous enveloppe auto-adressée et suffisamment affranchie.

Chaque programme pour le Cubloc CB220 comporte en fait deux fichiers indissociables.

Les nôtres se nomment :

« CB220\_I2C\_64ES.CUL » et  
 « CB220\_I2C\_64ES.CUB ». Lorsque vous êtes sous « CublocStudio », ouvrez le premier et lancez la programmation du CB220 par la petite icône représentant une flèche triangulaire orientée vers la droite.

Si vous n'arrivez pas à programmer le CB220, il faudra peut être, au préalable, procéder à la mise à jour de son « firmware » (comprenez : logiciel interne du constructeur).

À cet effet, consultez la « F.A.Q. » à la

fin de la notice « .PDF » du manuel du CUBLOC pour réaliser cette opération.

## Programme

Il consiste tout simplement à lire l'état logique des 32 entrées et à le reporter sur les 32 sorties en boucle permanente.

Pour forcer une entrée, il suffit de la relier à la masse. Pour voir l'état des sorties, vous pouvez leur connecter des leds, convenablement orientées, limitées en courant par des résistances de 470 à 680 Ω.

Vous avez vu précédemment comment programmer un Cubloc CB220 en basic. Nous ne détaillerons donc que les nouvelles particularités et notamment la création d'une fonction personnelle.

Voyons comme exemple la fonction « ENTRER » servant à lire l'état des

Tableau 1

Function ENTRER (NUM As Byte) As Byte

Dim A As Byte	'Variable locale A
Dim ADR As Byte	'Variable locale ADR
ADR=65	'Valeur par défaut en cas d'erreur
If NUM<8 Then	'Les 8 choix d'un PCF8574
ADR=NUM*2	
ADR=ADR+65	'Définition de l'adresse
End If	
If NUM>9 And NUM<18 Then	'Les 8 choix d'un PCF8574A
ADR=(NUM-10)*2	
ADR=ADR+113	'Définition de l'adresse
End If	
I2cstart.	'Envoi de la condition de DEPART
A=I2cwrite(ADR)	'Envoi de l'ADRESSE du composant
ENTRER=I2cread(0)	'Lecture du port du PCF dans ENTRER
I2cstop	'Envoi de la condition de FIN
End Function	

Tableau 2

DEBUT:

For I=4 To 7	'Balayage des 4 PCF8574 configurés en entrée
VA=255-ENTRER(I)	'Lecture et inversion du résultat
NO=I-4	'Détermination du PCF8574 correspondant en sortie
SORTIR NO,VA	'Envoi de la valeur sur le port (vu précédemment)
Next	'Fermeture de la boucle
Goto DEBUT	'Bouclage du programme sur lui-même

huit lignes du port du PCF8574 de votre choix via la liaison I<sup>2</sup>C (**tableau 1**).

Une fonction se distingue d'une sous-routine car elle effectue un traitement, généralement mathématique, et renvoie une valeur en retour.

Notre fonction s'utilise de la sorte :

« variable = ENTRER (no) ».

- « variable » correspond à une variable d'un octet (format « byte ») destinée à recevoir en retour la valeur lue sur le port du PCF8574.

- « no » correspond au numéro du PCF8574 à adresser (0 à 7 pour un PCF8574 ayant pour adresse auxiliaire 0 à 7 et 10 à 17 pour un PCF8574A ayant pour adresse auxiliaire 0 à 7) sous forme numérique ou d'une variable.

Le programme effectuant la lecture des 32 entrées pour envoyer ces valeurs sur les 32 sorties se trouve

grandement simplifié car il tient sur sept lignes (**tableau 2**) !

Nous voici arrivés au terme de cette étude.

Avec les connaissances et les réalisations en votre possession, vous devriez parvenir assez aisément à réaliser vos propres applications en matière de domotique et de robotique à base du microcontrôleur Cubloc CB220.

Vous n'utilisez que deux lignes du microcontrôleur pour gérer un afficheur LCD de 4 x 20 caractères, 32 entrées et 32 sorties.

N'oubliez pas de faire usage des fonctions logiques de base « OR » et « AND » pour travailler sur l'entrée ou la sortie voulue.

Restent à votre disposition toutes les autres lignes du microcontrôleur permettant, par exemple, l'acquisition analogique et la génération de signaux MLI ou PWM.

**Y. MERGY**

## Bibliographie

- *Électronique Pratique* N°306 : Les afficheurs alphanumériques LCD page 10.

- *Électronique pratique* n° 308 : Article précédent concernant le CB220 et le port I<sup>2</sup>C.

(1) - Adaptation d'un afficheur LCD de 4 x 20 caractères.

- Dunod ETSF : « Montages pour écrans graphiques » de Guy Ehretsmann.

- Documentation française sur le Cubloc CB220 gracieusement publiée par Lextronic.

**PCB-POOL®**  
Prix très compétitifs pour des PCB prototypes

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

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

VENEZ NOUS VOIR AU SALON FEMO 2006  
Paris-Expo, Porte de Versailles, 17. - 19. Octobre  
HALL 7/3 STAND K 84

ROHS / WFL  
0200-903-630

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

**WWW.PCB-POOL.COM**

Logos: p-cad, TAMEC, ATAGI, EDWIN, orcad, GraphiCode, PHOTOC, MicroPlot, Easy-PCB, Sprint

**arquié composants**  
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°63**

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

**Nouveau catalogue N°63**

**BON pour CATALOGUE FRANCE: GRATUIT** (8.00 € pour DOM, TOM, UE et autres pays)

Nom:..... Prénom:.....  
Adresse:.....  
Code Postal:..... Ville:.....

# Terminal de saisie pour Bus USB



**Le montage que nous vous proposons dans ces pages permet de piloter un afficheur LCD et un clavier 16 touches au travers d'une liaison USB**

Il est accompagné d'un programme de démonstration très simple que vous pourrez très facilement adapter à vos besoins. Les fonctions qui pilotent ce montage sont regroupées dans une bibliothèque dynamique (DLL) que vous pourrez utiliser facilement dans une feuille Excel.

## Schéma

Le schéma de notre montage est reproduit en **figure 1**. Une fois de plus, le cœur du montage est un microcontrôleur 68HC908JB8 qui intègre un gestionnaire de protocole USB ainsi que la plupart des fonctions qui sont nécessaires à notre application (oscillateur, mémoire flash pour le programme, mémoire RAM, etc.).

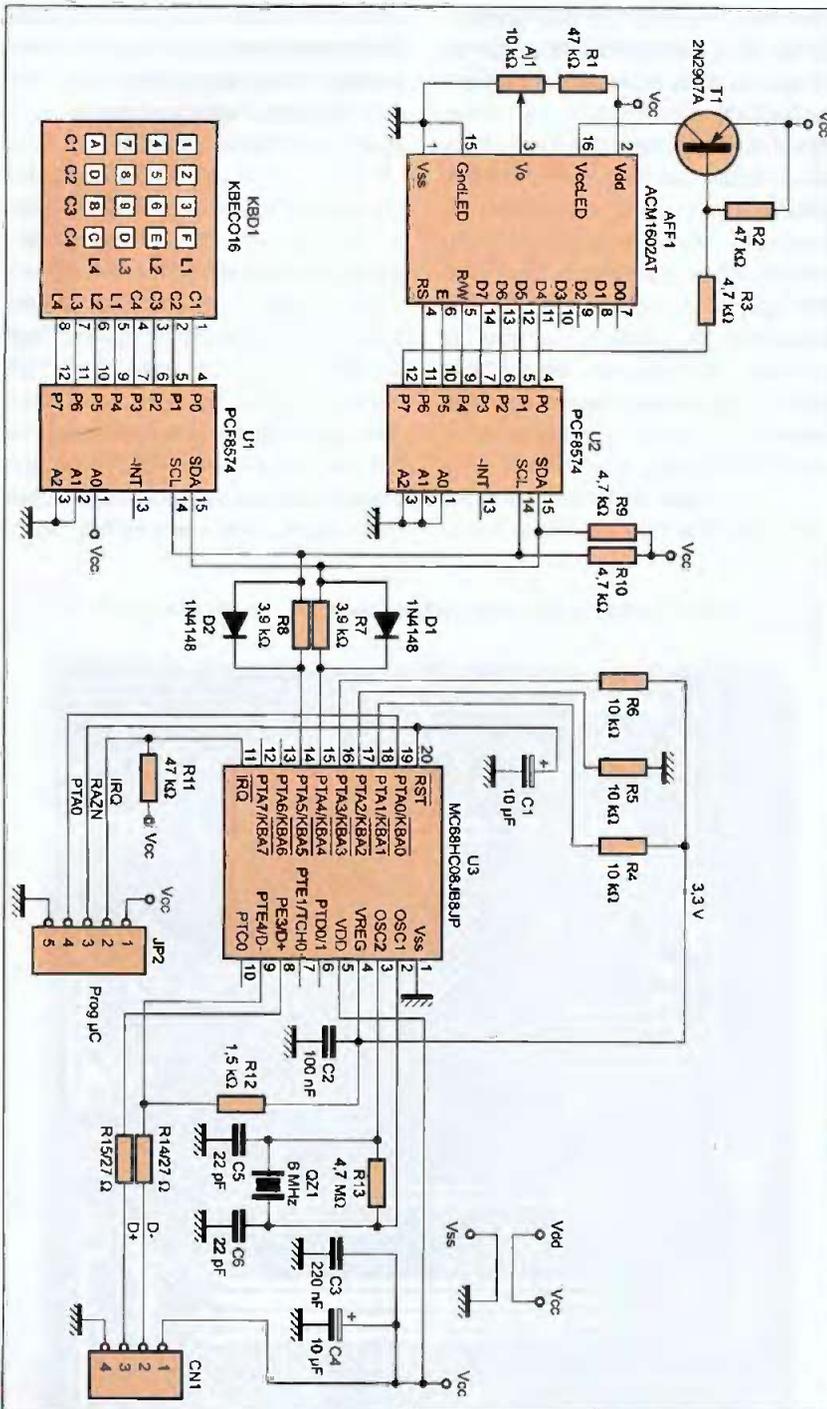
Les ports disponibles sur notre microcontrôleur ne sont pas assez nombreux pour piloter directement le clavier et l'afficheur LCD. C'est pourquoi nous avons fait appel à des extensions de ports 8 bits (U1 et U2) qui seront pilotés au travers d'un bus

I2C, lequel sera simulé au travers des ports PTA4 et PTA5. Les résistances R7 à R10 associées aux diodes D1 et D2 permettent d'adapter le niveau des signaux SDA et SCL de la liaison I2C, car notre microcontrôleur 68HC908JB8 fonctionne de façon interne sous 3,3 V (grâce à un régulateur interne).

La sortie du régulateur (U3, broche 4) sera utilisée pour fournir la tension de référence à l'état " haut ", pour quelques entrées du microcontrôleur uniquement.

L'adresse I2C des circuits U1 et U2 est fixée en partie par la référence commerciale du composant (PCF8574 ou bien PCF8574A) et par l'état des entrées A0 à A2 des circuits concernés. Le logiciel du microcontrôleur existe en deux versions pour vous permettre d'approvisionner la référence de votre choix. Notez cependant que vous devrez utiliser la même référence commerciale pour les circuits U1 et U2 (ne mélangez pas un PCF8574 avec un PCF8574A). Les sorties du circuit U1 pilotent directement les lignes et les colonnes du clavier de notre appareil. Le logiciel associé à notre montage se chargera de placer successivement les lignes puis les colonnes à l'état " haut " pour déterminer si une touche est enfoncée. La structure des sorties à collecteur ouvert du circuit U1 est particulièrement bien adaptée à cette gestion car chaque fois qu'une touche est enfoncée, elle met en contact une ligne (ou une colonne) qui est à l'état " bas " avec une colonne (ou une ligne) qui est à l'état " haut ". Grâce à la structure à collecteur ouvert, c'est l'état " bas " qui l'emporte ce qui permet, par relecture de l'état du port, de déterminer quelle touche est enfoncée.

Le circuit U2 se chargera, quant à lui, de piloter l'afficheur LCD. Pour limiter



## 1 Principe de fonctionnement

le nombre de signaux nécessaires, nous avons choisi de piloter l'afficheur en mode 4 bits.

Cela permet de libérer des signaux sur le circuit U2 afin de piloter les signaux de contrôle de l'afficheur LCD et la commande du rétro-éclairage de ce dernier.

À ce sujet, veuillez noter que de nombreux afficheurs LCD du commerce sont compatibles avec l'afficheur que nous avons choisi pour ce montage.

Cependant, la compatibilité du brochage pour le rétro-éclairage n'est pas toujours vraie à 100 % (broches 15 et 16 de l'afficheur).

Vérifiez bien où se trouvent l'anode et la cathode de l'afficheur que vous approvisionnez, sinon, l'utilisation de la fonction rétro-éclairage pourrait provoquer un court-circuit sur le montage. Celui-ci étant alimenté directement à partir de la prise USB de votre PC (sous 5 V), un tel court-

circuit se répercuterait directement sur le port USB de votre machine.

En situation normale, la consommation globale de la carte sera de l'ordre de 250 mA. Il n'y aura donc pas de difficulté pour alimenter l'intégralité du montage via la prise USB (500 mA max). Cependant, veuillez noter que certains PC portables peuvent avoir des difficultés pour fournir le courant maximum autorisé sur les prises USB. Si vous souhaitez raccorder ce montage à un PC portable, il sera utile de vérifier dans votre documentation les limitations éventuelles de votre matériel. Cette remarque concerne également l'utilisation des « HUB USB ».

Sans alimentation externe, les ports d'un « HUB USB » partagent le courant fourni par la prise USB raccordée au PC, ce qui limite les possibilités globales d'alimentation. D'ailleurs, certains PC portables intègrent un « HUB USB » sans le préciser, pour disposer de plusieurs ports USB en sortie, ce qui explique pourquoi de nombreux PC portables sont limités de ce côté là.

Le raccordement du montage via un « HUB » impose donc l'utilisation d'un bloc d'alimentation externe.

Le reste du schéma est très classique et si vous lisez régulièrement ces pages, vous devriez être familier avec les explications succinctes qui suivent. L'oscillateur interne du microcontrôleur est mis en œuvre à l'aide du quartz QZ1 associé à C5 et C6. La résistance R13 assure la polarisation de l'oscillateur interne. Les résistances R14 et R15 protègent et adaptent les lignes USB tandis que la résistance R12 permet à l'ordinateur hôte de déterminer le mode de fonctionnement de la liaison USB (notre montage utilise le mode USB 1.0 en basse vitesse).

Enfin, ajoutons que le connecteur JP2 regroupe les signaux nécessaires pour programmer le microcontrôleur en mode « in-situ ». Les résistances R4, R5 et R6 fixent l'état des entrées de configuration du microcontrôleur pour que ce dernier accepte de passer en mode programmation, selon les sollicitations des signaux fournis par JP2.

## Réalisation

Le circuit imprimé de notre montage a été conçu en double face, pour éviter les nombreux straps qui auraient été sinon inévitables. La réalisation d'un tel circuit est un peu plus complexe que pour les montages habituellement proposés dans ces pages, mais avec un peu d'attention, il est facile de le réaliser avec un banc à insoler simple face. Il suffit juste de bien protéger la face opposée au moment d'exposer le circuit présensibilisé aux UV.

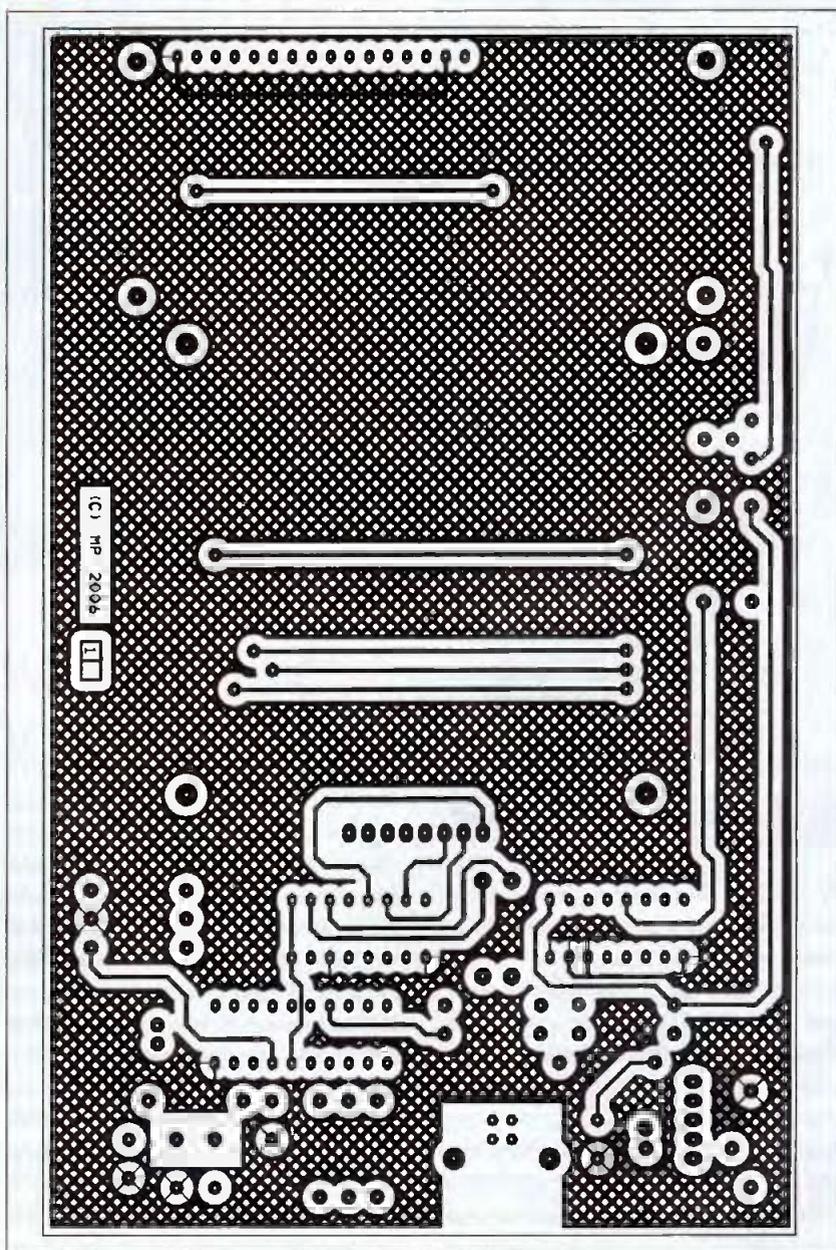
Les dessins du typon de notre circuit sont représentés en **figures 2 et 3**. La vue d'implantation associée est reproduite en **figure 4**. Vous notez que les figures 2 et 3 doivent être imprimées à l'envers afin de superposer les films de telle façon que la partie imprimée soit en contact direct avec la plaque photosensible (pour éviter les phénomènes de diffusion). Pour vous aider à imprimer facilement le typon, avec les deux figures mises en regard, vous pourrez vous procurer le document nommé « film.pdf » (au format PDF) sur le serveur Internet de notre revue (<http://www.electroniquepratique.com>), avec les fichiers programmes associés à ce montage.

Ensuite, vous devrez positionner les deux figures du typon parfaitement en vis-à-vis. Lorsque les figures sont bien alignées, il est préférable de les immobiliser à l'aide d'un bout de ruban adhésif. Ensuite, vous pourrez intercaler facilement la plaque présensibilisée entre les deux faces du typon. Pour insoler un circuit imprimé double face avec un banc simple face il faut décacheter les deux faces de la plaque photosensible en même temps et immobiliser la plaque en sandwich à l'intérieur du film. Ainsi, lorsque vous retournerez la plaque pour insoler la deuxième face, le typon restera bien positionné, ce qui est indispensable pour que les pastilles de la face supérieure soient bien alignées avec celles de la face inférieure. Une fois que les deux faces de votre circuit imprimé auront été insolées, vous pourrez révéler et graver celui-ci comme vous le faites habituellement pour un circuit simple face.

Lors de l'implantation des composants, vous devrez souder certaines pattes des deux côtés, pour compenser l'absence de trous métallisés (à moins que vous ayez les moyens de faire réaliser un circuit avec trous métallisés par un service professionnel, mais, dans ce cas, le circuit imprimé vous coûtera dix fois plus cher que les composants du montage !). Pour vous aider à identifier les pastilles à souder des deux côtés, vous pourrez vous aider de la **figure 5**. Certaines traversées se font à l'aide des pattes des composants, d'autres (que l'on appelle des vias) nécessitent un bout de fil (ou la

chute d'une patte de résistance) que l'on insère dans le trou. Certaines traversées utilisent les pattes des circuits intégrés. Dans ce cas, si vous voulez monter les circuits sur des supports, il faudra impérativement choisir des supports de type "tulipe" pour vous permettre de souder certaines broches sur la face des composants. Enfin, vous noterez que certains condensateurs de découplage doivent aussi être soudés sur les deux faces du circuit imprimé. Lors de l'implantation, prévoyez donc de les monter un peu plus haut sur les pattes, pour pouvoir accéder au côté composants avec votre fer à souder.

### 2 Face cuivrée vue du côté " composants "



Une fois le montage assemblé, vous devrez programmer le microcontrôleur 68HC908JB8 avec le contenu des fichiers que vous pourrez vous procurer par téléchargement sur le serveur Internet de la revue :

(<http://www.electroniquepratique.com>).  
Le fichier nommé « USB\_KEY\_LCD.S19 » permet au microcontrôleur de fonctionner avec des circuits PCF8574 (voir U1 et U2) tandis que le fichier nommé « USB\_KEY\_LCD\_A.S19 » permet d'utiliser des circuits PCF8574A. Rappelons que les circuits U1 et U2 doivent porter la même référence commerciale pour

que le programme puisse fonctionner (ne mélangez pas un PCF8574 avec un PCF8574A).

Avant de raccorder le montage à votre PC, vous devrez auparavant installer le pilote USB qui correspond au nouveau périphérique que vous venez de fabriquer. Pour installer le pilote en question il suffit de lancer le programme « usbio\_el.exe » qui vous sera remis avec les fichiers téléchargés. Si vous avez déjà installé ce pilote par le passé (pour d'autres montages utilisant le microcontrôleur 68HC908JB8), il n'est pas nécessaire de renouveler l'opération.

