

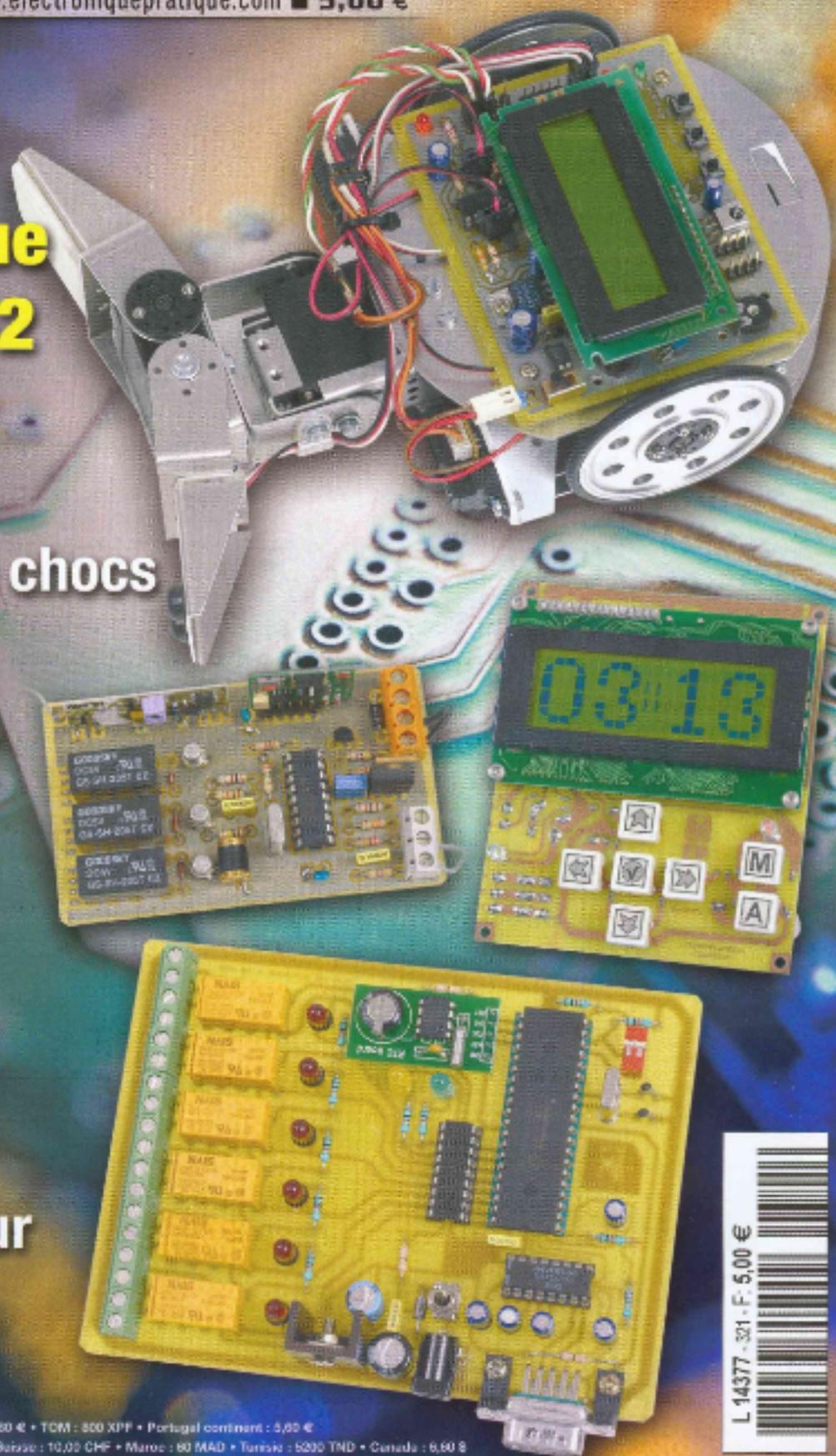
## Robot pédagogique à PIC18F452

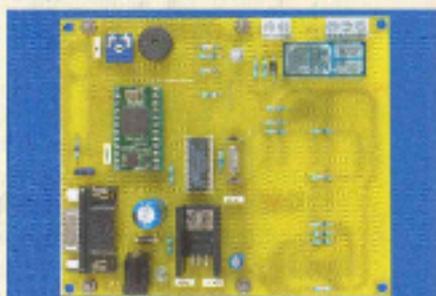
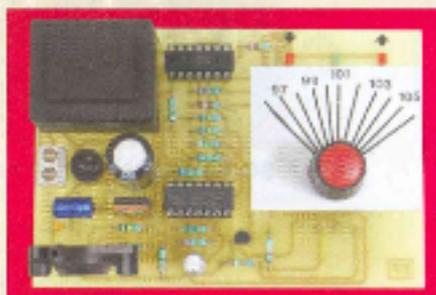
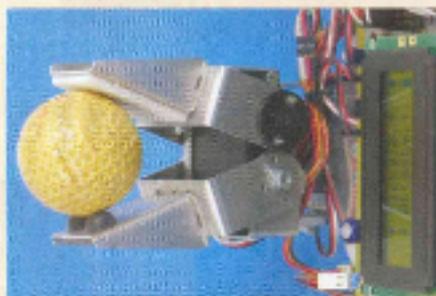
Alarme HF  
pour 2 roues  
à détection de chocs

Compteur/  
Temporisateur  
à affichage  
géant

Baromètre  
à capteur  
MPX 2200 AP

Programmateur  
avec horloge  
« temps réel »





## Initiation

- 8 Internet pratique
- 10 Le condensateur, composant incontournable

## Micro/Robot/Domotique

- 14 Alarme UHF pour deux-roues
- 21 Robot pédagogique à PIC 18F452
- 28 Baromètre électronique
- 34 Compteur et temporisateur de précision
- 42 Programmeur à relais avec horloge « temps réel »

## Audio

- 50 Et si on parlait tubes (cours n°39) : l'amplificateur MC30 de Mc Intosh
- 56 Générateur hybride basses fréquences, 1 Hz à 200 kHz

Fondateur : Jean-Pierre Verdier - TRANSCOCEANIC SAS au capital de 574 000 € - 3, boulevard Ney, 75018 Paris Tél. : 01 44 35 90 20 - Fax : 01 44 65 90 90  
Internet : <http://www.electroniquepratique.com> - Président : Patrick Vercher - Directeur de la publication et de la rédaction : Patrick Vercher

Secrétaire de rédaction : Elise Sepulveda - Couverture : Dominique Duriez - Illustrations : Alain Bonneville Sendes

Photos : Isabelle Carréon - Avec la participation de : R. Bass, F. Ciaramitri, R. Kraem, Y. Méry, P. Mayeux, P. Morin, P. Ogino, G. Semblerot, V. Thiéresse  
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 : A la revue, e-mail : [pubep@holboare.com](mailto:pubep@holboare.com)

I.S.S.N. 0243 4811 - N° Commission paritaire : C809 T 85322 - Distribution : MLP - Imprimé en France/Printed in France

Imprimerie : ACTIS MAJUL DE & RENOU 09430 CAUCHY - DEPOT LEGAL : NOVEMBRE 2007 - Copyright © 2007 - TRANSCOCEANIC

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 adhésives, soit le relevé des indications qui y figurent.