Une fois que le pilote USB est instal-

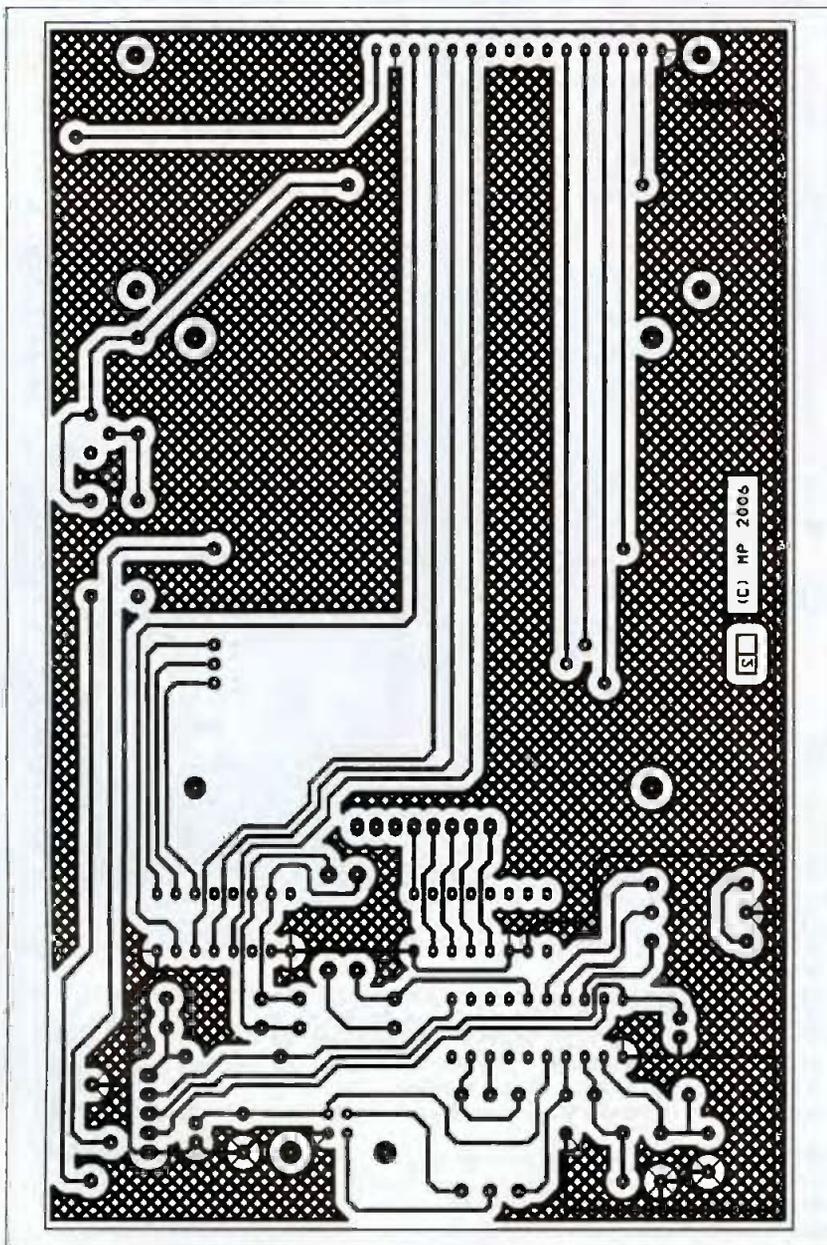
lé, vous pourrez connecter le montage à l'un des ports USB de votre PC. Votre ordinateur devrait alors détecter l'ajout d'un nouveau périphérique USB (ou bien simplement détecter le branchement du montage, si vous avez déjà réalisé des maquettes avec le microcontrôleur 68HC908JB8). Rappelons que lors de la détection du nouveau périphérique, la procédure d'installation automatique du driver ne trouve pas automatiquement le fichier nommé «usbio\_el.sys ». Si vous avez choisi d'installer le pilote USB dans le répertoire par défaut, le fichier requis devrait se trouver à l'emplacement suivant : « C:\Program Files\Thesycon\USBIO\_LightELV1.5\1\usbio ». Il vous suffit d'utiliser l'option « Parcourir » pour indiquer à la procédure d'installation où se situe le fichier demandé.

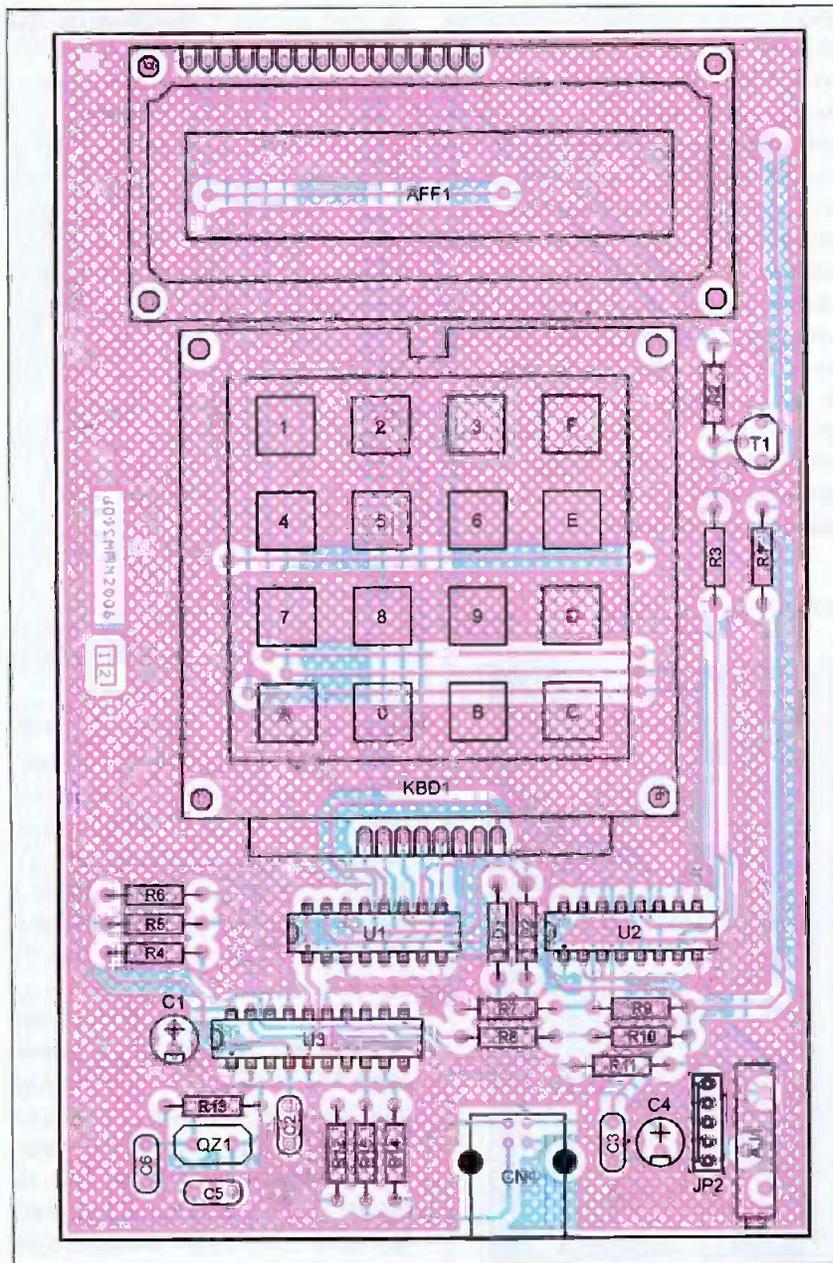
Pour tester votre nouveau périphérique, nous vous proposons le programme «DemoUsbkeyLcd.exe» que vous pourrez placer dans le répertoire de votre choix sans oublier d'y ajouter le fichier « DllUsbkeyLcd.dll » (ces fichiers font partie de l'archive à télécharger sur le serveur Internet de la revue).

Le programme « DemoUsbkeyLcd » exploite les fonctions encapsulées par la DLL mentionnées ci-dessus et propose une interface d'utilisation très simple pour piloter l'afficheur et le clavier du montage (voir la **figure 6**). Si vous êtes à l'aise avec le langage C++, vous pourrez vous inspirer des fichiers sources du programme «DemoUsbkeyLcd» pour construire une application plus complète et adaptée à vos besoins. Le fichier d'entête qui contient la déclaration des fonctions de la DLL (DllUsbkeyLcd.h) et la librairie d'importation (DllUsbkeyLcd.lib) sont également inclus avec les fichiers qui vous seront remis lors du téléchargement.

Notez qu'il est possible d'utiliser les fonctions de la DLL en langage Visual Basic et qu'il n'est pas nécessaire de disposer d'un compilateur pour cela. L'utilisation du langage Macro d'un tableur Excel suffit. Vous trouverez en **figure 7** la syntaxe à respecter pour déclarer les fonctions en Visual Basic. Mais avant de lancer le tableur Excel,

### 3 Face cuivrée vue du côté "soudures"





## 4 Insertion des composants

## 7 Syntaxe à respecter pour déclarer les fonctions en Visual Basic

```

-----
'Fonction de gestion du service
-----
Public Declare Function OpenUSB Lib "DllUsbKeyLCD.dll" () As Boolean
Public Declare Function CloseUSB Lib "DllUsbKeyLCD.dll" () As Variant

-----
'Fonction de gestion de l'afficheur LCD
-----
Public Declare Function LCDPutchar Lib "DllUsbKeyLCD.dll" (ByVal x As Byte) As Variant
Public Declare Function LCDPuts Lib "DllUsbKeyLCD.dll" (ByVal x As String) As Variant
Public Declare Function LCDSetPos Lib "DllUsbKeyLCD.dll" (ByVal x As Byte) As Variant
Public Declare Function LCDClr Lib "DllUsbKeyLCD.dll" () As Variant
Public Declare Function LCDSetLight Lib "DllUsbKeyLCD.dll" (ByVal x As Boolean) As Variant

-----
'Fonction de gestion du clavier
-----
Public Declare Function KBDGetchar Lib "DllUsbKeyLCD.dll" () As Byte
    
```

## Nomenclature

### Condensateurs

C1, C4 : 10  $\mu$ F / 25 volts, sorties radiales  
 C2 : 100 nF  
 C3 : 220 nF  
 C5, C6 : 22 pF

### Résistances

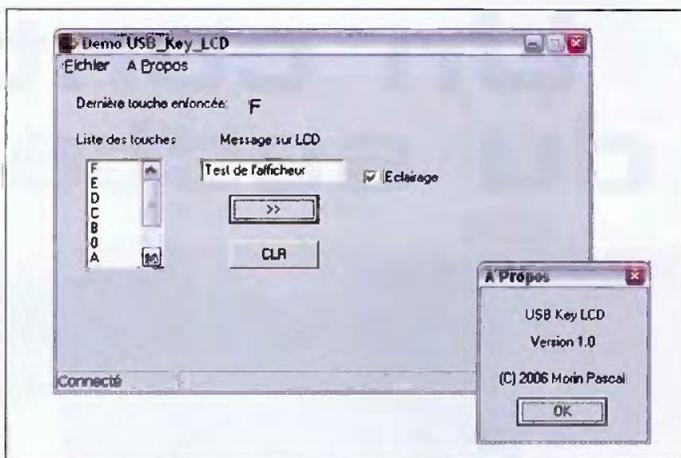
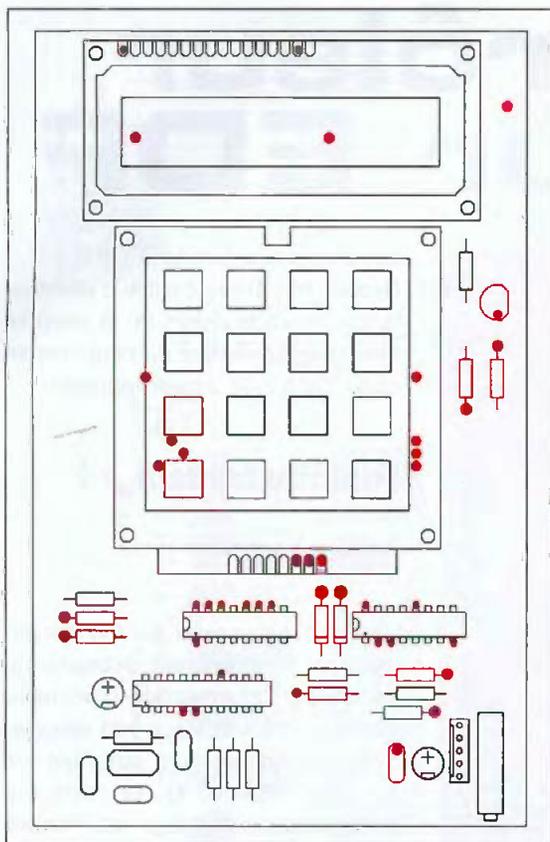
R1, R2, R11 : 47 k $\Omega$  1/4 W-5 %  
 (Jaune, Violet, Orange)  
 R3, R9, R10 : 4,7 k $\Omega$  1/4 W-5 %  
 (Jaune, Violet, Rouge)  
 R4, R5, R6 : 10 k $\Omega$  1/4 W-5 %  
 (Marron, Noir, Orange)  
 R7, R8 : 3,9 k $\Omega$  1/4 W-5 %  
 (Orange, Blanc, Rouge)  
 R12 : 1,5 k $\Omega$  1/4 W-5 %  
 (Marron, Vert, Rouge)  
 R13 : 4,7 M $\Omega$  1/4 W-5 %  
 (Jaune, Violet, Vert)  
 R14, R15 : 27  $\Omega$  1/4 W-5 %  
 (Rouge, Violet, Noir)

### Semiconducteurs

T1 : 2N2907A  
 U1, U2 : PCF8574 ou PCF8574A (voir le texte)  
 U3 : MC68HC08JB8JP  
 D1, D2 : 1N4148  
 AFF1 : Afficheur LCD 2 x 20 caractères ACM1602AT

### Divers

AJ1 : Ajustable multitours 10 k $\Omega$   
 CN1 : Embase USB (connecteur type B)  
 JP2 : Barrette mini-kk, 5 contacts, sorties droites, à souder sur circuit imprimé, référence MOLEX 22-27-2051.  
 KBD1 : Clavier 16 touches matricées.  
 QZ1 / Quartz 6 MHz en boîtier HC49/U



**6** Le programme *Demo Usbkey Lcd*

**5**  
*Pastilles à souder recto/verso pour établir les liaisons entre les deux faces du circuit imprimé*

il vous faudra installer le fichier « DllUsbkeyLcd.dll » dans le répertoire système de votre PC (généralement C:\WINNT\SYSTEM32 pour les PC fonctionnant sous Windows 2000 ou bien C:\WINDOWS\SYSTEM32 pour les autres).

P. MORIN

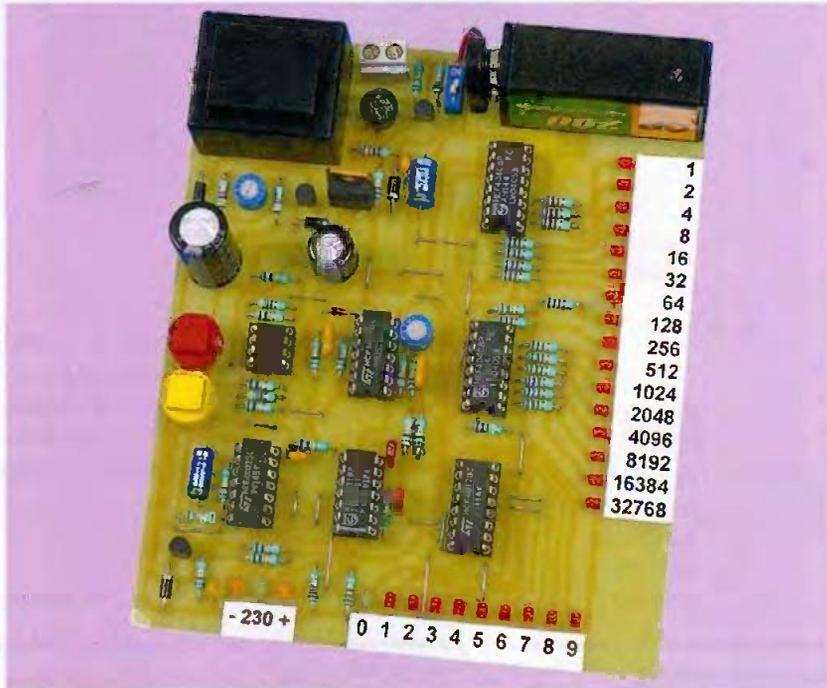
Coupon à retourner à: **Selectronic B.P 10050 • 59891 LILLE Cedex 9**

OUI, je désire recevoir le **Catalogue Général 2007 Selectronic** EP à l'adresse suivante (ci-joint 10 timbres-poste au tarif "lettre" en vigueur ou 5,50€ par chèque):

Mr. / Mme : ..... Tél : .....  
 N° : ..... Rue : .....  
 Ville : ..... Code postal : .....

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

# Un contrôleur du secteur EDF



**Certains appareils tels que les congélateurs, les éléments de chauffage, voire les ordinateurs, ne supportent guère des coupures plus ou moins prolongées du secteur de distribution 230 volts. De plus, pour un bon nombre d'appareils, des variations trop importantes de la tension d'alimentation peuvent perturber leur fonctionnement. Cela est vrai pour les surtensions, ou au contraire, pour les tensions trop faibles**

**L**e montage que nous vous proposons assure un contrôle permanent du secteur de distribution. En particulier, il mémorise et signale le

nombre et la durée des coupures de courant. De plus, il indique tout écart de plus de 5 % par rapport à la valeur nominale de la tension.

## Principe

Le montage est branché en permanence sur le secteur de distribution, par exemple sur une prise de courant. Un dispositif comparateur contrôle si la valeur de la tension d'alimentation ne se trouve pas éloignée de la valeur nominale, dans un sens ou dans l'autre, de plus de 5 %. Une led verte signale une situation conforme. Deux leds jaunes indiquent respectivement une tension trop faible ou trop forte.

Lorsqu'il se produit une coupure de courant, un chronométrage interne, alimenté par une batterie de sauvegarde, prend aussitôt le relais. Un autre compteur comptabilise le nombre de coupures qui se sont produites entre deux remises à zéro des compteurs. Bien entendu, et dans le but d'économiser le débit de la batterie, toutes les leds sont éteintes en

cas d'absence du secteur EDF. Néanmoins, il est possible d'effectuer la lecture de la durée de la coupure ainsi que du nombre de coupures en appuyant sur un bouton-poussoir.

## Fonctionnement

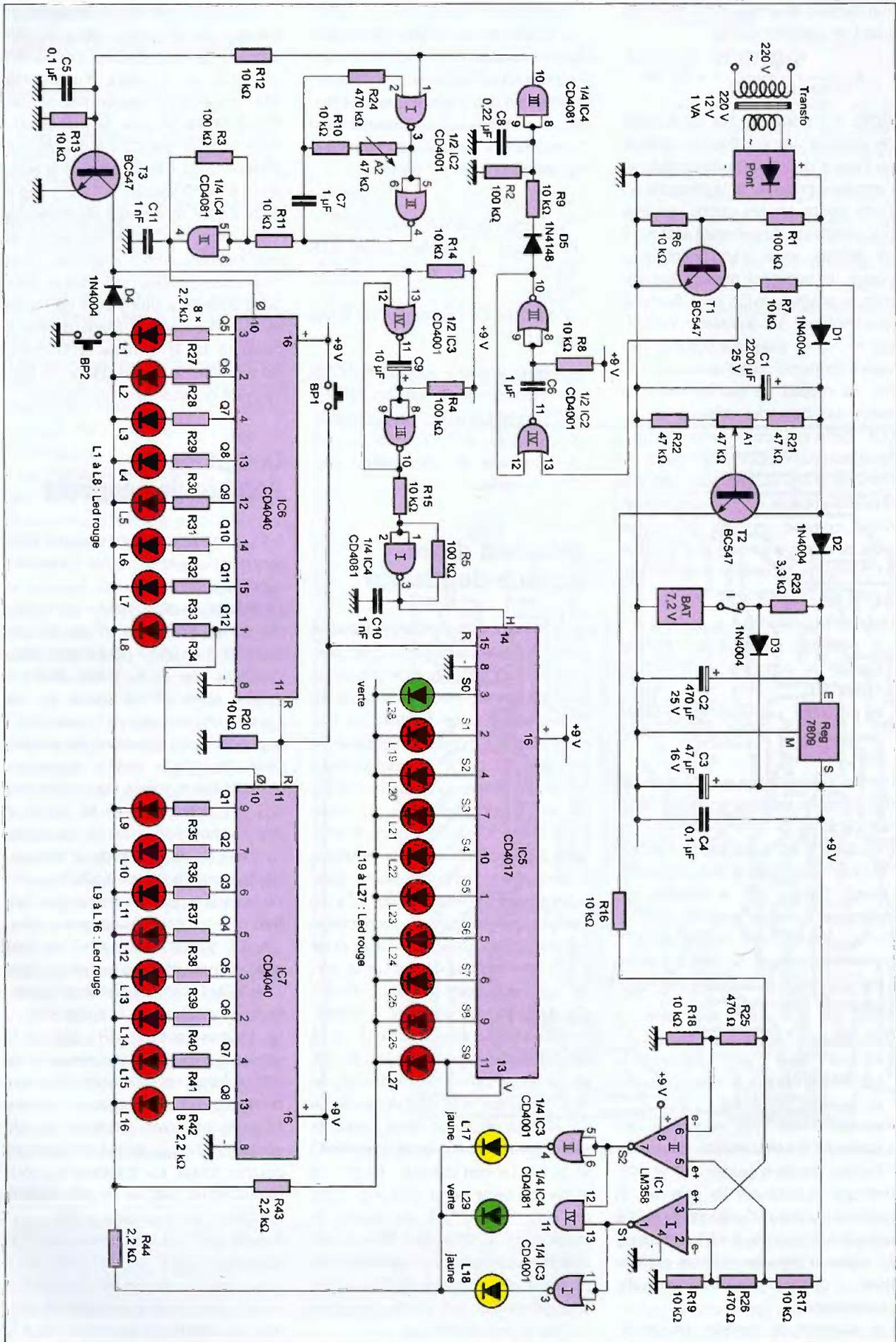
## Alimentation

L'énergie nécessaire au fonctionnement du montage est prélevée du secteur par l'intermédiaire d'un transformateur délivrant sur son enroulement secondaire un potentiel de 12 volts (**figure 1**). Un pont de diodes redresse les deux alternances tandis que la capacité C1 assure un premier filtrage. Par le biais de R23, la batterie de sauvegarde de 7,2 volts, est sous une charge permanente de l'ordre de 3 milliampères. La capacité C2 réalise un complément de filtrage. Il en est d'ailleurs de même en ce qui concerne C3, située en aval du régulateur 7809 lequel délivre sur sa sortie un potentiel stabilisé à 9 volts. La capacité C4 découple le montage de l'alimentation. En cas de coupure du secteur, la batterie alimente le montage par l'intermédiaire de la diode D3 sous un potentiel de 7,2 volts. L'interrupteur "I" permet d'isoler la batterie en cas de non utilisation du montage afin de ne pas la décharger inutilement.

## Contrôle de la tension du secteur

Le circuit intégré référencé IC1 contient deux ampli-op repérés (I) et (II). Les résistances R17, R26 et R19 forment un pont diviseur de potentiel. Sur l'entrée directe du comparateur (II), on relève un potentiel de :

$$9 \times \frac{R19 + R26}{R19 + R26 + R17} = 4,603 \text{ volts}$$



Sur l'entrée inverseuse du comparateur I, le potentiel est de :

$$9 \times \frac{R19}{R19 + R26 + R17} = 4,397 \text{ volts}$$

Grâce à l'ajustable A1, il est possible de prélever une fraction du potentiel de l'ordre de 20 volts disponible sur l'armature positive de la capacité C1. Cette valeur est elle-même une fraction constante du potentiel secteur. Si ce dernier varie d'un pourcentage donné, le potentiel mesuré sur l'armature positive de C1 varie du même pourcentage. Le transistor NPN/T2 est monté en émetteur commun suivant le principe du suiveur de potentiel. Au niveau de son émetteur, on relève un potentiel diminué de 0,6 volt (potentiel de jonction base - émetteur) par rapport à la source. Prenons le cas où l'on considère que le potentiel secteur a une valeur considérée comme correcte. Il convient alors de régler le curseur de l'ajustable A1 de manière à obtenir une valeur de 9 volts sur l'émetteur de T2.

Dans ces conditions :

- le potentiel présenté sur l'entrée directe du comparateur (I) est de 4,603 volts
- le potentiel présenté sur l'entrée inverseuse du comparateur (II) est de 4,397 volts

Rappelons les règles très simples qui régissent le fonctionnement d'un comparateur. Si le potentiel de l'entrée directe est supérieur à celui de l'entrée inverseuse, la sortie présente un état " haut ". Si la situation est inverse, la sortie est à l'état " bas ".

En appliquant ces règles au cas explicité ci-dessus, on déduit que les sorties des deux comparateurs présentent un état " haut ".

Il en résulte :

- un état " haut " sur la sortie de la porte AND IV de IC4, donc l'allumage de la led verte L29
- un état " bas " sur les sorties des portes NOR I et II de IC3, donc l'extinction des leds jaunes L17 et L18

Prenons maintenant le cas où le potentiel secteur chute de 5 %. Le potentiel disponible sur l'émetteur de T2 diminue dans les mêmes proportions : il passe donc à 8,55 volts. En conséquence :

- le potentiel de l'entrée directe du

comparateur (I) passe à 4,37 volts  
 - le potentiel de l'entrée inverseuse du comparateur (II) passe à 4,17 volts  
 Toujours en vertu des règles de fonctionnement des comparateurs, la sortie du comparateur (I) passe à l'état " bas " tandis que celle du comparateur (II) reste à l'état " haut ".

Il en résulte :

- l'extinction de la led verte L29
- l'allumage de la led jaune L18 signalisant ainsi une insuffisance de tension
- le maintien de l'extinction de la led jaune L17

Le lecteur vérifiera qu'à partir d'une augmentation de la tension secteur de 5 %, c'est la led L17 qui s'allume. La résistance R44 limite le courant dans les leds de signalisation évoquées ci-dessus.

## Détection d'une coupure du secteur

Les alternances redressées délivrées par le pont de diodes sont caractérisées par une fréquence de 100 Hz ce qui correspond à une période de 10 millisecondes. Une fraction de leur amplitude est dirigée sur la base du transistor T1 grâce au pont diviseur R1/R6. Au niveau du collecteur de T1, on relève alors des créneaux d'une période de 10 millisecondes et calibrés à l'amplitude de l'alimentation, c'est-à-dire 9 volts. Les fronts montants de ces créneaux sont pris en compte par la bascule monostable formée par les portes NOR III et IV de IC2. Cette dernière délivre sur sa sortie une succession d'états " haut " d'une durée de l'ordre de 7 millisecondes et avec une périodicité de 10 millisecondes. L'ensemble D5, R2, R9 et C8 constitue un dispositif intégrateur qui, grâce à la charge rapide de C8 et à sa décharge lente, présente aux entrées réunies de la porte AND III de IC4 un état pseudo " haut ". La sortie de cette porte présente donc un état " haut ". Il en résulte la conduction du transistor T3 qui permet ainsi aux leds éventuellement alimentées, de s'allumer. Nous verrons ultérieurement que cette situation bloque le chronométrage.

En revanche, dès qu'une coupure du secteur se manifeste, même si cette dernière est très brève, c'est-à-dire de l'ordre de la valeur d'une demie alternance (10 millisecondes), le transistor T1 se bloque, le monostable NOR III et IV de IC2 ne délivre plus d'états " haut " et la sortie de la porte AND III de IC4 passe à l'état " bas ". Il en résulte le blocage du transistor T3 et donc l'extinction de toutes les leds précédemment allumées. Cette disposition permet de limiter le débit de la batterie à une valeur de l'ordre de 8 milliampères. Étant donné la capacité de la batterie (200 mA), l'autonomie de l'alimentation de sauvegarde dépasse ainsi 24 heures.

## Comptage du nombre de coupures

Lors d'une coupure de courant, nous avons vu que le transistor T3 se bloquait. En conséquence, l'entrée 13 de la bascule monostable formée par les portes NOR III et IV de IC3 est soumise à un état " haut " par l'intermédiaire de R14. Cette bascule génère alors sur sa sortie un état " haut " d'une durée de l'ordre de 0,7 seconde. Cette impulsion est aussitôt prise en compte par le trigger de Schmitt formé par la porte AND I de IC4 qui reproduit sur sa sortie la même impulsion mais en lui conférant des fronts montants et descendants davantage « verticalisés » afin de la rendre apte à commander l'entrée de comptage du compteur décimal IC5 qui est un CD 4017. Ce dernier avance alors d'un pas. L'état " haut " qui était disponible sur la sortie Sn se déplace sur la sortie S n + 1. Le bouton-poussoir BP1 permet la remise à zéro de ce compteur. La led L28 en liaison avec la sortie S0 et qui correspond à la situation où aucune coupure ne s'est produite, est de couleur verte. Les autres leds sont de couleur rouge. La limitation du courant dans les leds en relation avec le compteur, est assurée par R43.

À noter que l'allumage de la led L27, correspondant à la 9<sup>ème</sup> coupure, a pour effet le blocage du compteur à cette valeur, par la soumission de l'entrée de validation V à un état " haut ".

## Chronométrage de la durée d'une coupure

Les portes NOR I et II de IC2 forment un oscillateur astable du type commandé. En cas de présence du secteur, l'entrée de commande 1 est soumise à un état " haut ".

L'oscillateur est alors en situation de blocage et sa sortie présente un état " haut " permanent. En revanche, dès que le secteur disparaît, l'entrée de commande de l'oscillateur est soumise à un état " bas ". Il entre aussitôt en action et délivre sur sa sortie des créneaux carrés caractérisés par une période de 62,5 millisecondes. Cette valeur sera obtenue par le réglage du curseur de l'ajustable A2, nous en reparlerons.

Les créneaux générés par l'oscillateur sont ensuite pris en compte par le trigger que forme la porte AND II de IC4. Ils sont par la suite dirigés sur l'entrée  $\emptyset$  d'un compteur binaire de 12 étages qui est un CD 4040 référencé IC6. La led L1 est raccordée à la sortie Q5, la led L2 à la sortie Q6 et ainsi de suite. La sortie Q12 est reliée à l'entrée  $\emptyset$  d'un second compteur du même type IC7 dont on utilisera les sorties Q1 à Q8. En définitive, cet ensemble de comptage permettra la réalisation d'une signalisation de comptage binaire matérialisée par 16 leds L1 à L16. Le principe de lecture est simple. La led L1 a comme valeur 1, la led L2 a pour valeur 2, L3 a pour valeur 4 et d'une manière générale, la led Ln a pour valeur  $2^{n-1}$ , suivant le **tableau 1**.

La sortie précédent la led L1, c'est-à-dire Q4, délivre un créneau caractérisé par une période de valeur  $T = t \times 24$ , soit  $16 \times t$  (t étant la période du créneau présenté sur l'entrée  $\emptyset$ ). La valeur de t étant de 62,5 millisecondes, la période T est donc de  $62,5 \times 16 = 1000$ , soit 1 seconde.

Pour connaître la durée de la coupure, exprimée en secondes, il suffit de

totaliser les nombres disposés en face des leds allumées. Le bouton-poussoir BP1 assure également la remise à zéro des compteurs IC6 et IC7. À noter qu'en cas de plusieurs coupures entre deux remises à zéro, ce sont les durées cumulées de toutes les coupures qui sont indiquées. Enfin, en cas de présence d'une coupure du secteur, étant donné que toutes les leds sont éteintes, si on désire prendre connaissance de l'affichage, il suffit d'appuyer sur le bouton-poussoir BP2.

## Réalisation

### Circuit imprimé

Le circuit imprimé appelle peu de remarques (**figure 2**). Il est cependant conseillé de se procurer auparavant les composants nécessaires afin d'être en mesure d'adapter éventuellement les cotes d'implantations qui présenteraient quelques différences avec celles qui ont fait l'objet de cet article, comme le transformateur ou le pont de diodes. Après gravure et

## 2 Dessin des pistes cuivrées

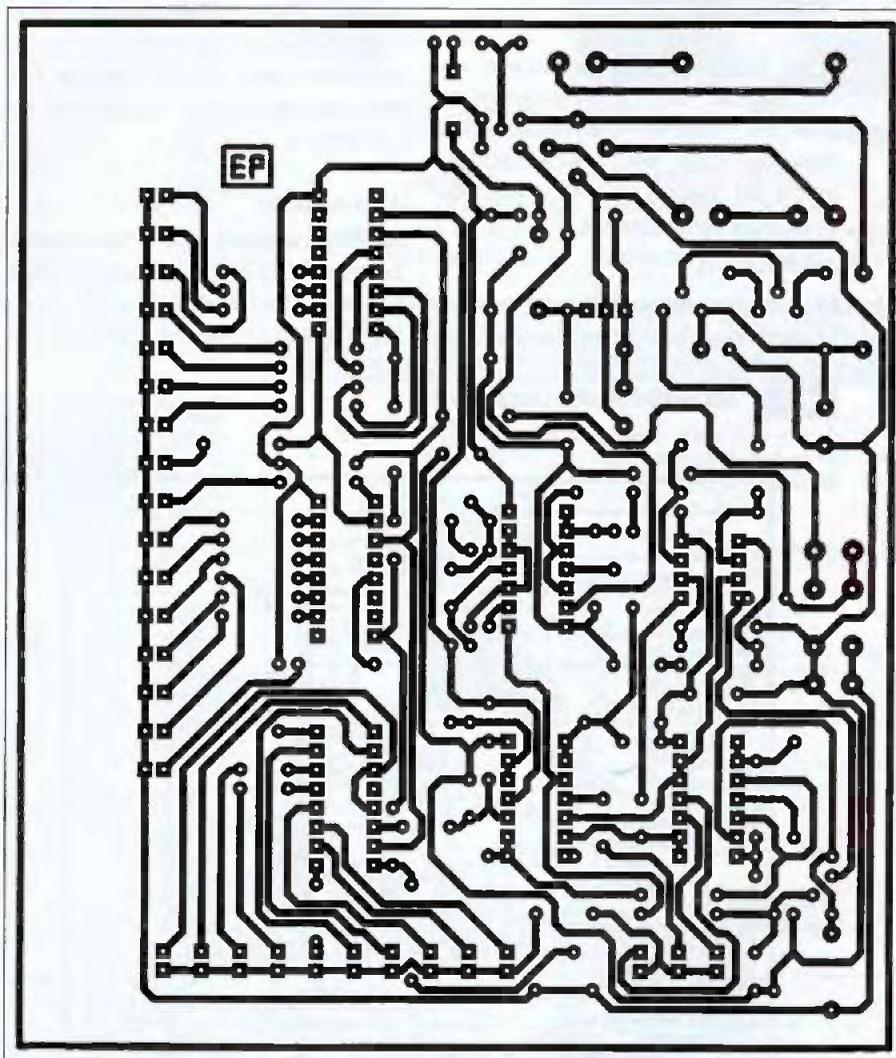


Tableau 1

L1	1	L5	16	L9	256	L13	4096
L2	2	L6	32	L10	512	L14	8192
L3	4	L7	64	L11	1024	L15	16384
L4	8	L8	128	L12	2048	L16	31768

rinçage du circuit, toutes les pastilles sont à percer avec un foret de 0,8 mm de diamètre. Certains trous sont à agrandir à 1 mm, voire à 1,3 mm, suivant les diamètres des connexions des composants les plus volumineux.

## Implantation des composants

Après la mise en place des différents straps de liaisons, on implantera dans un premier temps les diodes et les résistances (**figure 3**). Ensuite, ce sera le tour des supports de circuits intégrés, des leds, des capacités et des transistors. On terminera par les composants de plus grande hauteur. Attention au respect de l'orientation des composants polarisés. Les curseurs des ajustables seront placés en position médiane. La batterie a directement été collée sur le module.

## Réglages

Il est important que la batterie de sauvegarde soit convenablement chargée avant d'effectuer les réglages. Cela peut nécessiter au moins 24 heures suivant l'état de charge de cette dernière.

### Ajustable A1

On mesurera le potentiel du secteur. Lorsque la valeur de ce dernier sera

jugé correcte, par exemple 230 V, on tournera légèrement le curseur dans un sens ou dans l'autre pour obtenir l'allumage de la led verte L29. Il est préférable de réaliser ce réglage dans le courant de l'après-midi ou encore en matinée. En effet, on constate souvent une chute du potentiel secteur en soirée lorsque davantage de récepteurs sont en service.

Après une coupure du secteur et une fois le courant revenu, si plusieurs leds de comptage sont allumées, il se peut que le potentiel détecté sur l'armature positive de C1 s'en trouve légèrement diminué, si bien que le dispositif comparateur vienne à signaler une insuffisance de tension secteur. Cette indication est bien entendu sans fondement. Les choses rentreront dans l'ordre dès que l'on aura procédé à la remise à zéro des compteurs.

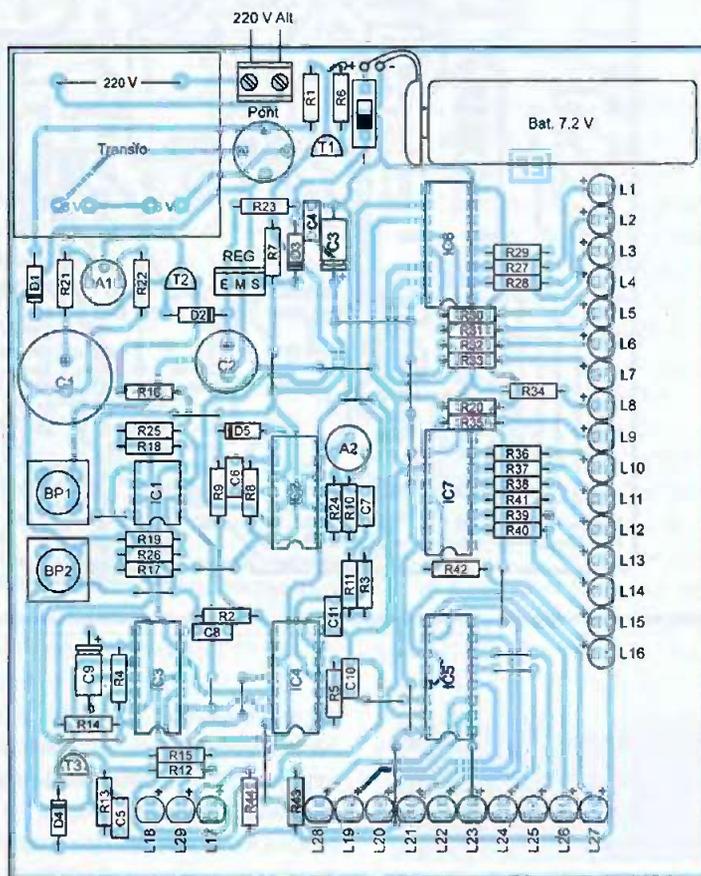
### Ajustable A2

Après avoir débranché le montage du secteur, et à l'aide d'un oscilloscope, il suffit de régler la période des alternances disponibles sur la broche n° 5

(sortie Q4) de IC7. La période diminue si on tourne le curseur dans le sens horaire et inversement.

R. KNOERR

## 3 Implantation des composants



## Nomenclature

### Résistances

R1 à R5 : 100 k $\Omega$  (marron, noir, jaune)  
 R6 à R20 : 10 k $\Omega$  (marron, noir, orange)  
 R21, R22 : 47 k $\Omega$  (jaune, violet, orange)  
 R23 : 3,3 k $\Omega$  (orange, orange, rouge)  
 R24 : 470 k $\Omega$  (jaune, violet, jaune)  
 R25, R26 : 470  $\Omega$  (jaune, violet, marron) – voir texte  
 R27 à R44 : 2,2 k $\Omega$  (rouge, rouge, rouge)  
 A1 et A2 : ajustable 47 k $\Omega$

### Semiconducteurs

D1 à D4 : 1N 4004  
 D5 : 1N 4148  
 L1 à L16 : led rouge  $\varnothing$  3 – haute luminosité  
 L17, L18 : led jaune  $\varnothing$  3 – haute luminosité  
 L19 à L27 : led rouge  $\varnothing$  3 – haute luminosité  
 L28, L29 : led verte  $\varnothing$  3 – haute luminosité  
 Pont de diodes  
 REG : régulateur 9 volts – 7809  
 T1 à T3 : NPN – BC 547  
 IC1 : LM 358  
 IC2, IC3 : CD 4001  
 IC4 : CD 4081  
 IC5 : CD 4017  
 IC6, IC7 : CD 4040

### Condensateurs

C1 : 2200  $\mu$ F / 25 V  
 C2 : 470  $\mu$ F / 25 V  
 C3 : 47  $\mu$ F / 16 V  
 C4, C5 : 0,1  $\mu$ F – céramique multicouches  
 C6, C7 : 1  $\mu$ F – céramique multicouches  
 C8 : 0,22  $\mu$ F – céramique multicouches  
 C9 : 10  $\mu$ F / 16 V  
 C10, C11 : 1 nF – céramique multicouches

### Divers

1 support 8 broches  
 3 supports 14 broches  
 3 supports 16 broches  
 Transformateur 220 V / 2 x 6 V / 1 VA – moulé pour circuit imprimé  
 Bornier soudable 2 plots  
 Batterie 7,2 V / 200 mA  
 Coupleur pression  
 I : Interrupteur monopolaire (dual in line)  
 BP1, BP2 : 2 boutons-poussoirs à contact travail  
 21 straps (11 horizontaux, 10 verticaux)

# Un compteur d'énergie



**L'appareil que nous allons vous présenter est le fruit de notre curiosité quant à la connaissance de la consommation résiduelle effective d'un chauffe-eau solaire que nous avons récemment fait installer. Il est bien évident que vous pourrez utiliser ce montage à d'autres fins si vous le souhaitez**

**L**a seule restriction concernant l'appareil sous surveillance est que celui-ci doit consommer une puissance constante pendant les phases d'activité. Qu'ils soient alimentés en mono-

phasé ou triphasé, la puissance des appareils dont il est possible de mesurer la consommation va de 1 à 10 kW (9,9 kW pour être plus précis). La conception de notre compteur d'énergie, basé sur l'utilisation d'un PIC 16F84A, permet d'enregistrer la consommation totale (CT) depuis sa première mise en service ainsi que la consommation partielle (CP) sur une période dont vous pouvez fixer vous même la date de départ, un peu comme le fait le compteur kilométrique journalier sur un véhicule automobile.

Les deux types de consommations enregistrées vont de 0 Wh à 99999,999 kWh.

La forme donnée à notre compteur le destine plus particulièrement à un fonctionnement dans un tableau électrique comme nous le verrons un peu plus loin.

## Fonctionnement du compteur

### Principe

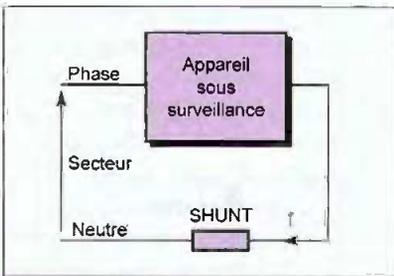
L'énergie  $E$  consommée par un appareil absorbant une puissance  $P$  constante est égale au produit de cette puissance par la durée de fonctionnement ( $E = P \cdot t$ ). Pour un appareil de puissance  $P = 2,5$  kW fonctionnant pendant 2 heures, l'énergie consommée est donc de 5 kWh.

Étant donné que notre compteur a été conçu pour mesurer uniquement des consommations basées sur des puissances constantes, il suffit en fait de mesurer la durée des périodes de consommation de l'appareil surveillé, le PIC se chargeant d'effectuer la multiplication de cette dernière par la puissance préalablement entrée en mémoire, pour déterminer l'énergie absorbée sur le réseau.

### Détection des phases de consommation.

Pour un appareil relié en permanence au secteur, la durée de consommation ne peut être connue qu'en déterminant les phases où celui-ci absorbe effectivement du courant. La plage des puissances envisagées (de 1 à 10 kW) correspond à des courants allant de quelques ampères à plus de 45 ampères. Pour détecter la présence de tels courants, il est hors de question d'utiliser un shunt monté en série avec l'appareil comme le montre la **figure 1** car dans ce cas, la puissance dissipée par le shunt est prohibitive. Un rapide calcul montre en effet qu'un courant de 40 A traversant un shunt de  $0,05 \Omega$  dissipe 80 W ( $P = R \cdot I^2$ ) alors que la tension efficace à ses bornes n'est que de 2 V ( $U = R \cdot I$ ).