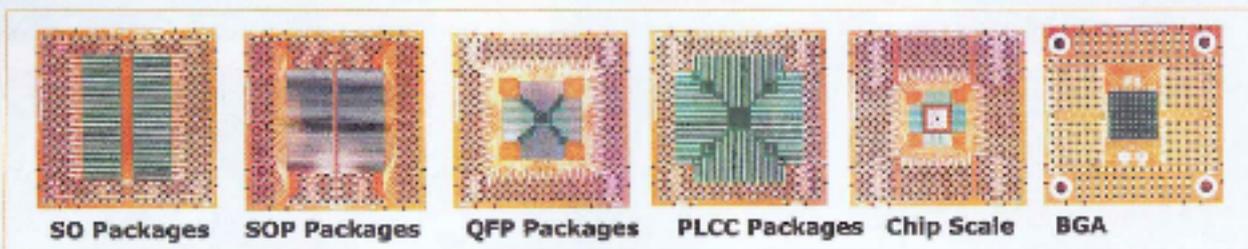
Abonnements USA - Canada : Contacter Express Mag - [www.expressmag.com](http://www.expressmag.com) - [expressmag@expressmag.com](mailto:expressmag@expressmag.com) - Tarif abonnement USA-Canada : 60 €

TARIFS AU NUMÉRO : France Métropolitaine : 5,00 € • DOM Avion : 6,00 € • DOM Surface : 5,50 € • TOM : 600 XPF • Portugal continent : 5,80 €

Belgique : 5,20 € • Espagne : 5,60 € • Grèce : 5,90 € • Suisse : 10,00 CHF • Maroc : 60 MAD • Tunisie : 5000 TND • Canada : 6,80 \$ CAN

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

# Les platines de prototypage SchmartBOARD/ez



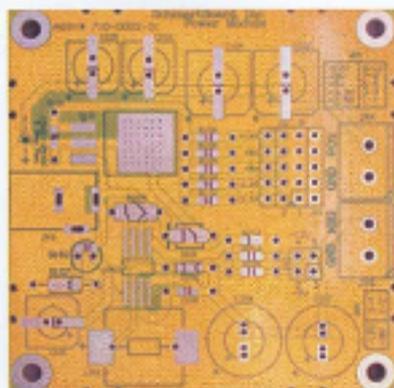
La société Lextronic distribue une gamme complète de platines de prototypage, permettant la mise en œuvre des circuits intégrés en boîtier SO/SOP/QFP/PLCC/QFN et même pour les boîtiers de type BGA qui sont normalement impossibles à souder sans outillage spécialisé.

Toutes les broches des composants soudés sur ces platines sont reprises sur leurs côtés, afin que ces connexions soient plus facilement accessibles pour la réalisation du prototype.

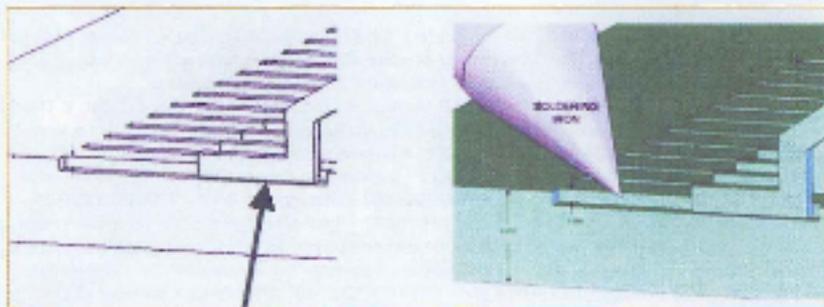
## Quel en est le principe ?

Il existe des platines de prototypage depuis plusieurs années, mais celles-ci ne sont plus adaptées à la miniaturisation de plus en plus poussée des nouveaux circuits.

SchmartBOARD a inventé un principe simple mais très efficace. En effet, l'utilisateur de composants CMS se heurte à deux types de problèmes. Le premier réside dans la mise en place et le maintien du composant durant toute l'opération de soudage. Le second consiste à éviter les ponts de soudure qui se forment entre les pattes, la plupart du temps distantes



de quelque 1/10<sup>e</sup> de mm seulement. Les platines SchmartBOARD/ez, par un système simple et ingénieux, permettent de s'affranchir de ces difficultés. Ce système consiste à avoir recours à des platines sur lesquelles des rainures sont préfabriquées afin d'épouser la forme des broches des composants. Ces rainures forment des canaux dans lesquels le composant vient se loger et s'immobiliser. Il suffit alors d'appliquer, sans soudure additionnelle, un peu de flux dans ces canaux et de les chauffer un à un au moyen d'un fer à souder à pointe fine, afin que la soudure, déjà présente dans les canaux, vienne en contact avec chaque broche du composant. Les dessins donnés ci-dessous montrent le principe utilisé.

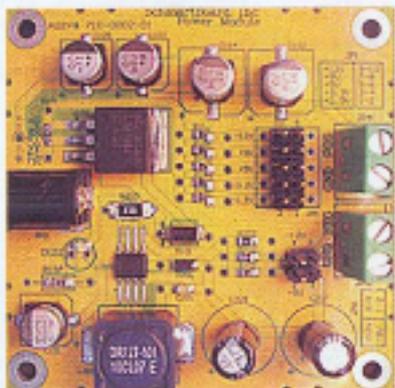


## D'autres platines

La société SchmartBOARD commercialise également d'autres platines de prototypage non équipées du système de rainurage. Elles permettent, par exemple, la réalisation d'alimentations ou proposent simplement des zones pastillées pour composants CMS divers (photos ci-contre et ci-dessous).

Toutes les platines, quel que soit le modèle, peuvent être raccordées entre elles au moyen de petites pièces en plastique très résistant afin de former une seule et unique platine.

Nous nous trouvons là en présence d'un produit tout à fait original qui permettra à de nombreux passionnés de pouvoir enfin franchir le pas en utilisant des composants CMS, sans devoir réaliser des circuits imprimés toujours complexes à concevoir.



Lextronic  
36/40 rue du Général de Gaulle  
94510 La Queue en Brie  
Tél. : 01 45 76 83 88

## Tournoi de Robot Sumo

**P**our la deuxième année consécutive, les 4 et 5 avril 2008, pendant ses journées portes ouvertes, l'Université Montpellier II accueille le quatrième Tournoi national de robot sumo.

Ouvert à tous (scolaires, clubs, étudiants, amateurs) et sans limite d'âge, ce tournoi est l'une des trop rares occasions sur notre territoire pour assister à des démonstrations de divers robots, tous plus surprenants les uns que les autres.

Sa vocation première est de faire découvrir la science en s'amusant, en développant la curiosité et en favorisant le partage des connaissances.