Pour détecter la présence de courants de valeurs élevées, on fait sou-

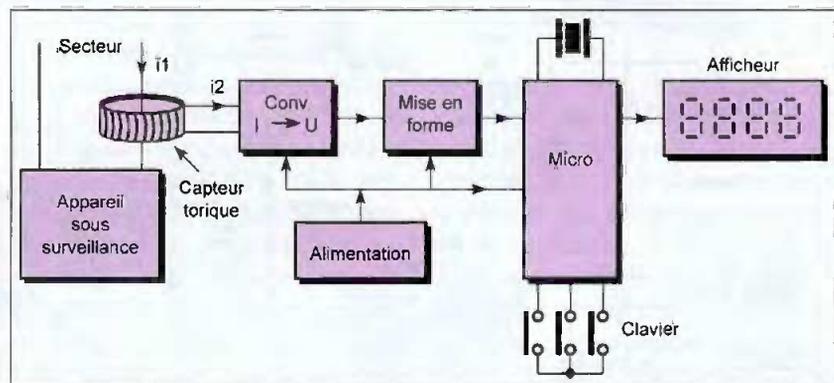


## 1 Mesure d'un courant à l'aide d'un shunt

vent appelé à un transformateur de courant dont le principe est rappelé à la **figure 2**. Le fil d'alimentation de l'appareil constitue en fait le bobinage primaire du transformateur. Lorsque ce dernier absorbe un courant  $i_1$ , ce bobinage primaire à une spire ( $N_1=1$ ) placé au centre d'un noyau magnétique fermé (le plus souvent un tore) y engendre un flux magnétique qui crée à son tour une force électromagnétique aux bornes du bobinage secondaire possédant  $N_2$  spires. Lorsque le secondaire est mis en court circuit, il y circule un courant  $i_2$  de valeur telle que  $N_1 \times i_1 = N_2 \times i_2$ . En prenant  $N_2$  très supérieur à  $N_1$  qui rappelons-le vaut 1, on dispose d'un courant  $i_2$  de valeur réduite, bien mieux adaptée à un traitement électronique qu'un courant de plusieurs ampères et qui de plus est isolé du circuit primaire. Le courant présent au niveau du secondaire du transformateur que nous appellerons désormais « capteur », est converti en une tension  $U$  à l'aide d'un convertisseur courant/tension à base d'amplificateurs opérationnels. La tension  $U$ , image du courant absorbé, peut alors être traitée de façon différente suivant les besoins. C'est le rôle du circuit de « mise en forme » du

synoptique d'effectuer cette adaptation. S'il s'agit, comme dans notre application (**figure 3**), de détecter les phases de consommation, on s'arrange pour amplifier, redresser et filtrer la tension présente à la sortie du convertisseur courant/tension afin d'obtenir une grandeur logique dont l'état sera l'image de l'absence ou de la présence de consommation de la part de cet appareil. C'est ensuite au microcontrôleur de traiter cette variable logique. Un clavier permet à l'utilisateur de communiquer avec le microcontrôleur, l'afficheur étant chargé d'afficher le résultat du comptage.

on pourra ainsi connaître l'énergie consommée par cet appareil en lisant le contenu de ce compteur. Cette solution fort simple requiert une base de temps de 36 secondes obtenue par divisions successives de la fréquence de l'horloge du PIC et l'introduction de la puissance de l'appareil surveillé par l'utilisateur. Les phases de consommation n'ayant pas toujours des durées multiples de 36 s, cette durée élémentaire a encore été divisée par 4 au début et à la fin des phases de consommation afin de garantir une précision de comptage de 0,5 %. Si la dernière période de consommation n'a duré que 18



## 3 Synoptique du compteur d'énergie

### Calcul de l'énergie consommée

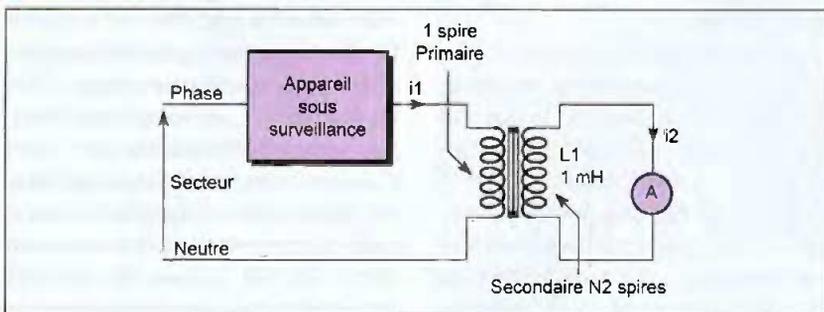
Si l'on remarque qu'un appareil de puissance  $P = 1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$  (soit aussi 10 kW lire déci kW) consomme 1000 Wh toutes les heures soit encore 10 Wh toutes les 36 secondes (1 heure = 3600 s) on comprend aisément qu'en incrémentant un compteur toutes les 36 secondes d'une quantité égale à  $P$  (exprimée en kW),

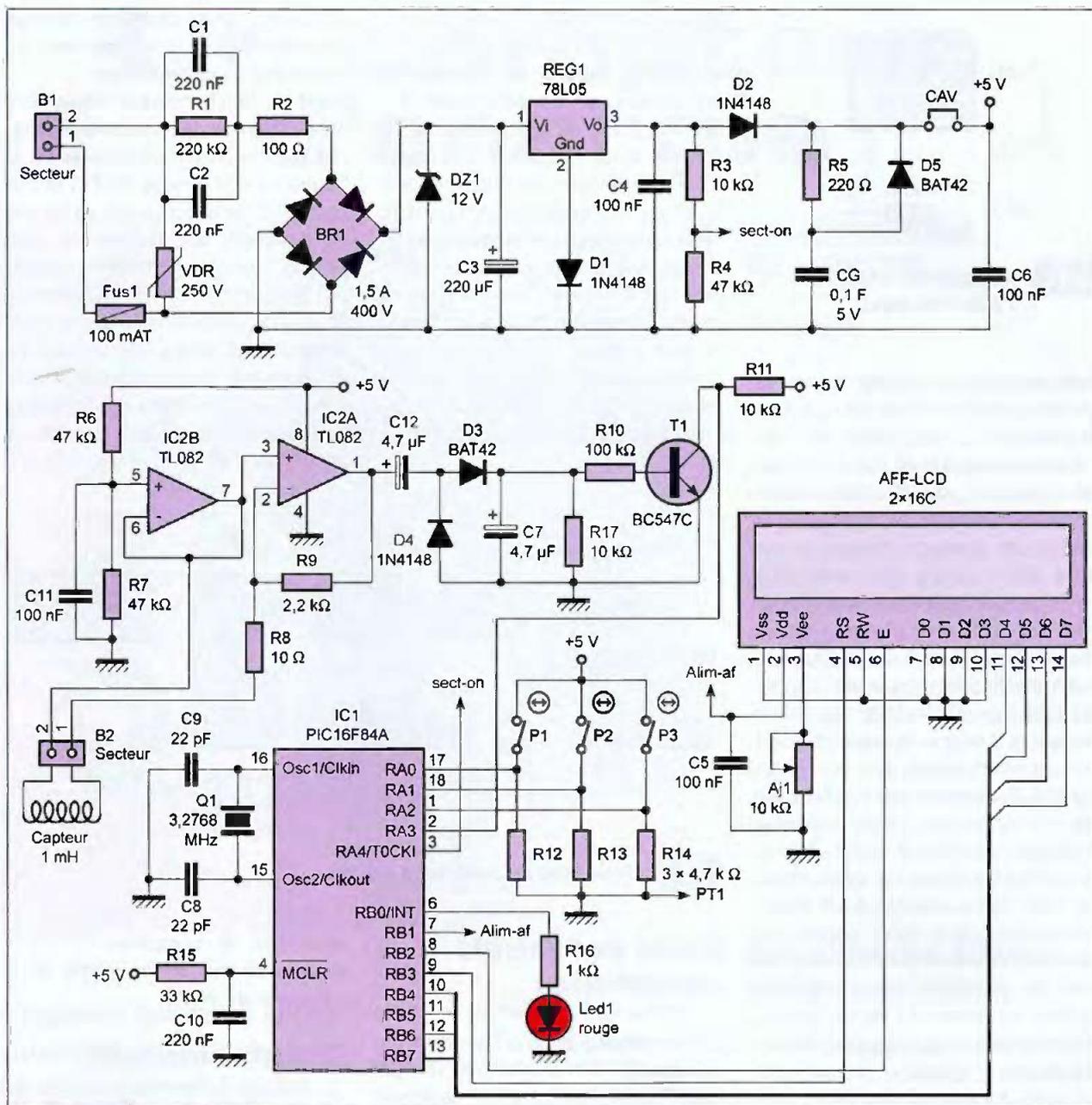
secondes, le compteur CP n'est incrémenté que de la moitié de  $P$  (exprimée en kW).

### Schéma structurel

Sur le schéma de la **figure 4**, on retrouve bien évidemment le PIC 16F84 entouré de son circuit d'horloge faisant appel au quartz Q1 de fréquence 3,2768 MHz et aux deux condensateurs C8 et C9. La fréquence du quartz a été choisie afin d'obtenir la base de temps de 36 secondes précédemment évoquée. L'afficheur LCD à 2 lignes de 16 caractères, géré par un bus à 4 fils, assure l'affichage des consommations totales et partielles, des dates de début de comptage et de la puissance de l'appareil surveillé. Les trois poussoirs P1, P2, P3 sont utilisés pour entrer ou modifier les données telles que la puissance ou la date initiale de mesure de la consommation partielle.

## 2 Principe de mesure d'un courant à l'aide d'un transformateur d'intensité $i_2 = i_1/N_2$





## 4 Principe de fonctionnement du compteur

Toute phase de consommation en cours est signalée à l'utilisateur par l'illumination de la diode Led1. Cet état est doublé par le clignotement du curseur de l'afficheur LCD. La ligne RB1 est utilisée pour alimenter l'afficheur LCD. La présence de la capacité de sauvegarde CG qui maintient l'alimentation +5 V pendant les microcoupures du secteur, a pour conséquence de ralentir la vitesse de montée de la tension d'alimentation (+5 V) au moment de la mise sous tension ou de la remise sous tension après une panne secteur. Pour réaliser une initialisation (HARD) correcte

de l'afficheur, la sortie RB1 n'est autorisée à passer à l'état haut (+5 V) qu'après une temporisation gérée par le PIC. Sans cette précaution, l'afficheur reste désespérément éteint, même en effectuant une initialisation (SOFT) correcte. La patte RA4 du PIC est utilisée pour surveiller le secteur. En cas de panne, la ligne nommée « sect\_on » passe au niveau logique « 0 » alors que l'alimentation +5 V est maintenue (par la capacité CG) pendant une durée suffisante pour sauvegarder le contenu des compteurs dans l'E2PROM du PIC. Dans la pratique, la sauvegarde

n'est envisagée que pour des pannes de durée supérieure à 2,5 secondes. Les microcoupures ne sont donc pas suivies de sauvegardes en E2PROM. Rappelons que le nombre d'opérations d'écritures dans ce type de mémoire n'est pas infini, ce qui justifie de ne recourir à cette opération que si cela est indispensable. La fonction de « convertisseur courant/tension » est assurée par l'AOP/IC2A associé aux résistances R8 et R9. Dans cette configuration, le bobinage capteur est quasiment en court circuit (à R8 10Ω près) puisque l'AOP/IC2A travaille en régime linéai-

re (présence de R9 en contre réaction) ce qui impose l'égalité des potentiels sur les pins 2 et 3 de IC2A. Le pont diviseur R6, R7 fixe le potentiel de l'entrée non inverseuse de IC2B à 2,5 V. Comme cet AOP est câblé en suiveur de tension, on récupère sur sa sortie le même potentiel mais cette fois sous faible impédance.

Ce potentiel sert de référence de tension pour l'AOP/IC2B qui ne peut pas travailler avec une tension uniquement positive.

Le courant  $i_{\text{capt}}$  détecté par le capteur pendant les phases de consommation est converti en une tension sinusoïdale (de valeur  $R9 \times i_{\text{capt}}$ ) qui s'ajoute à la polarisation continue (Valim/2) présente à la sortie de IC2B. Si l'on souhaite donner du gain à cet étage, il est possible d'augmenter R9.

Néanmoins, la valeur préconisée remplit parfaitement son rôle pour la plage de fonctionnement annoncée. La composante alternative de la tension de sortie de IC2A est transmise au détecteur de crête (D3-D4-C7-R17) par C12. Cette tension continue est utilisée pour rendre T1 passant ce qui impose un niveau logique « 0 » à l'entrée RA3 du PIC. En dehors des phases de consommation, le courant  $i_{\text{capt}}$  étant nul, la sortie de IC2A reste au potentiel constant de valeur Valim/2. Comme le condensateur C12 ne se laisse pas traverser par le continu, la sortie du détecteur de crête reste à 0 V ce qui a pour effet de bloquer T1 et d'imposer un niveau logique « 1 » sur l'entrée RA3 du PIC. L'alimentation de ces différents sous-ensembles est assurée par une alimentation secteur directe, c'est à dire sans transformateur. Deux éléments de protection sont prévus, d'une part un fusible temporisé de 100 mA et d'autre part une VDR/250 V destinée à encaisser les surtensions pouvant apparaître sur la ligne secteur. Dans ce type d'alimentation, on utilise l'impédance des deux condensateurs C1 et C2 montés en parallèle pour limiter le courant absorbé sur le secteur. Pour répondre immédiatement à ceux qui se demandent pourquoi avoir utilisé deux condensateurs de 220 nF en parallèle plutôt qu'un seul de 470 nF, nous répondrons que cette solution conduisait à un monta-

ge plus compact eu égard aux composants dont nous disposons. Les résistances R1 et R2 sont respectivement destinées à assurer la décharge des condensateurs C1 et C2 et à limiter le courant lors de la mise sous tension d'autre part.

Après redressement par le pont BR1 du courant qui traverse C1 et C2, passage dans la diode zéner DZ1 et filtrage par C3, on récupère aux bornes de ces deux derniers éléments une tension continue de 12 V (valeur de la tension de zéner) que l'on peut ensuite stabiliser à 5 V grâce au régulateur REG1 (un 78L05). En fait, ici, on stabilise la tension à 5,6 V car la référence de REG1 est rehaussée de 0,6 V par la diode D1. Cette modification est rendue nécessaire par la présence de D2 qui abaisse la tension de sortie de REG1 de 0,6 V (seuil de D2) puisque celle-ci est en série dans la ligne d'alimentation. La diode D2 a pour rôle d'interdire la circulation d'un courant inverse (vers REG1 et le pont diviseur R3, R4) depuis la capacité CG, pendant les pannes du secteur. La consommation globale de IC1 et IC2 étant proche de 5 mA, la valeur de la « gold-cap » CG limite la baisse de la tension d'alimentation à environ 1 V toutes les 20 secondes ( $I \cdot dt = C \cdot dU$ ). Cette lente diminution de la tension d'alimentation permet au PIC de fonctionner suffisamment longtemps après une coupure secteur pour pouvoir sauvegarder le contenu des compteurs en E2PROM et même de patienter quelques secondes (2,56 secondes pour être précis) avant d'effectuer cette sauvegarde au cas

où la coupure secteur serait de courte durée. La diode schottky D5 placée en parallèle sur R5 limite la chute de tension dans la résistance R5 à environ 0,3 V lorsque CG fonctionne en générateur. La résistance R5 limite pour sa part la valeur maximale du courant de recharge de la capacité CG au moment de la mise sous tension.

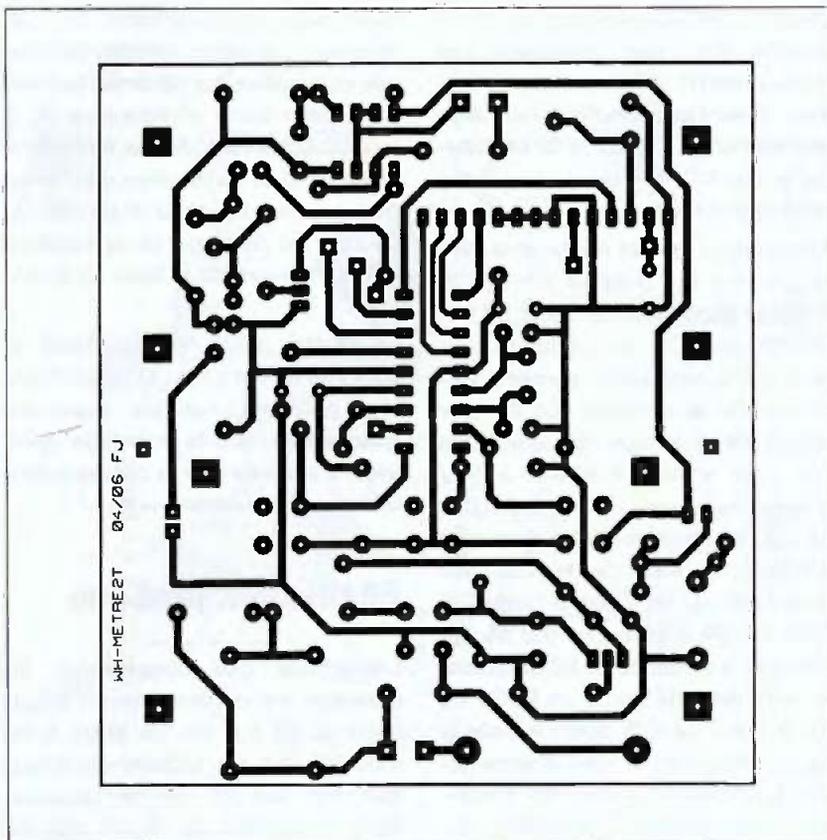
Le cavalier (CAV) permet d'isoler la partie alimentation du reste du montage pour effectuer une éventuelle intervention sur le montage sans avoir à attendre que le condensateur CG se soit totalement vidé.

## Réalisation pratique

L'ensemble des composants du montage prend place sur un circuit imprimé de 8,5 cm de large (cinq modules sur un tableau électrique standard) sur 9,5 cm de longueur. Après réalisation du circuit imprimé dont le tracé des pistes est donné à la **figure 5**, on pourra débiter le câblage des composants en se conformant à l'implantation proposée à la **figure 6**. Les trois straps seront réalisés avec du fil rigide de 0,4 ou 0,6 mm de diamètre, de type fil de téléphone. Les deux circuits intégrés seront montés sur des supports. Le quartz sera couché sur le circuit imprimé car celui-ci comme d'autres composants tels que le PIC, est situé sous l'afficheur. Les poussoirs de type D6 seront surélevés afin que leur face supérieure soit située quelques millimètres au dessus de la façade de l'afficheur. Pour notre part, nous

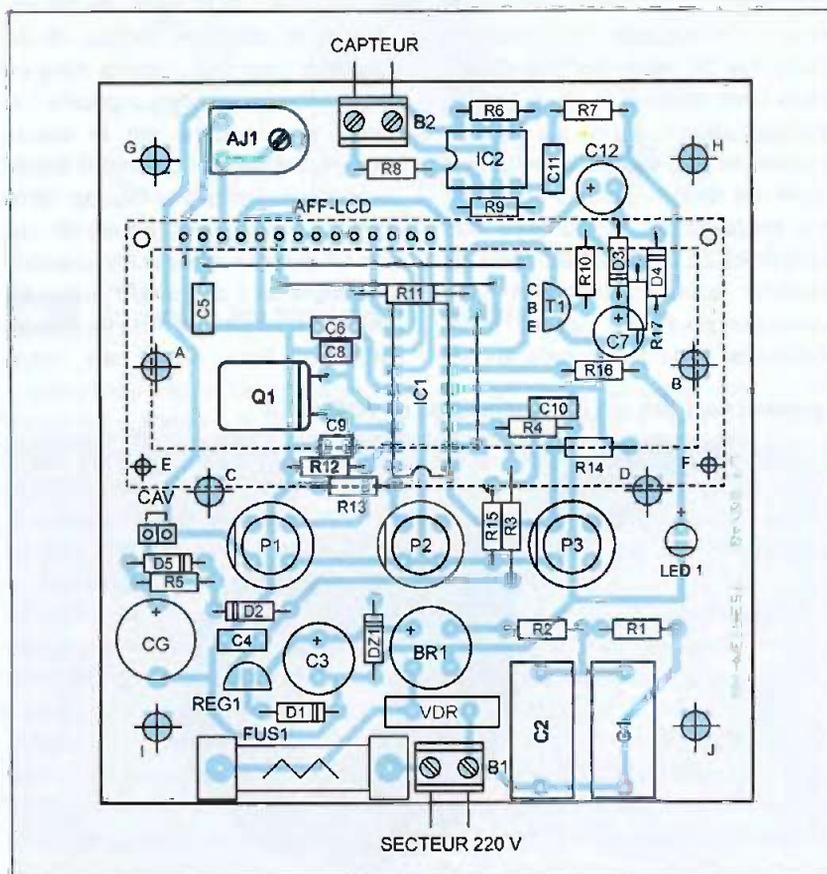
**Le capteur est une self d'antiparasitage de 1000µH/1A**





**5** Tracé des pistes cuivrées

**6** Insertion des composants



## Nomenclature

### Résistances (1/4 W 5 %)

- R1 : 220 k $\Omega$  (rouge rouge jaune)
- R2 : 100  $\Omega$  (marron noir marron)
- R3, R11, R17 : 10 k $\Omega$  (marron noir orange)
- R4 : 47 k $\Omega$  (jaune violet orange)
- R5 : 220  $\Omega$  (rouge rouge marron)
- R6, R7 : 47 k $\Omega$  (jaune violet orange)
- R8 : 10  $\Omega$  (marron noir noir)
- R9 : 2,2 k $\Omega$  (rouge rouge rouge)
- R10 : 100 k $\Omega$  (marron noir jaune)
- R12, R13, R14 : 4,7 k $\Omega$  (jaune violet rouge)
- R15 : 33 k $\Omega$  (orange orange orange)
- R16 : 1 k $\Omega$  (marron noir rouge)
- AJ1 : 10 k $\Omega$  ajustable horizontal

### Condensateurs

- C1, C2 : 220 nF/275 V classe X2
- C3 : 220  $\mu$ F/35 V radial
- C4, C5, C6, C11 : 100 nF/63 V Milfeuil
- C7, C12 : 4,7  $\mu$ F/16 V tantale goutte
- C8, C9 : 22 pF céramique
- C10 : 220 nF/63V
- CG : 0,1 F/5 V gold cap

### Semi conducteurs

- BR1 : pont redresseur 1,5 A/400 V
- D1, D2, D4 : 1N4148
- D3, D5 : BAT42
- DZ1 : BZX82C 12 V/1,3 W
- REG1 : 78L05
- IC1 : PIC16F84A
- IC2 : TL082
- Led1 : diode led rouge, haute luminosité, 3 mm
- T1 : NPN/BC547C

### Divers

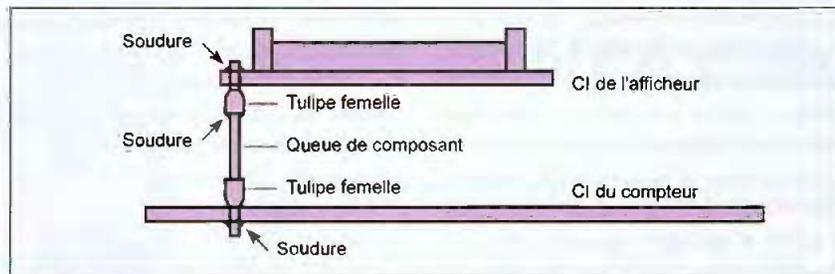
- FUS1 : fusible verre 5 x 20 mm lent 100 mA
- CAPTEUR : self 1 A/1000  $\mu$ H torique (voir texte)
- P1, P2, P3 : poussoir D6 rond
- B1, B2 : borniers à souder sur CI 2 plots
- Supports pour CI dual in line, 18 pins et 8 pins
- Support SIL en barrette sécable de 25 points (radiospares ref 401699)
- Barrette "tulipe" sécable : 2 morceaux de 14 pins
- Porte fusible, verre isolé, pour fusible 5 X 20 mm
- Visserie de diamètre 3 mm, longueur 40 mm avec écrou
- Barrette HE14 (pas de 2,54 mm) simple rangée droite (2 plots)
- Cavalier JUMP au pas de 2,54 mm
- Q1 : quartz HC49/3,2768 MHz
- AFF-LCD : afficheur LCD 2 lignes de 16 caractères
- VDR : varistance 250 V

avons utilisé des supports SIL en barrettes sécables au pas de 2,54 mm qui nous ont permis de gagner 9 mm en hauteur (REF 401699 chez Radiospares).

Pour l'afficheur (livré vierge de tout connecteur), nous avons réalisé un connecteur rigide à partir de barrettes "tulipe" sécables servant habituellement de supports pour circuits intégrés. Deux éléments de 14 points sont nécessaires. L'un est directement fixé sur le circuit imprimé du montage (tulipes orientées vers le haut) l'autre est placé sous le circuit imprimé de l'afficheur (les tulipes sont orientées vers le bas). Les liaisons point à point sont assurées par des queues de composants (celles des résistances conviennent parfaitement) dont la longueur est déterminée afin qu'aucune partie métallique de l'afficheur ne vienne en contact avec les composants placés sur le circuit imprimé (voir la **figure 7**). Lorsque la longueur appropriée est obtenue, il suffit de souder chaque fil au niveau d'un seul des connecteurs, par exemple celui situé sous l'afficheur. Cette technique permet de réaliser un connecteur rigide débrochable à peu de frais.

Avant d'insérer le PIC, il faudra bien entendu transférer le programme dans sa mémoire interne. La date de mise en service initiale que l'on trouve aux trois premières adresses de l'E2PROM peut être modifiée, mais dans ce cas vous devrez recompiler le programme consomes.asm écrit en assembleur. Cela ne pose aucun problème si vous travaillez dans l'environnement MPLAB de microchip. Le programme fourni est disponible sur le site de la revue. Le fichier source est agrémenté de nombreux commentaires ce qui vous permettra de procéder aux modifications que vous pourriez souhaiter effectuer sans aucun problème.

Pour réaliser le capteur, il faut se procurer une self d'antiparasitage de 1000  $\mu$ H (1 A) se présentant sous la forme d'un tore. Le modèle utilisé (26 mm de diamètre sur 13 mm de haut) est disponible chez ARQUIE composants (ref 21001). Cette self doit être munie de fils de liaisons de longueur permettant d'aller de la carte comp-



## 7 Réalisation du connecteur rigide de l'afficheur

teur jusqu'au niveau de l'un des fils d'alimentation de l'appareil sous contrôle. Un câble souple secteur à 2 conducteurs de 0,5 mm<sup>2</sup> convient parfaitement. Les jonctions entre les extrémités de la self et le câble seront isolées à l'aide de gaine thermorétractable de diamètre approprié après soudure. Pour immobiliser les spires de la self et le câble de liaison, on aura recours à quelques gouttes de colle bi-composant (de type araldite) qui devient transparente au séchage. De nombreux trous de diamètre 3 mm ont été prévus sur le circuit imprimé. Ils sont destinés à recevoir des ensembles de vis et écrous formant entretoises afin, par exemple, d'assurer la fixation de l'ensemble du circuit imprimé sur le rail DIN d'un coffret électrique classique pour les trous référencés A, B, C, D ou de maintenir l'afficheur en position bien horizontale (réf E et F). Comme on peut le voir sur la photographie de notre prototype, nous avons utilisé de la visserie en nylon pour assurer cette fonction. Les quatre derniers trous (réf G, H, I, J) peuvent être utilisés pour supporter une façade transparente ou pour fixer le module de façon différente si la solution du coffret électrique n'est pas retenue.

## Mise en service et utilisation

Pour utiliser cet appareil, il faut, comme nous l'avons indiqué faire passer l'un des fils d'alimentation de l'appareil sous surveillance à l'intérieur du capteur. En monophasé, il importe peu que ce fil soit le neutre ou la phase. Par contre, en triphasé, il faut absolument que ce fil soit l'un des fils de phase car dans ce cas, si la charge est équilibrée, le courant

circulant dans le fil neutre est nul. Il ne faut pas non plus faire passer les trois fils de phase dans le tore car la somme des trois courants est nulle, elle aussi, pour une charge équilibrée. C'est donc un seul fil qui doit traverser le capteur. Si vous ne connaissez pas exactement la puissance de l'appareil surveillé, rien ne vous empêche de mesurer le courant qu'il absorbe et la tension secteur effective dont vous disposez. En appliquant la formule  $P = V_{eff} \times I_{eff}$  pour une charge purement résistive (cas d'un chauffe-eau ou d'un radiateur), vous aurez ainsi une valeur précise de la puissance réellement consommée. En triphasé équilibré, la puissance consommée sur une phase doit être multipliée par trois.

Ces mesures éventuelles, de même que l'installation proprement dite du compteur d'énergie, objet de cet article, devront être réalisées en mettant en œuvre toutes les précautions d'usage en de telles circonstances. **La coupure générale du secteur EDF pendant l'intervention sur les borniers de raccordements est indispensable.** Le 220 V fourni par EDF n'est pas le 5 V des montages électroniques en terme de risque électrique !

## Puissance de l'appareil surveillé

À la première mise sous tension, et après un délai de 7,5 secondes nécessaire à l'établissement de la tension d'alimentation, l'utilisateur est invité à modifier la valeur de la puissance affichée par défaut afin que celle-ci corresponde à celle de l'appareil dont il désire connaître la consommation. Pour ce faire, il dispose des trois poussoirs P2, P1, P3

(OUI/+, NON/- et VALID) qui lui permettent d'incrémenter, de décrémenter une valeur à modifier ou d'effectuer un choix qui doit ensuite être validé par appui sur la touche de validation. Ainsi, si la puissance affichée par défaut de 6 kW ne convient pas, il suffit d'appuyer sur la touche OUI puis de valider ce choix comme vous y êtes invité par le message affiché sur l'écran. Dans ce cas, la puissance peut être augmentée ou réduite en utilisant les touches appropriées (avec la touche P2=OUI/+, on incrémente la valeur de la puissance P, alors qu'avec la touche P1=NON/- on peut décrémenter cette même puissance). Le pas de variation est de 0,1 kW. Lorsque la puissance voulue est obtenue, il faut à nouveau valider ce choix (avec la touche P3 de validation) pour passer au menu suivant. Si vous avez répondu par la négative (par appui sur la touche NON) à la possibilité qui vous était offerte de modifier la puissance, vous passez directement au second écran qui invite l'utilisateur à modifier la date initiale de comptage de la consommation partielle.

Cette date est modifiable ici encore avec les touches P1 et P2.

## Date de départ de la mesure de la consommation partielle

Rappelons que seule la date de départ de la mesure de la consommation qualifiée de partielle est modi-

fiée par l'utilisateur à l'aide des touches du clavier. La date initiale de mise en service qui est aussi celle de mesure de la consommation totale ne peut être modifiée qu'en reprogrammant le PIC. Comme pour la puissance, la modification de la date affichée au format JJ, MM, AA s'effectue à l'aide des touches P2 (OUI/+) et P1 (NON/-) suivie d'une validation (par appui sur P3). Si la saisie effectuée est erronée, (30 février pour ne citer que cet exemple), vous êtes invité à corriger la date saisie afin que celle-ci soit cohérente. À l'issue de cette initialisation de la date, le compteur est opérationnel et pourra commencer à enregistrer toute consommation de l'appareil sous surveillance.

## Écrans affichés par défaut

Lorsque aucune consommation n'est en cours, vous pouvez obtenir l'affichage de deux écrans. L'un affiche la consommation partielle CP, l'autre la consommation totale CT. On passe de l'un à l'autre par simple appui sur l'une quelconque des trois touches du clavier. Dans les deux cas, la puissance de l'appareil surveillé et la date sont présentes, ainsi que la consommation concernée.

En cours de consommation, c'est l'écran correspondant à la consommation partielle qui s'affiche à chaque incrémentation (donc toutes les 36 secondes). Rien ne vous empêche cependant de consulter la

consommation totale en appuyant sur une touche quelconque entre deux incrémentations successives.

Il faut noter au passage que la consommation totale n'est pas incrémentée automatiquement au cours des phases de consommation. C'est l'utilisateur qui décide, quand il le souhaite, de faire passer le contenu du comptage partiel dans le compteur global.

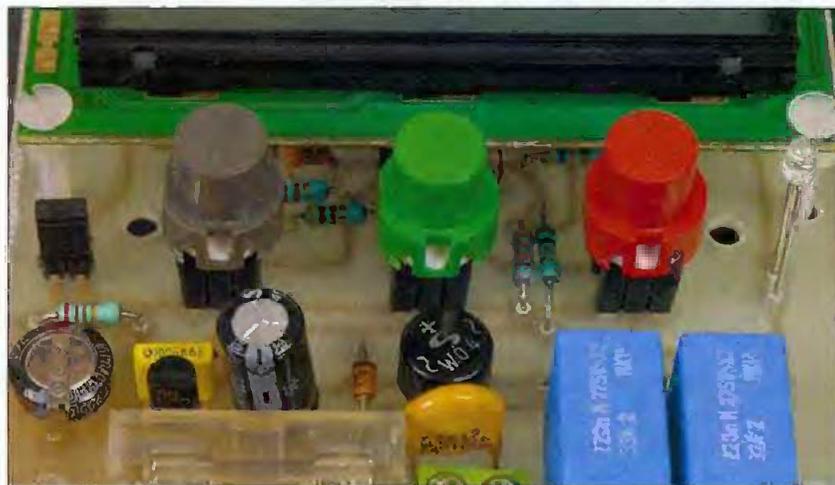
## Stockage de la consommation partielle

Pour effectuer cette opération, il faut appuyer simultanément sur les touches P2 et P3 (OUI/+ et VALID). L'utilisateur est alors sollicité pour savoir s'il souhaite « stocker la consommation ». Une réponse (OUI) positive devra toujours être suivie d'une confirmation par appui sur la touche de validation. Dans ce cas, la consommation partielle (CP) est ajoutée à la consommation totale précédente (CT) qui est ainsi mise à jour. À la fin de ce transfert, la consommation partielle est remise à zéro. Vous êtes ensuite à nouveau invité à modifier la valeur de la puissance et la date initiale du comptage de la consommation partielle. L'option qui vous est offerte de modifier P après stockage de la consommation partielle peut être utile si vous voulez surveiller un autre appareil ou si l'appareil surveillé vient d'être remplacé par un nouvel équipement de puissance différente.

Quand vous optez pour le stockage de la consommation partielle, vous êtes tenu au courant du déroulement correct de ces opérations par deux messages affichés successivement : « Cumul Conso en cours » et « Cumul Conso terminé ».

Nous espérons que ces explications et les possibilités offertes par ce module auront retenu votre attention. Si c'est le cas et que vous le réalisez, les informations que vous en retirerez vous inciteront peut être à faire des économies d'énergie ce qui n'est pas inutile compte tenu des prix actuels et de la tendance à la hausse.

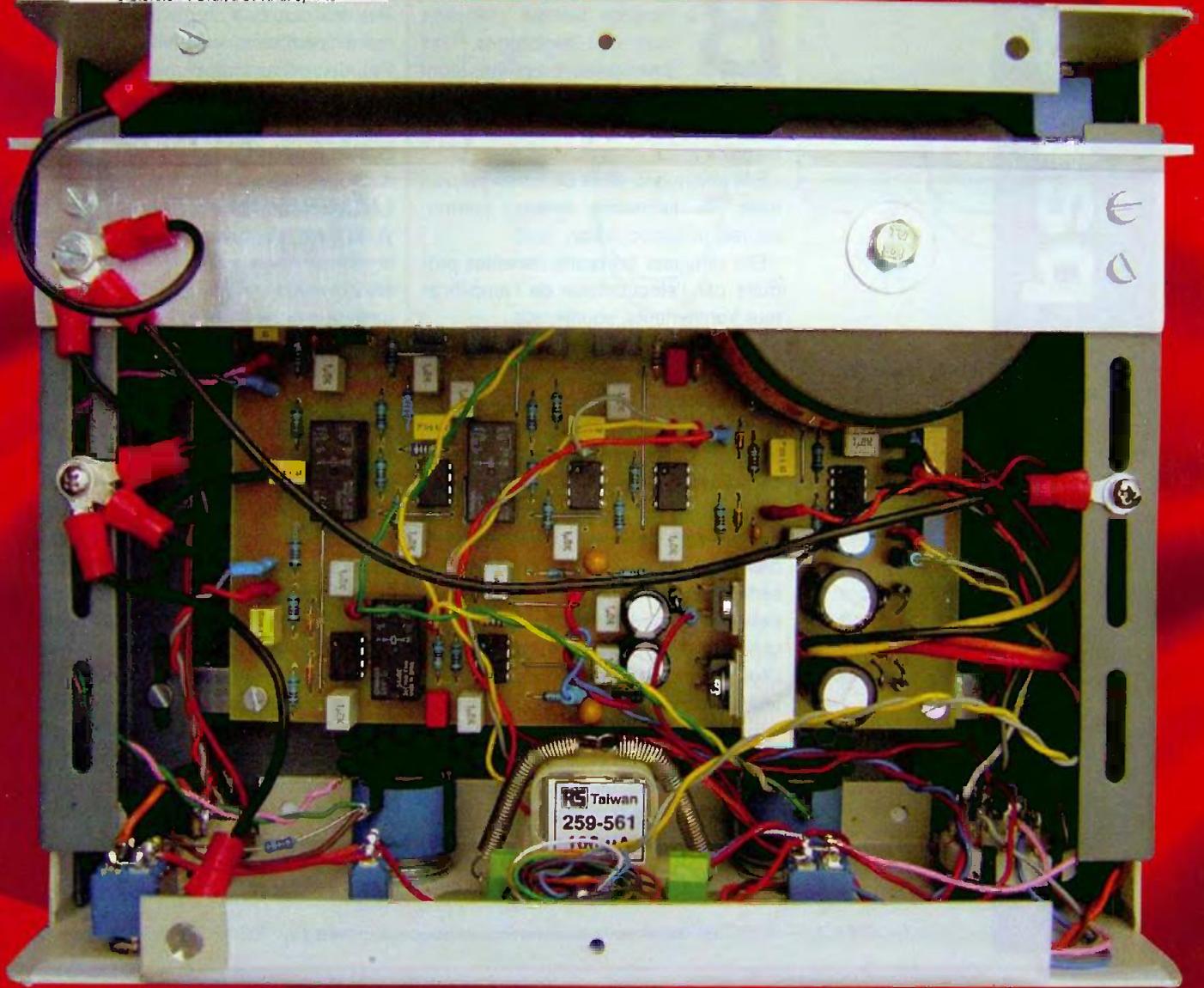
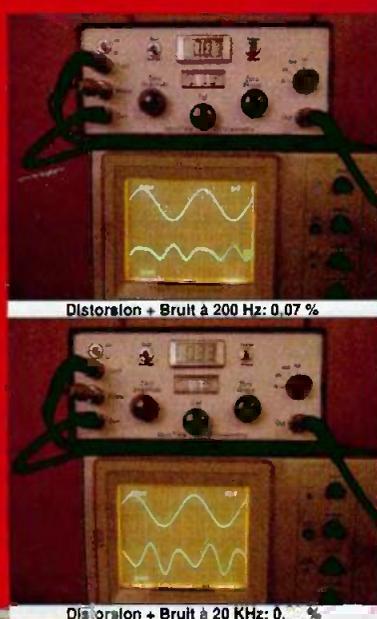
*Les poussoirs permettent d'incrémenter, de décrémenter une valeur à modifier*



F. JONGBLOËT

# MONTAGES AUDIO

COURS N°27 : ET SI ON PARLAIT « TUBES »  
THÉORIE ET CALCULS  
DES AMPLIFICATEURS DITS « RÉACTIFS »  
DISTORSIOMÈTRE AUDIO ANALOGIQUE  
À AMPLIFICATEURS OPÉRATIONNELS (AOP)



## DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE LA CONTRE-RÉACTION

Dans la littérature anglo-saxonne, la contre-réaction est appelée « negative feedback » que nous devrions traduire, nous aussi en bon français, par « réaction négative » puisque, comme nous allons le voir immédiatement, c'est en ayant bien compris le phénomène de « réaction » que vous pourrez aborder la « contre-réaction » en toute sérénité.

**B**ien utiliser la contre-réaction ne semble présenter que des avantages. Ses principales propriétés sont les suivantes :

- Elle linéarise la bande passante de l'amplificateur
- Elle diminuera, dans de fortes proportions, les distorsions diverses (harmoniques, intermodulation, etc.)
- Elle éliminera les bruits parasites produits par l'électronique de l'amplificateur (ronflements, souffle, etc.)
- Elle sera à même de compenser bien des défauts dus aux haut-parleurs dans le cas particulier d'un amplificateur de « puissance ».

Mais attention ! Mal utilisée (ce qui est souvent le cas, hélas !), la contre-réaction peut provoquer des phénomènes absolument inverses : augmentation des distorsions diverses, bande passante torturée et tronquée, oscillations parasites à hautes ou très basses fréquences, etc.

D'où la tentation de certains constructeurs de purement et simplement la supprimer. Ce qui est idiot car, sans contre-réaction, un amplificateur est livré à lui-même et ses résultats sont entièrement dépendants de sa charge (lire nos précédents cours) !

Dans le cas d'un amplificateur de puissance, la charge peut être parfaitement aberrante (inductive ou capacitive, ce qui est le cas de tous les haut-parleurs sans exception). Un étage de puissance qui voit en permanence varier sa charge devient un véritable générateur de distorsions au gré des fréquences transmises !

La règle que l'on doit s'imposer est la suivante : tout circuit amplificateur doit être pratiquement parfait sur une charge résistive avant de lui appliquer la moindre contre-réaction. Un appareil mal « fichu », déformant naturellement le signal qu'il a à amplifier, pourra sembler parfait après application d'une « contre-réaction », mais soyez sûrs que les résultats seront très certainement médiocres en utilisation réelle. Pour la petite histoire, sachez que la contre-réaction a été mise au point par H.S. Black en janvier 1934 (!) et utilisée depuis en permanence.

### L'AMPLIFICATEUR À RÉACTION

La définition classique est la suivante (telle que nous l'avons apprise à l'école il y a bien longtemps !) : « Un amplificateur est à « réaction » lorsqu'une fraction de la tension variable (le signal) qu'il a amplifiée est réinjectée à l'entrée. Cette fraction de tension réinjectée se nomme le « taux de réaction ».

**Exemple :** un étage préamplificateur fournit 20 volts à la sortie. On dit que le taux de réaction est de 10 % si on réinjecte 2 volts à l'entrée.

Sans s'occuper du type d'amplificateur, reportez-vous à la figure 1.

Nous avons schématisé un amplificateur débitant dans une charge. Une tension alternative « e » est appliquée à l'entrée entre A et B. Aux bornes de la charge entre C et D, on recueille une tension amplifiée S<sub>1</sub>, reflet exact (si l'ampli est parfait) de la tension d'entrée.

En **figure 2**, le même amplificateur. Un potentiomètre P (de forte valeur afin de ne pas perturber l'amplificateur en modifiant sa charge) permet d'extraire une fraction de la tension amplifiée de sortie et de réinjecter cette fraction de la tension à l'entrée A.

Vous comprenez immédiatement que si **cette fraction de tension s'ajoute à la tension fournie par la source**, la tension d'entrée étant accrue, le gain de l'amplificateur est augmenté. Il s'agit d'une **réaction positive**.

Si cette fraction de tension se retranche de la tension d'entrée, le gain de l'amplificateur est diminué. Il s'agit alors d'une **réaction négative ou contre-réaction**.

Comme nous avons affaire à des tensions alternatives, lorsque la tension de réaction s'ajoute à la tension d'entrée, **c'est que cette tension réactive est en phase avec la tension d'entrée**.