Pour aller dans ce sens, après avoir mis en place une compétition de

robots suiveurs de ligne, spécialement adaptée aux jeunes et aux débutants, les organisateurs proposent cette année deux compétitions supplémentaires : une course de

robots solaires pour les débutants et une course de robots Formule 1 pour les plus aguerris. Deux nouvelles ouvertures pour essayer de réaliser un projet seul ou à plusieurs.

Les énergies nouvelles sont à l'honneur un peu partout, une occasion de plus pour montrer leurs applications futures.

Les inscriptions (gratuites) sont dès à présent ouvertes sur le site de l'université où l'on trouve en téléchargement les règlements des diverses compétitions et la fiche d'inscription commune.



Pour de plus amples informations : <http://www.geli.lut-nimes.fr/fg>

## FORUM DE L'ÉLECTRONIQUE

### Bon millésime pour Eurocircuits

**Q**uelque 200 visiteurs professionnels attentifs se sont rendus sur le stand d'Eurocircuits au Salon de l'électronique, qui s'est tenu en septembre dernier à Paris, pour la présentation en direct de ses services en ligne Verified, A la carte et On Demand.

Eurocircuits annonce traiter actuellement une moyenne de 175 dossiers nouveaux par jour, pour un fichier actif de plus de 4 000 clients. Son compte en ligne permet de faire des devis, des demandes d'offres, de passer des commandes (pas de minimum), d'en faire le suivi et de télécharger tout fichier, en particulier les fichiers des « Pâtes à braser ».

Offre en ligne accessible depuis [www.thepcbshop.com](http://www.thepcbshop.com) (pour les particuliers) et <http://www.eurocircuits.com> (pour les professionnels)

## VINCULUM

Micro contrôleur avec 1 USB M/E  
Kit lecteur MP3  
avec fichier sur clé USB  
Commande par liaison Série, SPI



Lecture RFID 13,56 MHz  
avec un seul composant



- Lecture de Tags ISO 15693, 1443
- Consommation 6mA-120mA
- 0.1uA en mode veille
- Format TQFP 32 (2.7-3.6V) faible coût
- Liaison SPI ou Parallèle
- Distance de lecture de 10cm en 14443A/B et jusqu'à 150cm en ISO 15693.
- Kit de développement disponible

**EBCONNECTIONS**

[www.ebconnections.com](http://www.ebconnections.com)

3 Rue St Vincent Paul  
89420 Ragny  
Tél : 0820 900 021  
Fax : 0820 900 126

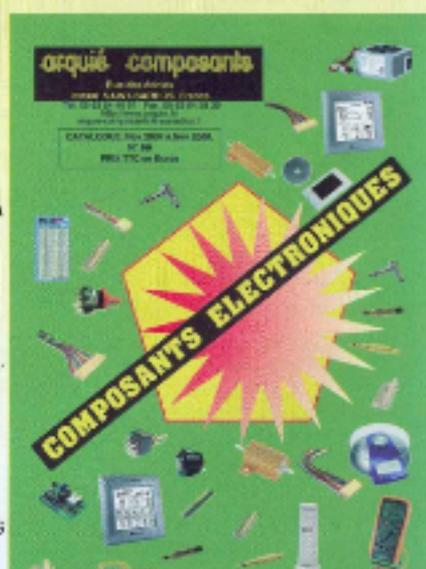
## arquie composants

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°66

Alimentations. Alimentations.  
Caméras. Capteurs.  
Cartes à puces. Circuits  
imprimés. Circuits intégrés.  
Coilfrets. Condensateurs.  
Cellules solaires.  
Connectique. Diodes. Fers à  
souder. Interrupteurs. Kits.  
LEDs. LEDs Luxeon.  
Microcontrôleurs. Multime-  
tres. Oscilloscopes.  
Outillage. Programmeurs.  
Quartz. Relais. Résistances.  
Transformateurs. Transis-  
tors. Visserie.  
Etc...

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



Nouveau catalogue N°66 début Nov.

BON pour CATALOGUE papier FRANCE. GRATUIT P. 80 € pour COM, TOM, UP et autres pays

Nom: ..... Prénom: .....

Adresse: .....

Code Postal: ..... Ville: .....

Les moteurs « pas à pas » font partie intégrante de notre quotidien (lecteur de CD ou de DVD, automobile, etc.). Il n'est donc pas étonnant de trouver de très nombreux sites Internet qui leur soient consacrés.

L'électronicien « amateur » n'échappe pas à l'engouement que suscite ce type de moteur, que ce soit pour un usage en rapport avec la robotique ou, plus simplement, avec la domotique.

Le tout premier site que nous vous invitons à visiter se trouve à l'adresse <http://www.ac-nancy-metz.fr/Pres-etab/Lortz/formations/ssi/cours/electrotechnique/moteurPP/moteurPP.htm>

Ce site très abordable explique en quelques lignes le fonctionnement des moteurs « pas à pas » et plonge de suite le lecteur dans le vif du sujet à l'aide de petites animations fort sympathiques qui illustrent les commandes en pas normal, demi-pas et micro-pas.

Le tour d'horizon des informations en rapport avec les moteurs « pas à pas » présentés par ce site est très rapide, aussi ressent-on très vite l'envie de passer à la suite.

Qu'à cela ne tienne, nous vous proposons maintenant de vous diriger vers le site : <http://stieloc.ac-aix-marseille.fr/cours/abat/motpas.htm>

Lequel explique les contraintes du pilotage d'un moteur « pas à pas » (<http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abat/elecpcas.htm>). Toutefois, son principal intérêt réside dans l'animation-flash proposée à l'adresse suivante : <http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abat/flash/pas.swf>

Très rapidement, cette petite animation permet de comprendre les nombreux modes de fonctionnements possibles des moteurs « pas à pas », qu'ils soient de type unipolaire ou bipolaire. Nous adressons des félicitations tout à fait sincères à l'auteur de ce site, Patrick Abati, pour cette

# internet PR@TIQUE

1

<http://www.ac-nancy-metz.fr/Pres-etab/Lortz/formations/ssi/cours/electrotechnique/moteurPP/moteurPP.htm>



animation remarquable sur un plan pédagogique !

Si vous ressentez l'envie de mettre en œuvre tout ce « savoir » fraîchement acquis, nous vous invitons à suivre sans plus attendre le lien suivant :

<http://perso.orange.fr/college.claudel.chevigny/techno/pasapas/pasapas.htm>

L'auteur de ce site propose un petit montage fort sympathique, permettant de mettre en mouvement un petit moteur « pas à pas » unipolaire de petite puissance (12V/250mA, quatre enroulements) sans utiliser le moindre microcontrôleur (pour une fois !).

Le montage est cadencé par un banal NE555 associé à quelques bascules

et un circuit ULN2003 (qui peut être remplacé par des transistors Darlington). Ceci explique que le coût tout à fait raisonnable de ce montage le prédestine naturellement à nos jeunes lecteurs. A n'en pas douter, les plus anciens trouveront là également une source d'inspiration pour de nouveaux petits montages attrayants.