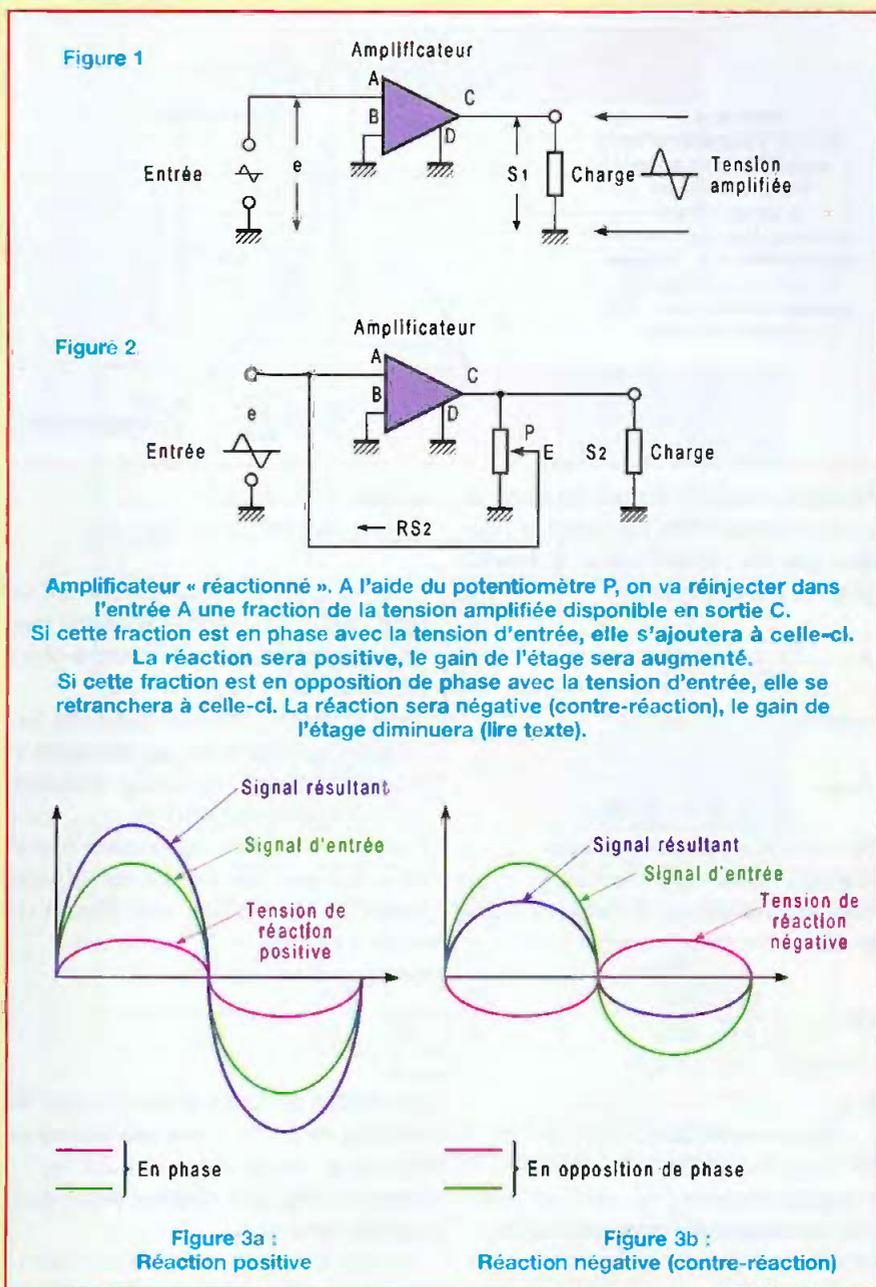
Dans le cas de la contre-réaction, la tension réactive est en opposition de phase avec la tension d'entrée (déphasage de 180°) (voir **figures 3a et b**).

Ce qui déterminera la **réaction positive ou la contre-réaction** d'un amplificateur c'est donc uniquement (en dehors du taux) un problème de phase ! Nous verrons plus loin que ce problème mal maîtrisé est l'une des causes de la mauvaise utilisation de la contre-réaction et de sa mauvaise réputation calomniée par grand nombre de gourous de l'audiophile.

## THÉORIE ET CALCULS DES AMPLIFICATEURS DITS « RÉACTIFS »

Il existe des centaines d'ouvrages sur le sujet ! Tous ces ouvrages développent des théories mathématiques extrêmement complexes et souvent inutilisables par le commun des électroniciens desquels nous faisons partie.

Nous pourrions vous parler des diagrammes de Niquist, des équations de Van Der Pol, etc. Tout cela est passionnant, mais l'idée directrice de nos cours est de vous livrer des réflexions simples et directement applicables à l'audio. Il en est de la contre-réaction comme de



**Amplificateur « réactionné ».** A l'aide du potentiomètre P, on va réinjecter dans l'entrée A une fraction de la tension amplifiée disponible en sortie C. Si cette fraction est en phase avec la tension d'entrée, elle s'ajoutera à celle-ci. La réaction sera positive, le gain de l'étage sera augmenté. Si cette fraction est en opposition de phase avec la tension d'entrée, elle se retranchera à celle-ci. La réaction sera négative (contre-réaction), le gain de l'étage diminuera (lire texte).

toute l'électronique, une suite de raisonnements logiques et relativement faciles à interpréter.

Définissons d'abord le gain en tension d'un amplificateur sans réaction. C'est le rapport de la tension de sortie sur la tension d'entrée (figure 1) :

$$A = \frac{S1}{e}$$

Appelons maintenant « R » le taux de réaction que nous avons l'intention de réinjecter à l'entrée. En simplifiant le problème à l'extrême, nous considérons « R positif » dans le cas d'une

réaction positive et « R négatif » dans le cas d'une contre-réaction.

Comme S2 est la tension de sortie de l'amplificateur réactionné, la tension réinjectée à l'entrée sera égale à RS2.

En figure 2, nous réinjectons cette tension entre A et B. La tension entre A et B qui était « e » devient

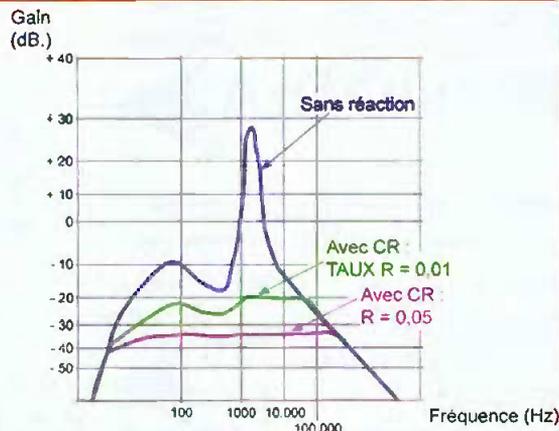
$$e + (+RS2)$$

réaction positive

$$e + (-RS2) = e - RS2$$

réaction négative, contre-réaction

**Figure 4 :**  
Bande passante d'un amplificateur sans contre réaction (courbe bleue) avec un taux de contre-réaction de 1 % (courbe en vert) et un taux de contre-réaction de 5 % (courbe en rose)



Sans plus nous préoccuper du signe (+) ou (-) précédant RS, calculons le nouveau gain de l'amplificateur, la tension de sortie est devenue S2 :

$$A = \frac{S1}{e + RS2} \quad (1)$$

Appelons ce nouveau gain Aréac

$$A_{\text{reac}} = \frac{S2}{e} \quad (2)$$

Car « e » n'a pas changé, seul « S » a changé à cause de la réaction. Passons maintenant à l'algèbre ultra-simple :

$$\text{de } A = \frac{S1}{e + RS2}$$

$$\text{On tire } A \cdot e + RS2 \cdot A = S1$$

Avec

A : gain sans réaction

RS : taux de réaction

e : signal d'entrée

S2 : signal de sortie avec réac

D'où  $Ae = S2(1-RA)$

$$\frac{Ae}{1 - RA} = S2$$

En divisant tout par « e », on obtient

$$\frac{A}{1 - RA} = \frac{S2}{e}$$

$$\text{Or } \frac{S2}{e} = A_{\text{reac}}$$

On peut donc écrire que :

$$A_{\text{reac}} = \frac{A}{1 - RA}$$

Aréac : nouveau gain

A : gain sans réaction  
R : taux de réaction en %

C'est la formule fondamentale qui va nous permettre d'étudier en détail tous les phénomènes réactifs et contre-réactifs du circuit.

Il est important de noter que cette formule **ne fait intervenir que les gains et le taux de contre-réaction** à l'exclusion de tout autre considération.

**Exemple :** un préamplificateur fournit sans réaction une tension de 20 volts lorsqu'on lui applique une tension de 1 volt à l'entrée.

Son gain A est donc de :

$$\frac{20}{1} = 20$$

On décide de lui appliquer un taux de réaction de 2,5 %, donc une tension de 0,5 volt à l'entrée (RA = 20 x 2,5 %).

Dans le cas d'une réaction positive, le gain deviendra :

$$A_{\text{reac}} = \frac{20}{1 - 0,5} = 40$$

Le gain aura été multiplié par deux soit, en décibels, un gain supplémentaire de :

$$20 \log \frac{40}{20} = 6 \text{ dB}$$

Dans le cas d'une contre-réaction :

$$A_{\text{reac}} = \frac{A}{1 - (-RA)} = \frac{A}{1 + RA}$$

$$= \frac{20}{1 + 0,5} = 13,3$$

Le gain aura diminué à tension d'entrée égale.

C'est l'un des inconvénients majeurs de la contre-réaction (dans notre exemple, la perte est de 3,5 dB).

En audio, on utilise rarement la réaction. Il arrive que l'on combine deux effets : réaction + contre-réaction dans certains schémas particuliers et certains filtres afin d'augmenter leur sélectivité.

En théorie, lorsque 1-RA tend vers 0, c'est-à-dire quand RA tend vers 1, le gain théorique de l'étage tend vers l'infini ; on a beaucoup utilisé cette propriété à l'âge de la TSF pour rendre hyper sélectif certains circuits d'accords.

Pour nous, en audio, « entrer en réaction » signifie souvent « **accrochage** » à très basses ou très hautes fréquences. Par conséquent, c'est à éviter !

Contentons-nous de rester dans les zones déjà difficiles à maîtriser de la contre-réaction, là où (1 - RA) reste positif, c'est plus sûr !

Donc, en audio, écrivons la formule de contre-réaction :

$$A_{\text{reac}} = \frac{A}{1 - (-RA)} = \frac{A}{1 + RA}$$

Plus le gain A de l'étage sans contre-réaction est important, plus la diminution de gain est importante.

Plus le taux de réaction R est élevé, plus la perte de gain est importante.

## LINÉARISATION DE LA BANDE PASSANTE D'UN AMPLIFICATEUR

En nous inspirant de l'un de nos bons maîtres, Lucien Chrétien, nous avons tracé, sur la **figure 4**, la bande passante d'un vieil amplificateur sans contre-réaction (si vous deviez obtenir ce type de courbe sur un montage, un conseil : jetez-le à la poubelle !). Vous allez voir que si la contre-réaction arrange bien des choses, ce n'est pas une excuse !

En fixant arbitrairement le gain en tension à 1 kHz à 1000, nous pouvons déduire les différents gains en fonction de la fréquence (**tableau A**).

En suivant Lucien Chrétien, nous appli-

quons, pour commencer, un modeste taux de contre-réaction de 1 %, soit 0,01

En appliquant la formule :

$$A_{\text{reac}} = \frac{A}{1+RA}$$

A 10 Hz

$$A_{\text{reac}} = \frac{10}{1+0,1} = 9,1$$

A 100 Hz

$$A_{\text{reac}} = \frac{316}{1+3,16} = \frac{316}{4,16} = 76$$

Etc.

Ce qui nous donne la courbe verte de la figure 4. Vous pouvez constater qu'elle est bien lissée ! (tableau B).

Augmentons maintenant le taux de contre-réaction. Portons-le à 5 %, soit 0,05 (tableau C). Ce qui nous donne la courbe rouge sur la figure 4.

**Observations :** plus le taux de contre-réaction augmente, plus les accidents de la courbe de transmission disparaissent, mais plus le gain global diminue. Plus le gain est faible (c'est le cas à 10 Hz), moins l'effet de la contre-réaction se fait sentir. **Contrairement à la légende, la contre-réaction n'augmente pas la bande passante, elle rend linéaire la courbe de transmission.**

## ACTIONS DE LA CONTRE-RÉACTION

### SUR LE TAUX DE DISTORSION HARMONIQUE

Qu'est-ce que la distorsion harmonique ? Nous en avons longuement exposé le principe dans nos précédents cours. Elle varie avec l'amplitude du signal. Or, nous venons de voir que la contre-réaction est un formidable « lisseur » d'amplitude. Une tension sinusoïdale à l'entrée d'un circuit amplificateur est amplifiée par celui-ci et, en fonction d'une multitude de facteurs (étudiés précédemment), se retrouve à la sortie accompagnée d'un train d'harmoniques H2, H3, H4, H5, etc.

Le taux de distorsion global D est par

FREQUENCE EN HERTZ	NIVEAU EN DECIBEL	GAIN EN TENSION
50	-40	10
100	-10	316
700	-18	126
2 000	+16	6 310
3 000	+28	12 500
10 000	-12	251

Tableau A

TAUX R : 1%	FREQUENCE EN HERTZ	GAIN AVEC C.R.	DECIBELS PAR RAPPORT à 0 dB 1000 Hz sans C.R.
	50	9,1	-40,8
	100	76	-22,6
	700	55	-26
	2 000	99,1	-20
	3 000	99,9	-20
	10 000	99,9	-20

Tableau B

TAUX R : 5%	FREQUENCE EN HERTZ	GAIN AVEC C.R.	DECIBELS PAR RAPPORT à 0 dB 1000 Hz sans C.R.
	50	6,7	-43,5
	100	19,1	-34
	700	17,3	-35
	2 000	20	-34
	3 000	20	-34
	10 000	20	-34

Tableau C

définition égal à :

$$D\% = \frac{\sqrt{H2^2 + H3^2 + H4^2 + H5^2, \text{ etc.}}}{U}$$

U vaut l'amplitude du signal d'origine. Ce D% va se retrouver à la sortie du circuit non contre-réactionné.

On démontre qu'en réinjectant ce D% à l'entrée du circuit à travers la ligne de contre-réaction, il va être réduit dans des proportions considérables.

La distorsion résiduelle sera de :

$$d\% = \frac{D\%}{1+RA}$$

R : taux de contre-réaction

A : gain sans contre-réaction

D'où la fierté de certains constructeurs annonçant des taux de distorsion harmonique à peine mesurables !

### SUR LA DISTORSION D'INTERMODULATION

Vous avez appris (avec nous !) que la distorsion d'intermodulation est fabriquée dans les circuits et les transformateurs dont les courbes caractéristiques dynamiques ne sont pas des droites. C'est le type de distorsion le plus désagréable car le sous-produit, contrairement aux distorsions harmoniques qui, comme leur nom l'indique, sont dans le « ton », les distorsions d'intermodulation fabriquent des fréquences nommées « partiels » qui n'existent pas dans le son d'origine. Or, la contre-réaction va agir sur ces partiels en les atténuant dans le même rapport :

$$d = \frac{D}{1+RA}$$

## SUR LES BRUITS PARASITES

Ronflement, souffle et claquement, prenant naissance dans le circuit soumis à contre-réaction, subiront le même sort et seront atténués car soumis au même traitement grâce à la correction d'amplitude des signaux en phase.

## SUR LA DISTORSION DE PHASE

Moins évident, mais cela fonctionne ! Nous en exposerons plus longuement le principe dans notre prochain cours portant sur la construction vectorielle.

## SUR LA RÉSISTANCE INTERNE DES ÉTAGES DE SORTIE

Nous verrons le mois prochain qu'il existe deux sortes de contre-réactions : l'une proportionnelle à la tension de sortie du circuit (que nous avons évoquée aujourd'hui), l'autre proportionnelle à l'intensité du courant de sortie du circuit.

Leurs effets sont très différents en

termes d'impédance de sortie des circuits et, en particulier, de l'étage final des amplificateurs de puissance.

Pour aujourd'hui, sachez que lorsque la tension de réaction négative est proportionnelle à la tension délivrée par le circuit affecté par sa présence, la résistance interne de ce dernier diminue dans d'importantes proportions.

Ceci est très important pour l'amortissement du ou des haut-parleurs servant de charge à un amplificateur de puissance, surtout si celui-ci utilise des pentodes ou des tétrodes à grande résistance interne.

## EN CONCLUSION PROVISOIRE

La contre-réaction apparaît comme une panacée, mais attention à ne pas crier victoire trop vite !

Souvent mal employée, elle ajoute des distorsions d'intermodulation là où il n'y

en avait pas ou très peu auparavant ! Comme tout circuit électronique complexe, la contre-réaction ne doit être utilisée que si elle est parfaitement maîtrisée. S'en servir pour arranger les performances d'un circuit mal réalisé est un véritable non-sens !

Le mois prochain, nous compléterons cette rapide étude en abordant les façons d'appliquer correctement la contre-réaction

Bien utilisée, elle donne des résultats remarquables en termes de dynamique et de parfait équilibre de la balance tonale.

Mal utilisée, elle est source de nombreux soucis... D'où la tentation de certains constructeurs de clamer haut et fort : " Circuit sans contre-réaction ". Ce qui, croyez-moi, n'est pas un gage de qualité ! Bien au contraire...

À bientôt  
R. Bassi

**Led**

Et si on parlait « tubes » ... 11 COURS

Fichiers PDF  
94 pages

25 €

## Et si on parlait tubes...

En 11 cours,  
apprenez à connaître  
et à maîtriser le fonctionnement des  
tubes électroniques

Émission thermoionique, électron-volt, charge d'espace...

Je désire recevoir le CD-Rom (fichiers PDF) « Et si on parlait tubes... »

France : 25 € Union européenne : 25 € + 2 € frais de port Autres pays : nous consulter

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

N° : \_\_\_\_\_ Rue : \_\_\_\_\_

Code Postal : \_\_\_\_\_ Ville-Pays : \_\_\_\_\_

Ci-joint mon règlement par :  chèque  mandat

A retourner à : **TRANSOCÉANIC 3, boulevard Ney 75018 Paris Tél. : 01 44 65 80 80**

# DISTORSIOMÈTRE AUDIO ANALOGIQUE



**Afin de compléter l'équipement de notre laboratoire de mesures, nous abordons aujourd'hui la réalisation d'un distorsiomètre. Le projet est entièrement analogique. Il permet la mesure du taux de distorsion des amplificateurs sur toute la gamme audio et peut mesurer des taux aussi faibles que 0,01 %.**

**L**e principe est basé sur la comparaison entre le signal de pilotage de l'amplificateur et le signal amplifié. Cette réalisation n'utilise pas de filtre à circuits accordés, souvent source de frustration pour les bricoleurs les plus avertis.

## LE SCHEMA BLOC

Il existe de nombreuses méthodes pour mesurer la distorsion d'un quadripôle. Historiquement, la plus répandue consiste à faire passer le signal dans un filtre réjecteur accordé sur la fréquence fondamentale afin de l'éliminer et de ne conserver que les harmoniques, les bruits et les ondulations. La mise au point de ce type d'appareil est complexe car elle requiert la mise en œuvre de circuits accordés en pont qui couvrent toute la gamme de mesures et parce qu'elle exige l'équilibre exact du pont. Tous ces réglages se retrouvent sur la face avant de l'appareil, souvent démultipliés en réglages grossiers et fins. Les techniques modernes sont basées

sur l'échantillonnage numérique du signal et son analyse par « Transformée de Fourier ».

C'est la méthode utilisée sur les « cartes son » haut de gamme des ordinateurs personnels. Elle permet également une représentation spectrale.

Afin d'éviter l'écueil des circuits accordés, nous avons opté pour la méthode de comparaison. Le signal de pilotage de l'amplificateur est comparé au signal amplifié et la différence résultant de l'altération occasionnée par l'ampli est mesurée.

Le schéma bloc de la figure 1 met en évidence la simplicité du concept.

Pour comparer deux signaux afin d'en extraire leur différence, il faut impérativement qu'ils aient la même amplitude et qu'ils soient en exacte opposition de phase. On peut alors les additionner et amplifier le signal résiduel pour le quantifier.

L'adaptation correcte de l'amplitude peut être faite simplement par un système atténuateur.

Le réglage « Zéro Amplitude » ajuste le

niveau du signal mesuré à celui du générateur.

## COMPENSATION DE LA PHASE

Il faut tout d'abord prévoir la possibilité d'inversion. En effet, le signal de sortie de l'ampli peut être en phase ou en opposition de phase selon le schéma utilisé. C'est le rôle de IC2.

La réponse en phase dans un système amplificateur n'est pas constante.

En effet, si nous spécifions les amplificateurs en termes de bande passante, par exemple +0/-0,5 dB de 20 Hz à 20 kHz, nous omettons souvent d'en caractériser la phase. Or, cette phase varie le long de la gamme audio.

La figure 2 nous montre la variation de phase d'un amplificateur à transistors « haut de gamme ».

La réponse en amplitude de cet ampli est comprise dans une fourchette de 0,1 dB entre 10 Hz et 25 kHz, alors que la variation de phase atteint 14° dans la même gamme.

Ce phénomène est dû, d'une part aux couplages capacitifs qui provoquent

Figure 1 :  
Synoptique du  
distorsiomètre  
mettant en évidence  
la simplicité du concept

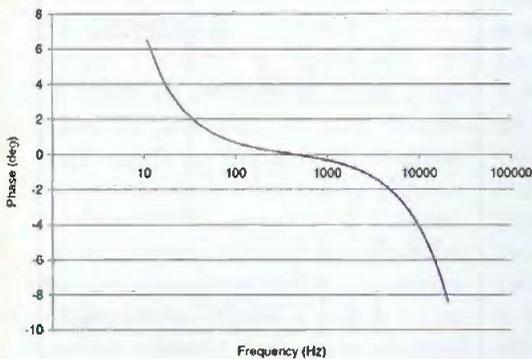
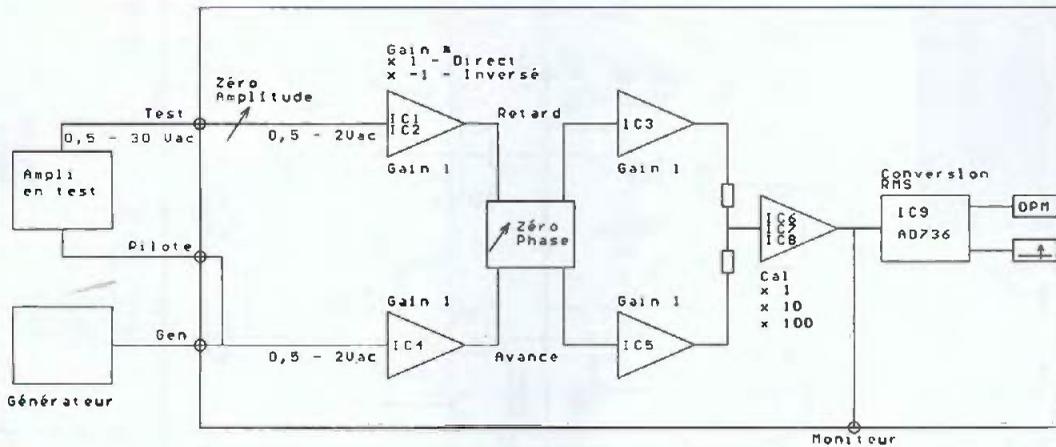


Figure 2 : Variation de phase d'un amplificateur à transistors « haut de gamme »

Fréquence	Période (360°)	1° de Phase
20	50 mSec	138,89 µSec
50	20 mSec	55,56 µSec
100	10 mSec	27,78 µSec
200	5 mSec	13,89 µSec
500	2 mSec	5,56 µSec
1000	1000 µSec	2,78 µSec
2000	500 µSec	1,39 µSec
5000	200 µSec	0,56 µSec
10000	100 µSec	0,28 µSec
20000	50 µSec	0,14 µSec

Figure 4 : Equivalence temporelle du déphasage

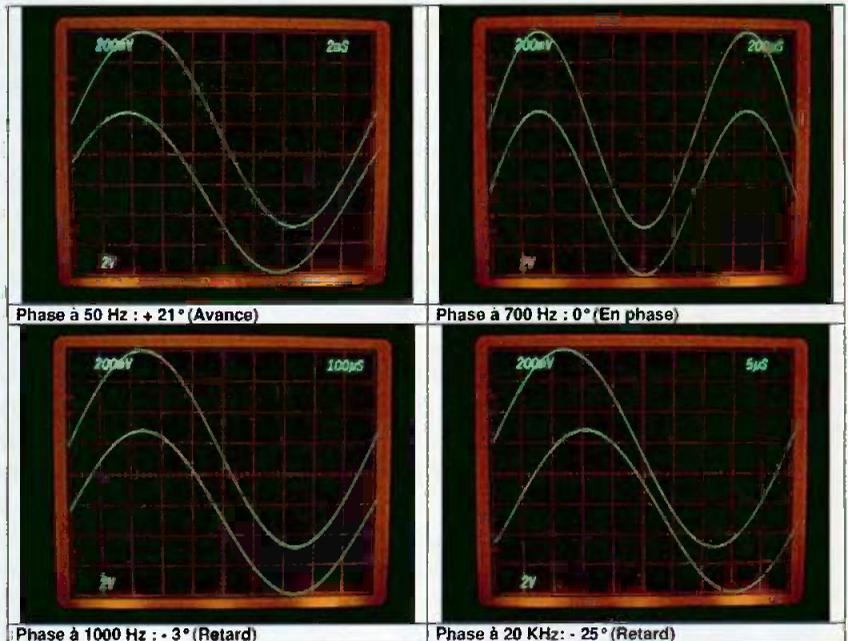


Figure 3 : Etats de phase d'un amplificateur à tubes à sortie par transformateur

une avance de phase aux fréquences basses et, d'autre part, à la fréquence de coupure haute qui provoque un retard de phase. Ce phénomène de rotation de phase est encore accentué sur les amplificateurs non contre-réactionnés et sur les amplificateurs à tubes, le transformateur de sortie étant le maillon faible.

La figure 3 montre les divers états de phase d'un amplificateur à tubes à sortie par transformateur. La courbe du haut est celle du générateur, la courbe

du bas la sortie de l'amplificateur.

Le tableau en figure 4 vous donne un rapide aperçu de l'équivalence temporelle du déphasage.

Par exemple, à 20 kHz ou 50 µs, un retard de phase de 8° (comme montré sur le graphe en figure 2) correspond à un retard de  $8 \times 0,14 \mu\text{s}$ , soit 1,2 µs.

Le réglage « Zéro Phase » permet d'avancer ou de retarder la phase du signal analysé afin d'en assurer l'exacte opposition.

Un amplificateur à gain programmable

de 1,10 et 100 conditionne le signal résiduel avant d'être affiché.

Attention, ce concept n'est pas utilisé dans les appareils professionnels, parce qu'il souffre d'une limitation, à savoir : la comparaison de deux signaux ne permet pas la mesure de la distorsion d'une source. La mesure de la distorsion du seul générateur n'est pas possible. Par contre, avec le concept de comparaison, le taux de distorsion propre du générateur n'a que peu d'influence sur la mesure.



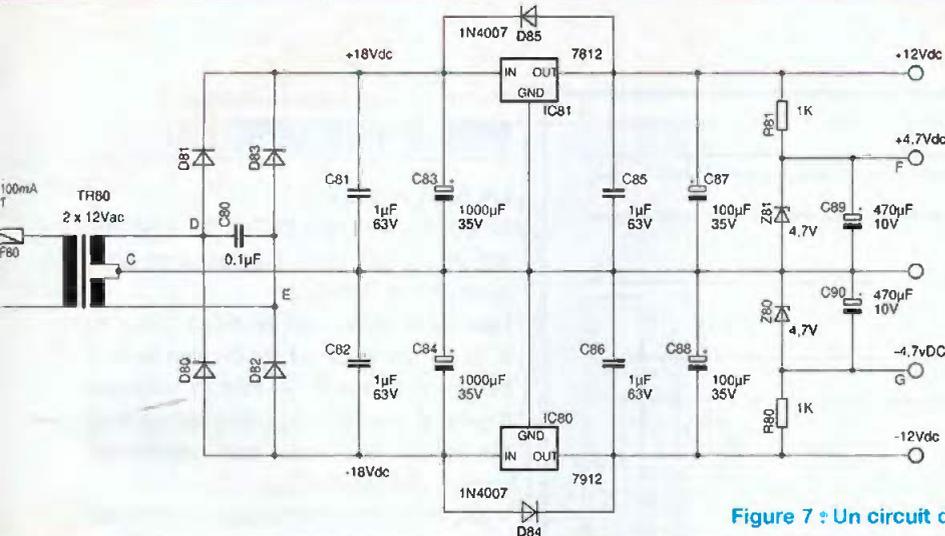


Figure 7 : Un circuit d'alimentation classique à régulateurs 7812/7912

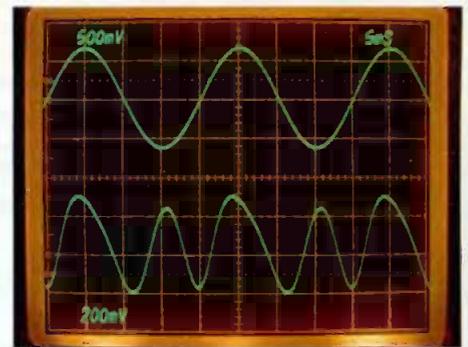


Figure 6 : Indication des harmoniques présents dans le signal testé

## LE SCHEMA

Le circuit est présenté en figure 5. Le signal du générateur est routé directement vers la sortie pilote afin d'exciter l'amplificateur. L'amplificateur opérationnel AOP/IC4 est câblé en gain unitaire et pilote la cellule de compensation de retard P2-R14-C4. Ce réglage « Zéro Phase » avec le switch S3 en position « Retard » provoque un retard programmable entre 0,25  $\mu$ s et 20  $\mu$ s. L'AOP/IC5 reçoit le signal déphasé et l'envoie sous une impédance nulle vers R16 pour comparaison avec le signal de test.

Le signal à tester subit d'abord une adaptation de son amplitude afin de présenter à IC1 un signal d'amplitude égale au générateur, c'est le réglage « Zéro Amplitude ».

Le signal de test ne peut, en aucun cas, être inférieur au signal du générateur. L'interrupteur S1 « Direct-Inversion » commande le relais K1 qui met en service l'AOP/IC2 si l'inversion du signal est requise. Le switch S3 en position « Avance » active les relais K5, K6 et provoque un retard programmable dans le circuit de test. La cellule de compensation d'avance P2-R9-C2 est en fait une cellule à retard mais, insérée dans le circuit de test, elle permet la compensation de l'avance de phase aux fréquences basses de 0,05  $\mu$ s à 50  $\mu$ s.

Comme les 50  $\mu$ s ne se révélèrent pas suffisants pour descendre jusqu'à 20 Hz, particulièrement avec les amplificateurs à tubes, nous avons ajouté la

possibilité de commuter une capacité supplémentaire C11 de 0,1  $\mu$ F.

L'interrupteur S3 en position « Avance + » compense une avance programmable de 5  $\mu$ s à 5 ms.

Ceci permet de rattraper une avance de phase de 36° à 20 Hz.

L'AOP/IC3 reçoit le signal de test et l'envoie pour comparaison vers R11.

Le couplage capacitif des deux entrées C1-R3 et C3-R12 doit être rigoureusement le même, car il induit une avance de phase aux fréquences basses. Une différence de constante de temps à ce niveau demandera une compensation supplémentaire.

Le signal résiduel apparaît à la jonction de R16 - R11. Il est dirigé vers le circuit de mesure.

Ce signal peut être très faible : un taux de distorsion de 0,1 % implique un signal résiduel inférieur de 60 dB en C5.

Les AOP/IC6 et IC7 produisent chacun un gain de 10. Ces facteurs d'amplification de 1, 10 et 100 sont commandés par le commutateur en positions « 100 % », « 10 % » et « 1 % » et activés par les relais K3 et K4. L'AOP/IC8 fixe le niveau de mesure à 100 %. En effet, l'amplitude du signal du générateur (et du test) peut varier. Elle est idéalement comprise entre 0,5 Vac et 2 Vac. De plus, la cellule de retard/avance induit également une altération de l'amplitude. Laquelle influe directement sur le niveau du signal « différence ». En présence d'un seul signal, l'affichage indiquera le niveau nominal de comparaison. Le relais K2, activé par le commutateur en position « Cal », coupe le

signal de test. Seul le signal du générateur est alors présent et le réglage « Cal » est assuré par P3 qui fait varier le gain de IC8 de 0 à +20 dB (10 x).

Le circuit intégré IC9 est un convertisseur RMS de type AD736. Cet intégré restitue une tension de 1 Vdc en sortie pour une excitation de 1 Vac RMS en entrée en broche (2).

Le réglage de P5 se fera avec le potentiomètre « Cal » au minimum, en injectant, dans l'entrée « GEN », 2 Vac/1 kHz. P5 est ajusté pour indiquer 100 sur l'afficheur numérique.

Le sélecteur commute également les deux points décimaux DP1 et DP2.

À la sortie de l'AOP/IC8, nous retrouvons le signal résiduel à un niveau mesurable.

La sortie « Out » permet de monitorer le signal résiduel par un voltmètre AC externe ou un oscilloscope.

La visualisation sur un oscilloscope permet d'affiner encore le réglage des paramètres d'amplitude et de phase et nous donne une bonne indication des harmoniques présents dans le signal testé.

La figure 6 nous montre une visualisation type. La courbe du haut est celle du générateur, celle du bas la distorsion sur la gamme 1 % prise à la sortie « Out ». On notera la présence de l'harmonique 2.

Comme il y a deux inconnues, l'amplitude et la phase, les deux réglages de zéros sont interactifs. Pour la grande majorité des mesures, la gamme 10 %, qui permet la lecture à 0,1 %, est la plus aisée. La gamme 1 % marque un

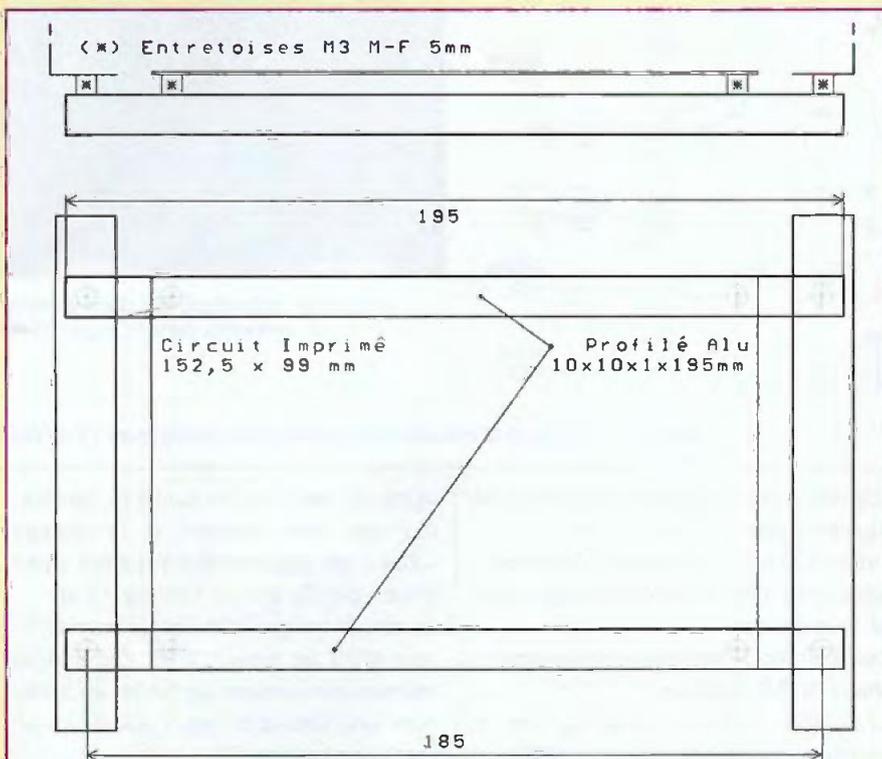
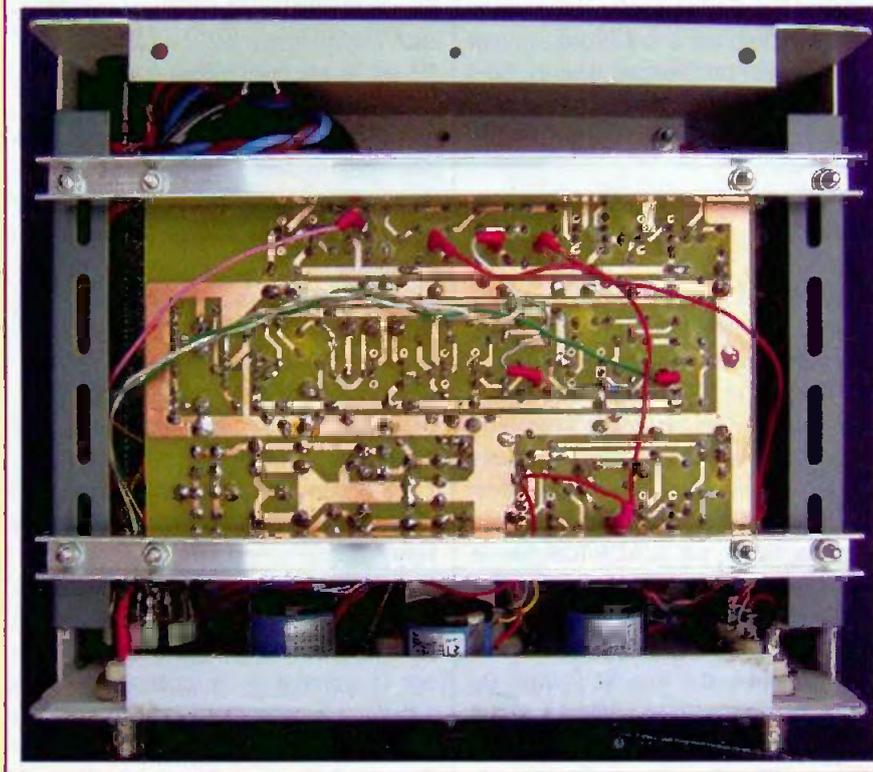


Figure 8

Photo 1



« zéro » plus pointu et peut demander plus de doigté.

## L'ALIMENTATION

Le circuit d'alimentation de la figure 7

est de facture classique et se passe de commentaire. Il met en œuvre les régulateurs 7812 et 7912. Les deux tensions de + 4,7 Vdc et - 4,7 Vdc alimentent l'afficheur numérique en symétrique.

## MISE EN OEUVRE

### LA MÉCANIQUE

Le boîtier mesurant 202 x 178 x 88 mm est disponible chez Radiospares sous la référence 223-972.

Deux profilés en aluminium de 195 x 10 x 10 x 1 mm fixés sur les oreilles du boîtier maintiennent le circuit imprimé (figure 8, photo 1). La carte est centrée sur les profilés, mais son positionnement n'est pas critique.

Il est toutefois avantageux d'effectuer les perçages avant d'équiper la carte.

L'usinage de la face avant est présenté en figure 9 et peut être sous-traité par la société Schaeffer (figure 10). A noter que pour la version définitive, le switch S3 sera remplacé par un commutateur à 3 positions-4 circuits. Sur demande par mail à l'auteur (adresse en fin d'article), le fichier vous sera envoyé gracieusement.

Les photos 2 et 3 présentent l'agencement et le câblage des divers composants fixés sur la face avant. Le galvanomètre est maintenu par deux ressorts fixés à deux cosses à œillets collées à l'époxy. L'afficheur numérique ne nécessite que le perçage d'un trou de  $\varnothing$  5,5 mm. Afin d'éviter de faire circuler le 230 Vac du secteur dans l'appareil, nous avons placé l'interrupteur de mise sous tension, le fusible et le socle secteur sur la face arrière.

### LE CIRCUIT IMPRIMÉ

Le circuit imprimé (figures 11, 12 et photo 4) mesure 152,5 x 99 mm.

Le raccordement aux divers éléments se fait par picots et cosses, la carte est ainsi libre de fils et peut être travaillée aisément. Après s'être assuré du bon placement du circuit dans l'appareil, nous pouvons commencer le montage. Il faut d'abord insérer les 29 picots mâles de 1,3 mm et les 12 pontages.

**A noter :** les picots de commande des relais K1 à K6, le pontage K5-K7 et la diode D7 sont situés sous la carte (voir photo 1).

Le montage des éléments des quatre sections, alimentation, générateur, test et mesure, et leur test se font progressi-

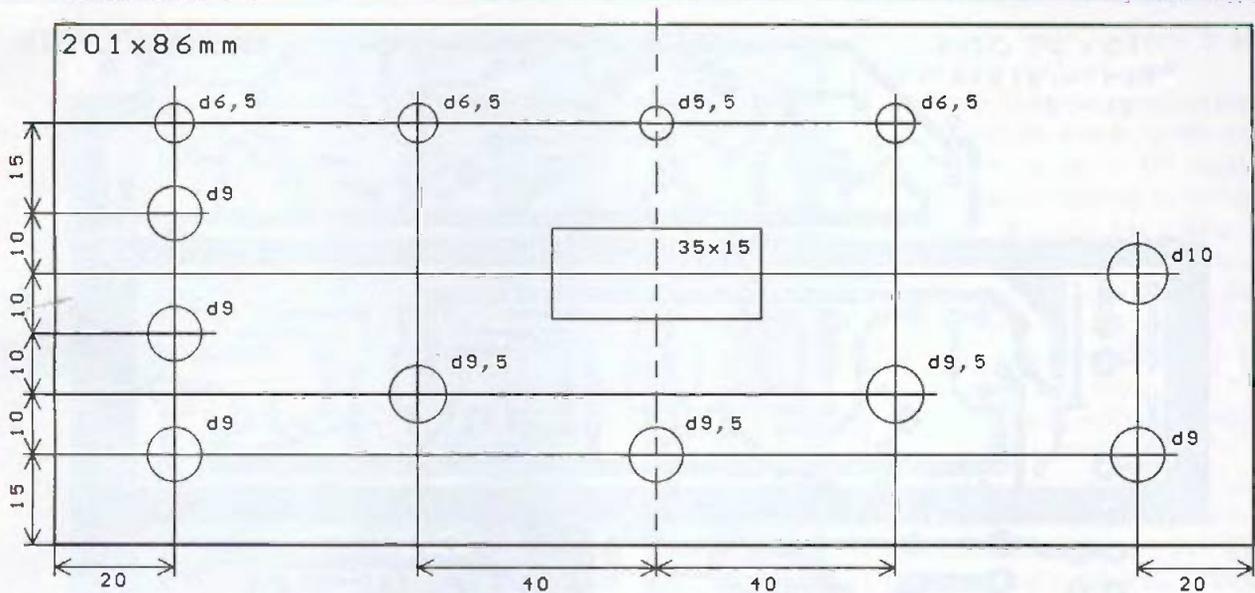


Figure 9 : Usinage de la face avant

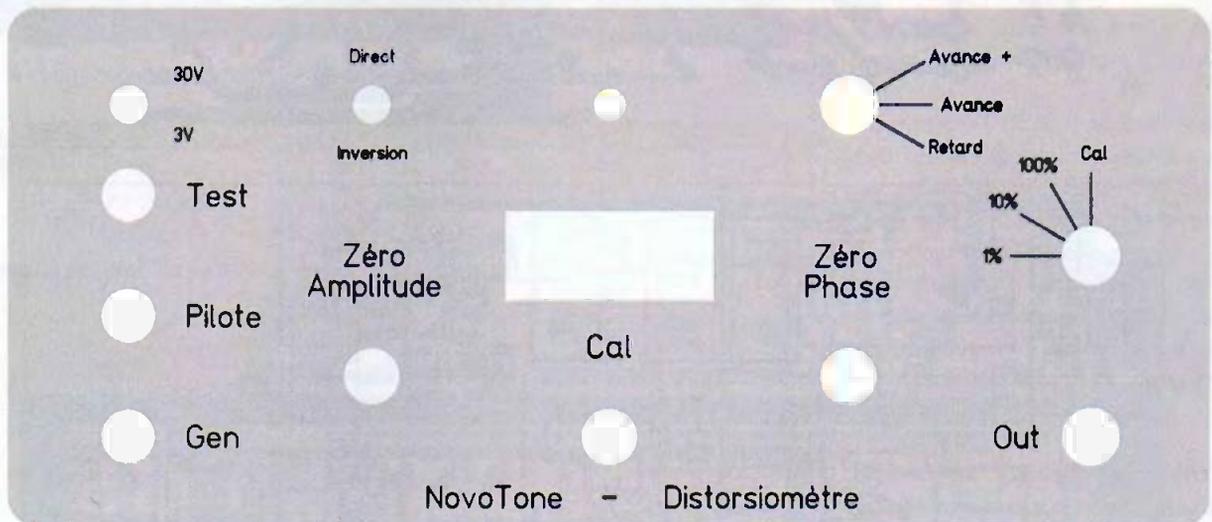


Figure 10 : Sérigraphie de la face avant (celle-ci peut être sous-traitée par la société Schaeffer, annonceur dans notre revue)