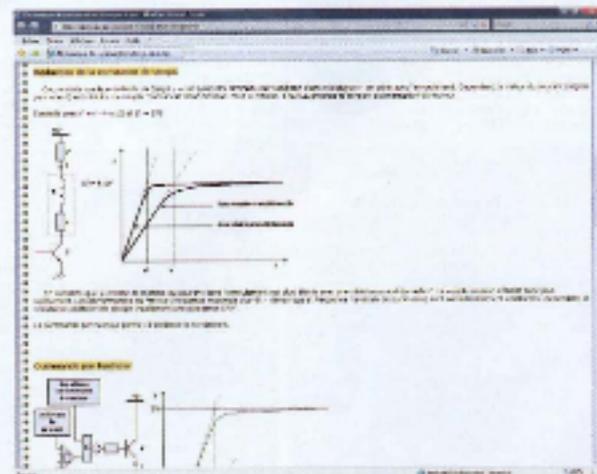
Le schéma de ce montage est visible à l'adresse :

[http://perso.orange.fr/college.claudel.chevigny/techno/pasapas/pas\\_stru.htm](http://perso.orange.fr/college.claudel.chevigny/techno/pasapas/pas_stru.htm)

Enfin, nous avons pris l'habitude, bien involontairement, de vous proposer régulièrement des documents à télécharger, histoire de conserver

2

<http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abat/elecpcas.htm>





# UN COMPOSANT INCONTOURNABLE

## Le condensateur

Parmi les composants que l'on trouve le plus souvent dans les montages électroniques, le condensateur, appelé également « capacité », occupe une place de choix.

**N**ous vous proposons de passer en revue les caractéristiques et les lois qui régissent le fonctionnement du condensateur en commençant par quelques généralités.

### Généralités

#### Considérations générales

Un condensateur peut être réalisé par la présentation, face à face, de deux plaques conductrices d'électricité, séparées par un isolant. Cet isolant, encore appelé « diélectrique », peut d'ailleurs être tout simplement l'air ambiant.

Lorsque l'on applique un potentiel électrique aux électrodes reliées aux plaques (également appelées « armatures »), l'ensemble se charge et conserve cette charge sous la forme d'une quantité d'électricité proportionnelle au potentiel appliqué.

Le condensateur se décharge si on relie les électrodes entre elles, avec ou sans résistance insérée dans le circuit. En se déchargeant, il restitue entièrement la quantité d'électricité qu'il avait emmagasinée auparavant. Il peut ainsi être assimilé à un réservoir d'énergie que l'on peut remplir ou vider à volonté. La figure 1 rappelle la symbolisation adoptée pour ce composant. Notons, dans un premier temps, qu'il existe des condensateurs polarisés et non polarisés.

#### Principales utilisations

Les capacités sont essentiellement utilisées dans les applications suivantes :

- Stabilisation du potentiel dans une



alimentation

- Transmission de signaux périodiques entre des étages amplificateurs
- Constitution de bases de temps
- Circuits dérivateurs
- Circuits intégrateurs
- Générateurs de signaux
- Bascules diverses

#### Définition de la capacité et unités

La capacité d'un condensateur représente sa faculté d'emmagasiner une quantité d'électricité plus ou moins importante sous un potentiel donné. Elle s'exprime en farads, en hommage à Michael Faraday, physicien et chimiste britannique (1797 - 1867). Le Farad correspond à une charge emmagasinée de 1 Coulomb sous un potentiel de 1 Volt.

$$Q = C.U$$

Il s'agit d'une unité très grande. Aussi a-t-on le plus souvent recours à ses sous-multiples :

- le microfarad ( $\mu\text{F}$ )  $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$
- le nanofarad ( $\text{nF}$ )  $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
- le picofarad ( $\text{pF}$ )  $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

#### Paramètres déterminant sa capacité

La valeur de la capacité d'un condensateur se détermine par la relation :

$$C = \frac{8,85 \times \epsilon_r \times S}{e \times 10^{12}}$$

C : Capacité du condensateur exprimée en farads

$\epsilon_r$  : Permittivité du diélectrique séparant les armatures

S : Surface du diélectrique séparant les armatures exprimée en  $\text{m}^2$

e : Épaisseur du diélectrique exprimée en mètre

La valeur du coefficient de permittivité dépend de la nature du diélectrique.

Ci-après quelques exemples de valeurs numériques correspondant à des matériaux couramment utilisés :

- Alumine : 4,5 à 8,5
- Air : 1
- Mica : 6 à 9
- Verre : 5 à 12
- Plastique : 2 à 5
- Céramique : 15 à 30000

### Différents types de condensateurs

#### Les électrolytiques

Au moment de leur fabrication, il n'existe pas d'isolant entre les deux armatures, si bien qu'un condensateur électrolytique neuf ... laisse passer le courant continu.

Ce paradoxe provient du fait que l'une des armatures est une gelée conductrice qui entre dans la réaction d'électrolyse lorsque le courant continu y circule pour la première fois. Il se forme alors une couche isolante

extrêmement mince. C'est ce qui explique la grande capacité (1 à 10 000  $\mu\text{F}$ ) caractérisant les condensateurs électrolytiques.

Du fait de la minceur de l'isolant, ce type de capacité a un potentiel d'utilisation assez limité ne dépassant guère 200 V.

Ces condensateurs doivent être utilisés sous des potentiels continus : on dit qu'ils sont polarisés. Ils peuvent être soumis à des potentiels alternatifs à condition que la valeur moyenne du potentiel appliqué sur l'armature positive reste supérieure à celle de l'armature négative. Du fait de son inductance propre non négligeable, ce type de capacité est à déconseiller dans le cas de traitements de signaux « haute fréquence ». Enfin, un autre inconvénient de ces condensateurs réside dans leur précision tout à fait relative : une tolérance de 20 %, voire 50 % pour les plus gros, les caractérise fréquemment.

Ils trouvent tout naturellement leur utilité dans le filtrage des potentiels redressés des alimentations ou encore dans un circuit de temporisation, à base de temps élevée, ne requérant pas une grande précision.

### Les non électrolytiques ou non polarisés

Ils sont fabriqués suivant la définition théorique évoquée en début de paragraphe, à savoir deux armatures métalliques séparées par un isolant diélectrique. C'est la nature de ce dernier qui détermine le type de condensateur.

#### Capacités « céramique »

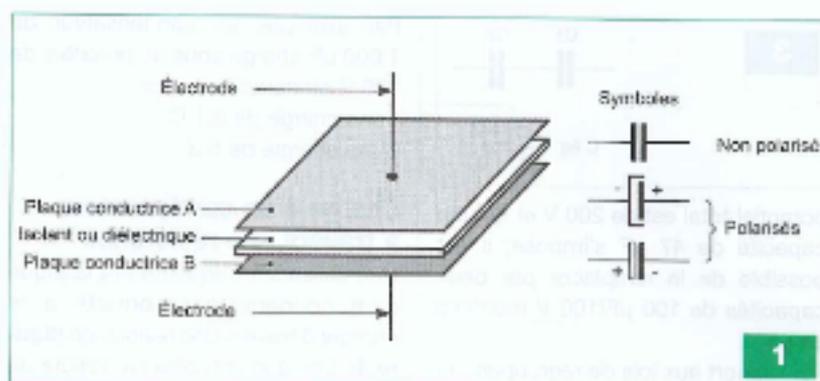
Elles se caractérisent par une inductance très faible et une très grande résistance d'isolement. On les trouve donc dans les montages « haute fréquence » et les applications où une haute tension est requise.