Photo 2 : Agencement de la face avant

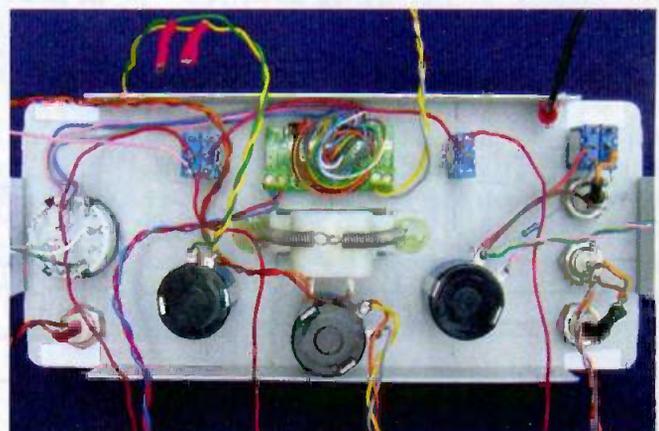


Photo 3 : Câblage des divers composants fixés sur la face avant

# DISTORSIOMÈTRE AUDIO

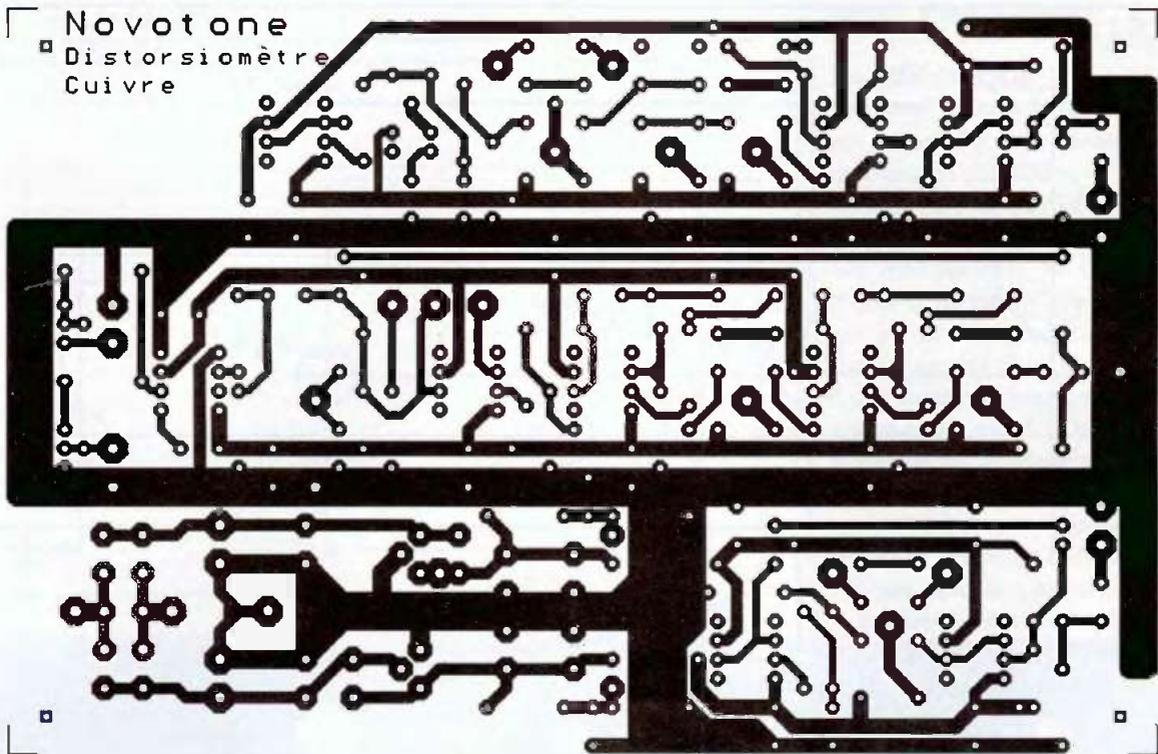


Figure 11

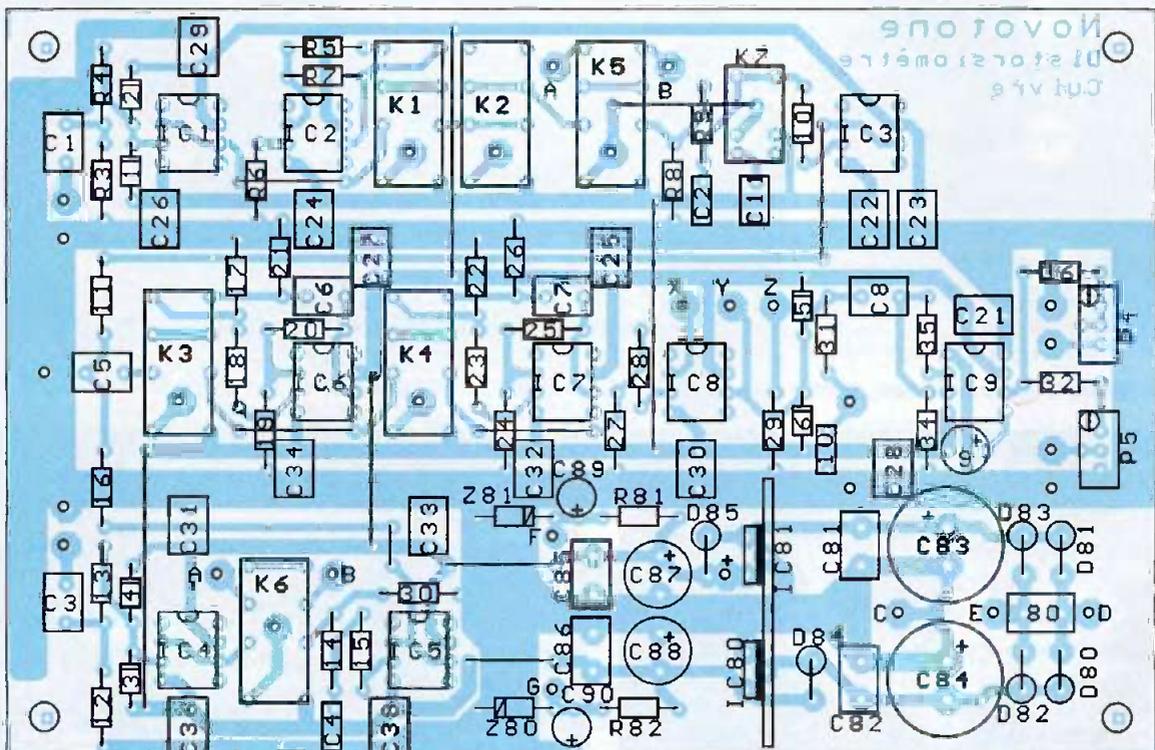


Figure 12

vement. L'alimentation est montée et testée en premier lieu. Les deux régulateurs doivent être refroidis. Ils sont fixés

contre un morceau de cornière en aluminium de 35 x 20 x 10 x 2 mm et le 7912 doit être isolé électriquement.

Ensuite, on assemblera IC4, IC5 et leurs composants périphériques y compris R16. Les points A et B autour de K6

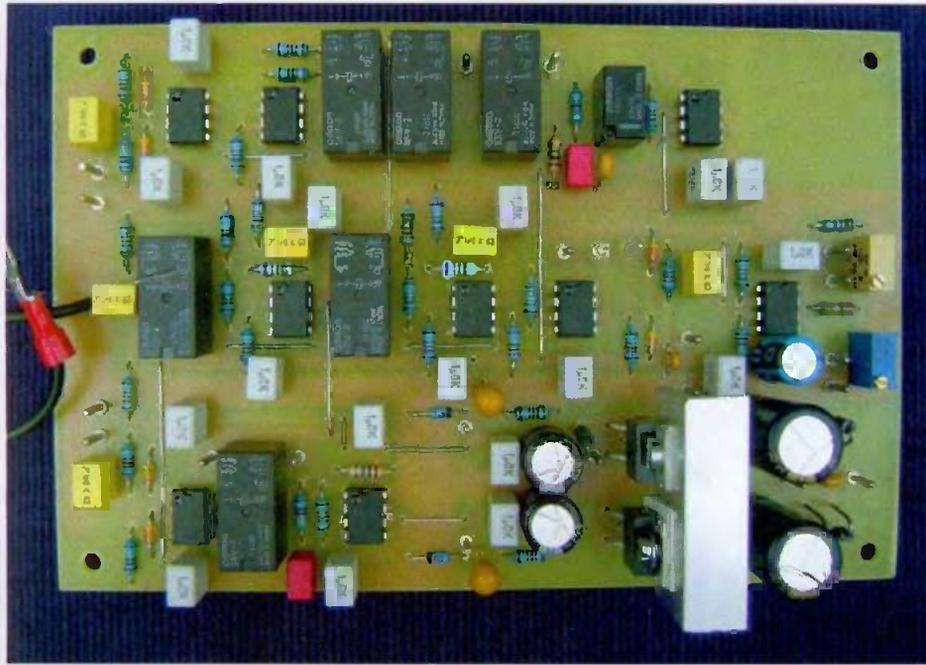


Photo 4 : Le raccordement aux divers éléments se fait par picots et cosses

un signal identique en IC3 broche (6). L'activation de K1 inverse le signal, celle de K2 et K5 le coupe.

On terminera par l'assemblage et le test de la ligne de mesure. Court-circuiter les points X et Y. Un signal de 1 kHz/2 Vac sur l'entrée de test restitue un signal de 1 Vac à la jonction R11-R16. Les relais K3 et K4 au repos, le signal n'est pas amplifié et attaque directement le convertisseur AD736.

Vérifier la présence en broche (6) de IC9 d'une tension de 1 Vdc.

Ramener la tension d'entrée à 20 mVac et tester les amplis IC6 et IC7.

L'activation des relais K3 et K4 amplifie le signal respectivement d'un facteur 10 et 100. La carte est bonne pour le service et peut être installée dans l'appareil.

## MONTAGE FINAL

La carte est fixée sur les profilés en aluminium et raccordée aux divers éléments.

Les photos 1 et 5, 6 et 7 sont assez parlantes et les quelques liaisons pouvant présenter des difficultés d'identification sont marquées sur le schéma et la sérigraphie du circuit imprimé.

Le transformateur est monté sur une cornière en aluminium aux dimensions suivantes : 200 x 15 x 30 x 2 mm (photo 8). Ces divers profilés sont disponibles dans les rayons « bricolage » des grandes surfaces.

Comme cet appareil est destiné à mesurer des signaux très faibles, nous avons soigné particulièrement les masses (photo 8).

La carte est raccordée au boîtier en un seul point situé entre les deux entrées, à côté de C5.

Les quatre côtés sont également raccordés électriquement, en effet la peinture très solide et bien isolante ne permet pas le contact électrique entre les divers éléments.

De même, le trou de fixation arrière gauche de chaque capot est découpé à l'aide d'une mèche et recevra une vis M4 à tête conique.

## MISE AU POINT

La mise au point n'est pas critique. Il s'agit, en effet, de mesures relatives.

Carte Générateur & Filtrés	Valeur	Volt/Puiss.	Tol/Type	Pas (mm)
6 C1,C3,C5,C6,C7,C8	1µF	63V	Radial	5
1 C2	1nF	100V	Radial	5
1 C4	470pF	100V	Radial	5
1 IC9	10µF	35V	Radial	5
1 C10	4,7nF	100V	Radial	5
20 C21 - C34,C36,C38,C81,C82,C85,C86	1µF	63V	Radial	5
1 C80	0,1µF	100V	Radial	5
2 C83,C84	1000µF	35V	Radial	5
2 C87,C88	100µF	35V	Radial	5
2 C89,C90	47µF	10V	Radial	5
7 D1-D7	1N4148			
4 D80-D83	1N4001			
1 F80	100 mA	Lent		
8 IC1-IC8	OPA604			
1 IC9	AD736			
1 IC80	7912			
1 IC81	7812			
6 K1-K6	Relais 24V	DPCO	G5V-2	
1 K7	Relais 24V	SPCO	G5V-1	
2 P1,P3	10K		10T	
1 P2	50K		10T	
2 P4,P5	10K		Adj 10T	
1 R1	10K	1W	5%	
1 R2	1,2K	1/2W	1%	
6 R3,R12,R17,R22,R27,R34	1M	1/2W	1%	
18 R4,R5,R6,R7,R10,R11,R13,R15,R16,R18 R19,R23,R24,R28,R29,R35,R80,R81	1K	1/2W	1%	
2 R8,R30	10M	1/2W	5%	
1 R9	47	1/2W	1%	
1 R14	470	1/2W	1%	
2 R20,R25	9K	1/2W	1%	
2 R21,R26	100K	1/2W	1%	
1 R31	620	1/2W	1%	
1 R32	220K	1/2W	1%	
1 R36	10K	1/2W	1%	
2 Z80,Z81	4,7V	400mW	5%	

sont court-circuités et un signal de 1 kHz/1 Vac en entrée restitue un signal identique sur IC5 broche (6). De même

pour IC1, IC2 et IC3 et leurs composants périphériques jusqu'à R11, un signal de 1 kHz/1 Vac en entrée restitue

# DISTORSIOMÈTRE AUDIO

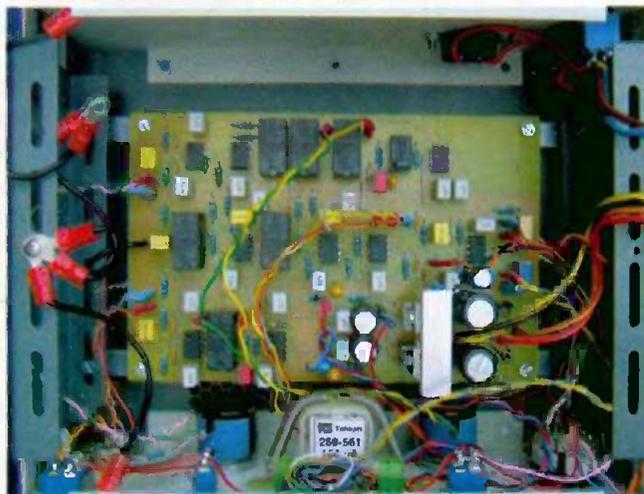


Photo 5 : Le distorsiomètre vu du dessus



Photo 6 : L'appareil vu de l'avant



Photo 7 : L'appareil vu de l'arrière

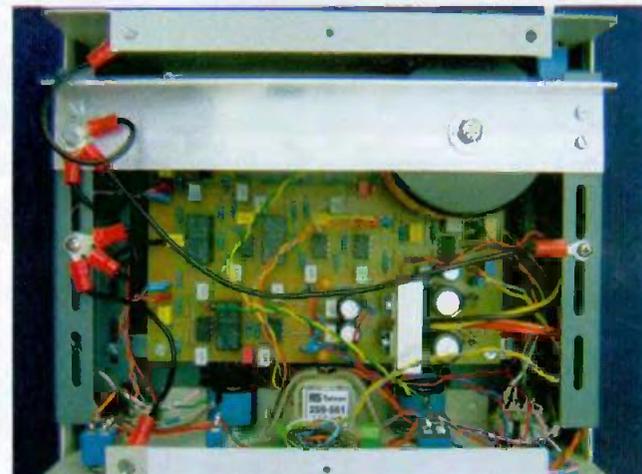


Photo 8 : Noter le soin apporté au raccordement des masses

Positionner le commutateur sur « Cal », les trois potentiomètres au minimum et le switch S3 sur « Avance ».

Injecter un signal sinusoïdal de 1 kHz/2 Vac et ajuster P5 pour indiquer 100 sur l'afficheur numérique, puis ajuster P4 pour obtenir une indication de 10 sur le galvanomètre.

L'imprécision de ce type de galvanomètre est patente (elle peut atteindre les 20 %), en revanche pour la recherche du « zéro », le galvanomètre se révèle bien utile. Vérifier enfin la présence du signal à 1 Vac sur la sortie « Out ».

## MODE D'EMPLOI

Le schéma bloc représenté en figure 1 et la photo 9 montrent le « Set-up » de mesure.

Préalablement, positionner les trois potentiomètres au minimum, le commutateur sur « Cal », les switches S1 sur « Direct », S2 sur « 3V » et S3 sur « Retard ».

Ajuster la tension et la fréquence du générateur pour exciter l'amplificateur au niveau souhaité.

Régler le potentiomètre « Cal » pour obtenir un affichage de 100.

Positionner le commutateur sur « 100% » et ajuster le potentiomètre « Zéro Amplitude » en recherchant un minimum sur le galvanomètre.

Si l'indication augmente au lieu de diminuer, c'est que votre amplificateur inverse le signal.

Dans ce cas, il faut basculer le switch S1 sur « Inversion ». Rechercher la

position « minimum » en ajustant les deux potentiomètres de « zéro ».

Si le « minimum » ne peut être atteint avec le « Zéro Phase » au minimum, basculer S3 sur la position « Avance » et chercher le minimum.

L'inflexion « Avance - Retard » se produit en général entre 100 et 1000 Hz (figure 2).

Si le déphasage en basse fréquence est plus important, ce qui est le cas des amplificateurs à tubes équipés d'un transformateur de sortie (figure 3), il y a lieu de positionner S3 sur « Avance + ». Augmenter si nécessaire la sensibilité du système en passant à la gamme 10 %.

Quand le minimum est atteint, vérifier en position « Cal » si l'afficheur indique

# PROJET 100 % ANALOGIQUE

## Pièces spécifiques - Liste des fournisseurs non exhaustive

Châssis	203x178x88		Radiospares	223-972
Face avant			Schaeffer	Me contacter
Entretoises Métal 5mm M3.M-F				
Mètre numérique			Radiospares	351-7567
			Selectronic	60.2107-1
Mètre analogique			Radiospares	259-561
			Selectronic	60.8375
Socle 230V			Conrad	735620
Socle fusible			Conrad	064436
Transformateur	2 x 12V	15VA		
3x Bouton axe 1/4 inch				
1x Bouton Index axe 6mm				
4x Socle BNC isolé				
S1	SPDT / 1RT	On-On		
S2	DPDT / 2RT	On-On		
S3	DPDT / 2RT	On-Off-On		
S80	DPDT / 2RT	On-On		
Cosses picot 1.3mm			Conrad	526274
Soulier dito			Conrad	526258
SW1	Combinateur	3-Cir / 4-Pos		

## Caractéristiques Techniques

Gamme de fréquences	20 Hz → 20 KHz
Entrée Générateur - Sortie Pilote	500 mVac → 2 Vac
Entrée Test	U Gen → 100 Vac
Compensation de Phase	Retard: 0 → 25 µSec Avance: 0 → 50 µSec Avance+: 5 µSec → 5 mSec
Impédance d'entrée Gen	1 MΩ
Impédance de sortie Pilote	= Impédance de sortie du générateur
Impédance d'entrée Test	10 KΩ
Gamme de mesure	100% - 10% - 1%
Précision	± 5%
Consommation	230 Vac - 50 mA - 12 VA
Dimensions	203 x 177 x 100 mm
Poids	1,9 Kg

Figure 14 : Caractéristiques techniques du prototype

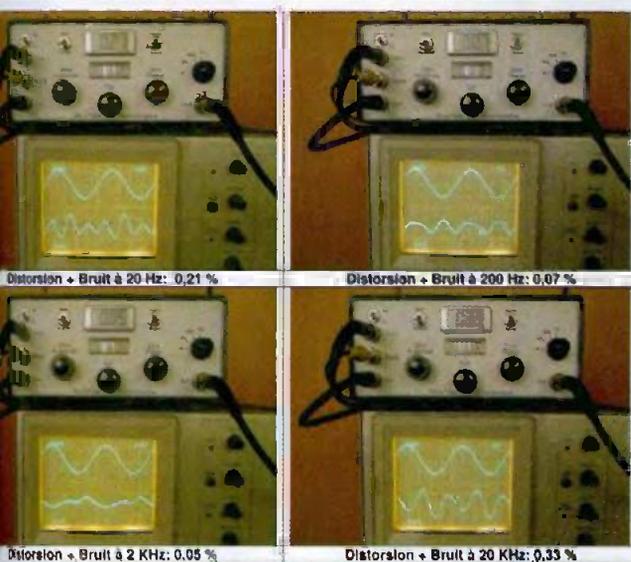


Figure 13 :

Résultats de quelques mesures effectuées

avec le distorsiomètre sur l'amplificateur push-pull de tétrodes C décrit dans *Electronique Pratique* n°301 daté de janvier 2006. On peut constater que le taux de distorsion de cet amplificateur est très faible dans la bande de fréquence de 20 Hz à 20 kHz



Photo 9 :

Ce distorsiomètre se révèle le complément idéal du générateur décrit dans *Electronique Pratique* n°299

toujours 100 % et réajuster au besoin le potentiomètre « Cal ».

L'affichage du taux de distorsion vous donne alors la mesure exacte en pourcentage.

La gamme 1 % permet des mesures à 0,01 % mais nécessite un générateur et un amplificateur bien stables.

En cas de mesures à forte puissance, on utilisera la gamme 30 V du switch S2. L'atténuateur d'entrée en position 30 V supporte une tension de 100 Vac

## CONCLUSION

Ce distorsiomètre se révèle le complément idéal du générateur (photo 9) déjà décrit dans *Electronique Pratique* n°299 (novembre 2005). Les mesures réalisées à l'aide de cet appareil ont été comparées à deux autres distorsiomètres de marques et les écarts ne dépassent pas les 5 %. Ce qui, pour une mesure de distorsion, est excellent.

Les figures 13 et 14 vous présentent quelques mesures et les caractéristiques techniques de notre prototype.

Pour les données de fabrication de la face avant chez Schaeffer, des cartes imprimées ou quelque problème d'approvisionnement, n'hésitez pas à contacter l'auteur à l'adresse mail suivante : [jl.vandersleyen@skynet.be](mailto:jl.vandersleyen@skynet.be) ou via son site internet [www.novotone.be/fr](http://www.novotone.be/fr)

J. L. Vandersleyen