En revanche, ce type de condensateur a généralement une valeur capacitive faible et présente une certaine fragilité mécanique.

#### Capacités « plastique »

Il existe plusieurs types de ces condensateurs selon la nature du diélectrique mis en œuvre.

- Le polyéthylène présente l'avanta-



ge d'une très grande ductilité. Il peut donc être étiré ou laminé pour obtenir des épaisseurs faibles, ce qui a pour résultat de donner des capacités assez grandes dans de faibles volumes. Ils se présentent souvent sous un revêtement de couleur jaune et entrent dans les circuits « audio ».

- Le polystyrène ne présente pas la même facilité de laminage en couches minces. Ces condensateurs sont donc relativement volumineux. Ils sont également plus coûteux. Par contre, ils sont très stables, précis et peu sensibles aux variations de la température. Ils ont un excellent comportement dans les circuits « audio ».

- Le polypropylène présente la même stabilité que le polystyrène tout en étant moins onéreux. De tels condensateurs sont cependant moins précis en valeur nominale. Ils restent également assez volumineux. On les trouve dans de nombreux circuits équipant les jouets, les boîtiers électroniques, les accessoires pour téléphones portables.

### Valeurs normalisées

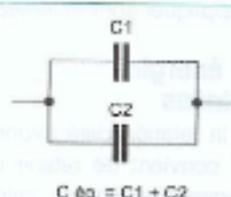
Comme pour les résistances, c'est la norme CEI 60063 qui définit les valeurs nominales des capacités.

La série E12, la plus courante, présente les groupes de deux chiffres significatifs suivants :

1,0 - 1,2 - 1,5 - 1,8 - 2,2 - 2,7 - 3,3 - 3,9 - 4,7 - 5,6 - 6,8 - 8,2

La série E24 est plus rare. Rappelons qu'elle présente la progression suivante :

10 - 11 - 12 - 13 - 15 - 16 - 18 - 20 - 22 - 24 - 27 - 30 - 33 - 36 - 39 - 43 - 47 - 51 - 56 - 62 - 68 - 75 - 82 - 91



### Principales formules de calculs

Sans entrer dans des considérations mathématiques plus ou moins complexes, il est nécessaire de connaître certaines relations de base.

#### Groupe en parallèle de condensateurs

Dans le cas d'un groupement en parallèle de plusieurs capacités (figure 2), la valeur de la capacité équivalente est égale à la somme des valeurs propres de chaque capacité :

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2$$

Le regroupement de capacités en parallèle permet ainsi d'obtenir une capacité totale plus importante.

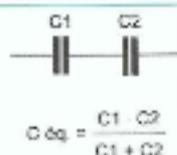
#### Groupe en série de condensateurs

Dans le cas d'un groupement en série de plusieurs capacités (figure 3), l'inverse de la capacité équivalente est égal à la somme des inverses de chaque capacité.

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

En regroupant des capacités d'égale valeur en série, on partage le potentiel total en autant de parts. Ce qui permet, dans certains cas, de résoudre le problème d'un dépassement de potentiel maximal si on utilise une seule capacité. Par exemple, si le

3



potentiel total est de 200 V et qu'une capacité de 47  $\mu\text{F}$  s'impose, il est possible de la remplacer par deux capacités de 100  $\mu\text{F}/100\text{ V}$  montées en série.

Par rapport aux lois de regroupement des résistances, on notera que les relations à appliquer sont inversées.

## Charge et énergie emmagasinées

En plus de la relation déjà évoquée  $Q = C.U$ , il convient de retenir que l'énergie correspondante se calcule par le biais de la relation :

$$W = 0,5 C.U^2$$

W : Énergie exprimée en joules

C : Capacité du condensateur en farads

U : Potentiel aux bornes du condensateur en volts

Par exemple, un condensateur de 1 000  $\mu\text{F}$ , chargé sous un potentiel de 100 V, se caractérise par :

- une charge de 0,1 C

- une énergie de 5 J

## Charge d'un condensateur à travers une résistance

Une utilisation fréquente et classique d'un condensateur consiste à le charger à travers une résistance (figure 4). Lorsque l'on observe l'allure de l'accroissement du potentiel de l'armature positive par rapport au temps, on constate que cet accroissement n'est pas linéaire. De plus, on peut noter que le condensateur ne se charge entièrement au potentiel U de la source, qu'au bout d'une durée ... infinie.

En fait, la courbe de charge d'un condensateur à travers une résistance est une exponentielle définie par la relation :

$$u = U (1 - e^{-t/T})$$

Avec :

u : Potentiel (V) à l'instant t (s)

U : Potentiel source (V)

R : Résistance ( $\Omega$ )

C : Capacité (F)

Dans la pratique, on appelle une « constante de temps » la valeur  $T = R.C$ . Avec cette notation, la relation ci-dessus devient :  $u = U (1 - e^{-t/T})$

On peut calculer que pour  $t = 3 T$ , la valeur de  $u/U$  est égale à  $1 - e^{-3}$ , soit  $1 - 0,049787$ , c'est-à-dire 0,95. On voit ainsi que la capacité est chargée à 95 % au bout d'un temps correspondant à 3 T.

Il est également possible de poser le problème inverse consistant à se demander au bout de quelle durée le condensateur atteint 50 % de la tension de charge. Il suffit de résoudre l'équation :

$$u/U = 0,5 = 1 - e^{-t/T} \text{ soit } e^{-t/T} = 0,5$$

Cela peut également s'écrire :

$$e^{t/T} = 1 / 0,5 = 2$$

D'où  $t/T = \ln 2$  ( $\ln$  : logarithme népérien)

D'où  $t/T = 0,693$  que l'on arrondit souvent à 0,7.

## Décharge d'un condensateur à travers une résistance

Comme pour la charge, l'allure de la courbe n'est pas linéaire mais logarithmique (figure 5). Théoriquement, la capacité est seulement déchargée au bout d'une durée infinie. En réalité, après une durée de décharge égale à 3 T, il ne reste plus que 5 % de la charge.

La relation mathématique correspondant à la décharge est la suivante :

$$u = U.e^{-t/T}$$

Comme précédemment, on calculerait que le demi-potentiel est atteint après une durée de 0,7 T.

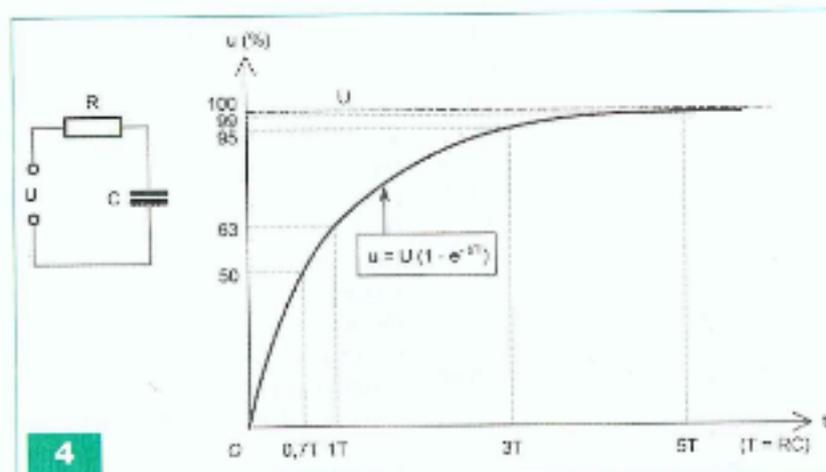
## Charge - décharge à intensité constante

En chargeant un condensateur avec un courant constant «  $i_c$  » (figure 6), la quantité d'électricité emmagasinée, c'est-à-dire la charge à un instant donné « t », peut se définir de deux manières :

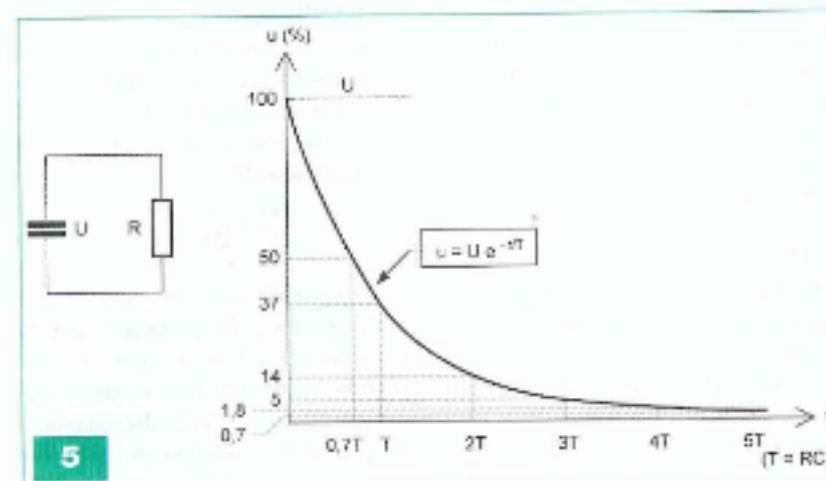
- le produit  $i_c \times t$  qui est la définition de la quantité de courant en coulomb
- le produit  $C \times u$  qui est la définition de la charge d'un condensateur (« u » étant le potentiel atteint au bout du temps « t »)

On obtient alors l'égalité  $u.C = i_c.t$

4



5



D'où :

$$u = \frac{i_c}{C} t$$

Conclusion : en chargeant un condensateur à intensité constante, la progression du potentiel est linéaire.

C'est ce principe que l'on applique lors de la construction d'un générateur de rampe.

Si le courant constant de charge est de «  $i_c$  » et le potentiel de fin de rampe de «  $U$  », la durée de la charge s'exprime par la relation :  $T = C.U/i_c$

Par exemple, si on charge une capacité de 1 000  $\mu\text{F}$  à 50 V avec un courant constant de 10 mA, la durée nécessaire sera de :

$$T = 1000 \times 10^{-6} \times 50 / 10 \times 10^{-3}$$

soit 5 secondes

La décharge d'un condensateur à intensité constante se traduit également par une décroissance linéaire du potentiel par rapport au temps. On démontrerait de la même façon que précédemment que :

$$u = U - \frac{i_d}{C} t$$

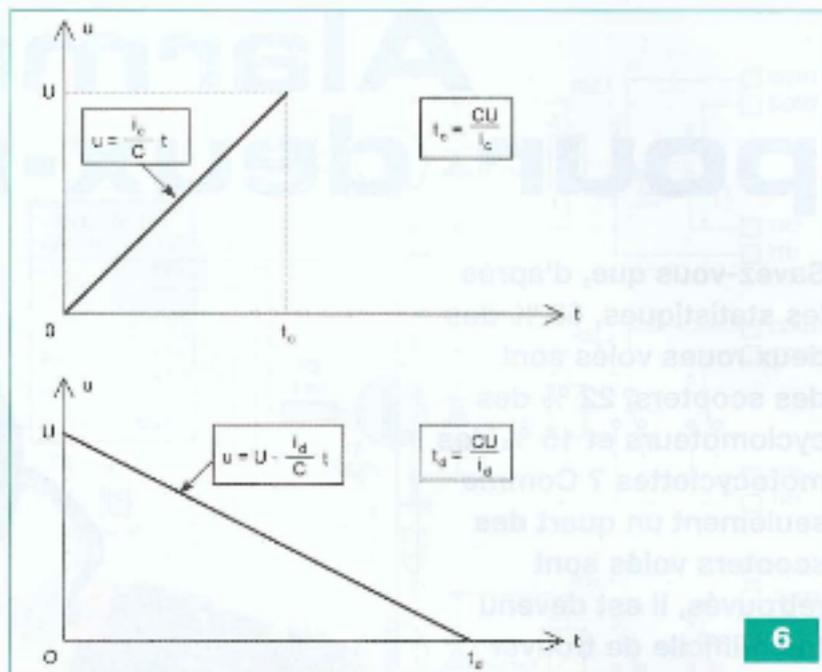
Avec :

$U$  : Potentiel du condensateur au départ de la décharge

$i_d$  : Intensité constante du courant de décharge

De même, on peut calculer la durée de cette décharge en appliquant la relation :

$$T = C.U/i_d$$



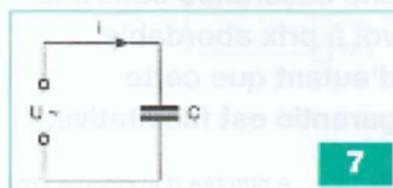
6

### Comportement sous un courant sinusoïdal

Lorsque l'on insère un condensateur de capacité «  $C$  » dans un circuit alimenté par un potentiel alternatif sinusoïdal de valeur «  $U$  » et de fréquence «  $f$  », il présente une certaine opposition au passage du courant, à l'instar d'une résistance ohmique (figure 7). On appelle cette résistance par le terme de « réactance » de capacité. Elle s'exprime en ohms.

$$Z = \frac{1}{2\pi f C}$$

La valeur du courant alternatif «  $i$  » se calcule alors par la relation  $i = U/Z$



7

soit :

$$i = 2\pi f C U$$

On voit que le courant augmente linéairement avec la fréquence. Un condensateur « laisse passer » le courant alternatif tout en bloquant le courant continu. Cette propriété est utilisée dans les couplages entre les étages amplificateurs constitués, par exemple, de transistors.

R. KNOERR

## A NOS LECTEURS

L'un de nos récents montages vous a séduit  
au point de l'avoir réalisé en y apportant une touche personnelle ?

Faites-nous parvenir des photos de votre réalisation  
en format jpeg, haute résolution.  
Nous en publierons quelques-unes régulièrement

Transocéanic - 3 boulevard Ney 75018 Paris  
contact@electroniquepratique.com

# Alarme pour deux-roues

Savez-vous que, d'après les statistiques, 63 % des deux roues volés sont des scooters, 22 % des cyclomoteurs et 15 % des motocyclettes ? Comme seulement un quart des scooters volés sont retrouvés, il est devenu très difficile de trouver une assurance contre le vol à prix abordable, d'autant que cette garantie est facultative.

Le nombre d'accidents provoqués par les 50 cm<sup>3</sup>, mais aussi le prix élevé des pièces détachées, ne sont pas là pour arranger les choses. Certains préfèrent déclarer « volée » une machine endommagée, plutôt que de la réparer, quitte à la revendre ensuite en pièces détachées. Les conducteurs honnêtes payent donc, d'une certaine façon, le prix fort à cause de tels comportements.

Le montage que nous vous proposons n'est pas la panacée, mais il a de bonnes chances de décourager la plupart des voleurs.

Les possibilités de ce montage, basé sur un détecteur de chocs et un bon vieux PIC16F84, sont tout à fait comparables à celles offertes par une alarme du commerce.

## Caractéristiques

- Déclenchement par détection de chocs ou de mise sous tension (contact).
- Télécommande « haute sécurité » à codes tournants (Keeloq).
- Alerte par sirène (plusieurs sonorités), clignotants et coupure du contact.
- Voyant de contrôle par led clignotante.



- Mémoire de déclenchement d'alarme (trois boeeps au lieu de deux).
- Arrêt possible de l'alarme par le contacteur à clé (en cas de perte de la télécommande).
- Fonction blocage anti « hijacking ».
- Fonction localisation parking.
- Mode « réglage » pour modifier certains paramètres par télécommande.
- Possibilité de démarrage à distance (possible mais avec modération).
- Faible consommation en veille (environ 10 mA).

## Fonctionnement

### Le microcontrôleur

En l'absence d'habitacle, il n'y a pas besoin de système de détection très compliqué. Notre alarme se contente d'un détecteur de chocs miniature, ainsi que de la détection de la mise sous tension imprévue du circuit électrique du deux-roues. Même sans mercure et sans pièce mobile visible, le capteur de chocs est particulièrement sensible à la moindre secousse. Il délivre des niveaux logiques d'as-

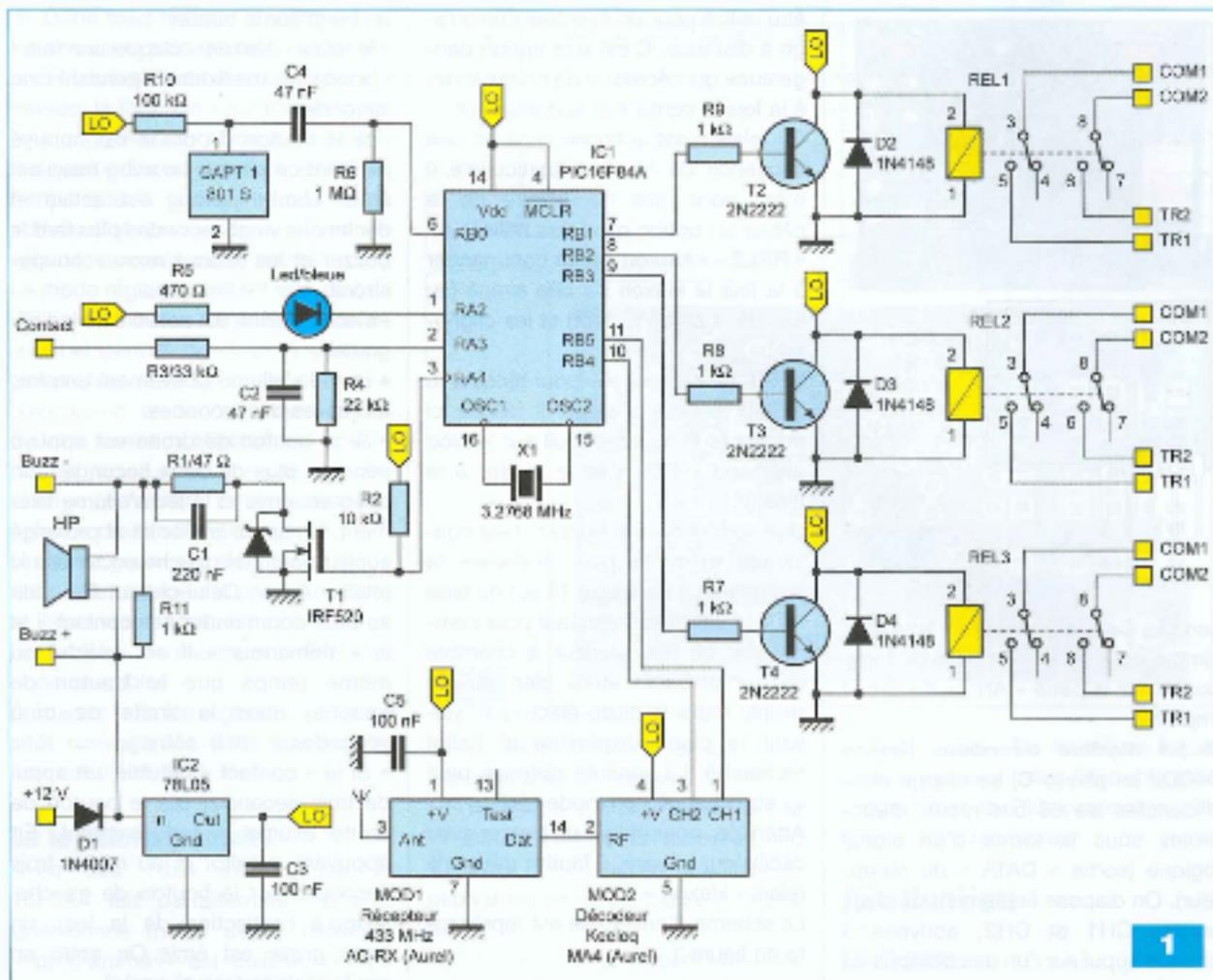
pect « aléatoire » qu'il faudra pouvoir filtrer pour éviter les déclenchements intempestifs.

Ce sera l'une des tâches dévolues à notre PIC16F84 (figure 1).

Pour être monté dans un scooter (ou une moto), ce montage se devait d'être aussi compact que possible, tout en offrant de nombreuses possibilités d'utilisations et de raccordements aux organes électriques (clignotants, contact, etc.). Un petit microcontrôleur est donc parfait pour tout orchestrer. Il dispose de bien assez d'entrées/sorties et sa mémoire non volatile (EEPROM) peut même servir à sauvegarder l'état de l'alarme en cas de coupure de l'alimentation. Son système d'interruptions sera utilisé de trois façons différentes.

### La télécommande

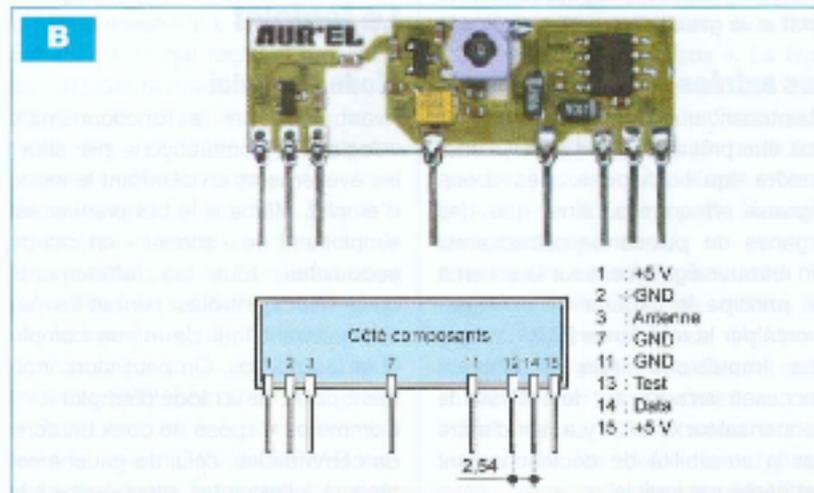
Difficile de proposer un système d'alarme sans son boîtier de télécommande. Dans ce domaine, les modules hybrides (Aurel) constituent une solution plus que pratique, compacte et peu onéreuse.



1

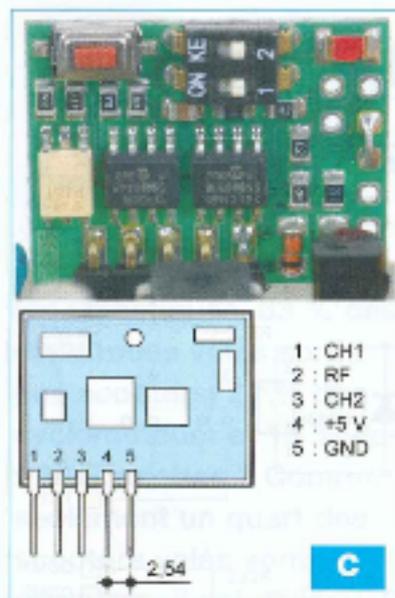


◆ **L'émetteur** est du type porte-clés. C'est un HCS-TX2 (photo A) de chez Aurel. Avec une à trois voies disponibles, il nous faudra ici au moins deux boutons pour exploiter toutes les possibilités du montage. Il émet sur la bande des 434 MHz, un code binaire à chaque fois différent et issu de l'algorithme à haute sécurité Keeloq (de Microchip). Chaque boîtier est en fait doté d'un numéro de série unique de 28 bits, d'une clé de



cryptage et d'un compteur incrémenté à chaque utilisation. Le tout est combiné d'une façon « top secret » pour donner un code de 32 bits. Lequel est retransmis au récepteur avec le numéro de série et le numéro des boutons appuyés. Avec sa pile au lithium fournie, ce petit émetteur pourra fonctionner sans problème pendant plusieurs années.

◆ **Le récepteur** (MOD1 en photo B) est aussi un module hybride Aurel à faible consommation (2,5 mA). Il est sensible sur une plage de fréquences centrée sur 433,92 MHz +/- 2 MHz, parfaitement compatible avec l'émetteur. Un réglage d'accord est prévu, mais il est normalement inutile de le modifier. Mieux vaut jouer sur l'antenne pour augmenter la portée de l'en-



semble. Celle-ci pourra être faite d'un simple bout de fil de 17 cm de long, soudé sur la patte « ANT » du circuit imprimé.

◆ **Le module décodeur Keeloq (MOD2 en photo C)** se charge alors d'identifier les 66 bits reçus, disponibles sous la forme d'un signal logique (sortie « DATA » du récepteur). On dispose finalement de deux sorties CH1 et CH2, activées à chaque appui sur l'un des boutons de la télécommande (respectivement le droit et le gauche).

## Les entrées-sorties

Maintenant que le PIC sait quand il doit être prêt à donner l'alerte, il faut encore qu'il dispose des bons signaux en entrées, ainsi que des organes de puissance nécessaires. On retrouve également sur le schéma de principe le capteur de choc alimenté par la résistance R10.

Les impulsions liées à chaque secousse arrivent sur le PIC via le condensateur C4. Il n'y a rien d'autre car la sensibilité de déclenchement est gérée par logiciel.

La tension de « contact » (prélevée après la clé de contact) arrive sur un filtre passe-bas formé par R3/R4/C2, servant « d'anti-rebond » pour indiquer au PIC si le contact est mis.

## Les relais

En ce qui concerne les sorties de « puissance », trois relais sont prévus :

- **REL1** – « Aux » (en option) pourra

être utilisé pour un éventuel démarrage à distance. C'est une option dangereuse qui nécessite de commander à la fois le contact et le démarreur.

Ce relais n'est actionné qu'avec une séquence de touches particulière. Il n'est donc pas nécessaire de le câbler si l'option n'est pas utilisée.

- **REL2** – « klaxon » pour commander à la fois le klaxon ou une sirène (au lieu de la sortie buzzer) et les clignotants.

- **REL3** – « Contact » pour bloquer le moteur en cas d'alerte. Il faudra ici trouver le fil coupe-circuit sur le bloc allumage « CDI » et le mettre à la masse.

Une sortie sirène (« buzzer ») est également présente pour sonoriser le montage. Le transistor T1 est du type MOS. Il est assez résistant pour commander un haut-parleur à chambre de compression aussi bien qu'une simple capsule piézo-électrique, suivant la place disponible et l'effet recherché. La sonorité obtenue peut ici être changée en mode réglage.

Attention, pour utiliser un buzzer avec oscillateur intégré, il faudra utiliser le relais « klaxon ».

Le schéma d'ensemble est représenté en figure 1.

## Le logiciel

### Mode d'emploi

Avant d'aborder le fonctionnement « logiciel », commençons par situer les événements en détaillant le mode d'emploi. Même si le but premier est simplement de « sonner » en cas de secousses, tous les raffinements qu'un microcontrôleur permet de réaliser peuvent tout de même compliquer les choses. On peut alors vraiment parler de « mode d'emploi ».

Comme on dispose de deux boutons de commandes, celui de gauche est réservé à l'essentiel, c'est-à-dire à la mise en marche et à l'arrêt de l'alarme. Le bouton droit concerne surtout les fonctions annexes (parking, etc.). L'essentiel peut donc être également effectué avec une télécommande « mono-canal ».

Voici un résumé de tous les cas de figures :

- ◆ **Quand l'alarme est inactive (off)**

- 1 top du bouton de gauche →

un beep sur le buzzer

- le relais « klaxon » claque une fois
- la led s'allume fixement pendant cinq secondes

- si le bouton de droite est appuyé pendant ce temps, un autre beep est émis. L'anti-hijacking est activé et déclenche vingt secondes plus tard le buzzer et les relais klaxon + coupe-circuit
- sinon l'alarme est active et la led clignote.

- La led s'allume brièvement une fois toutes les dix secondes.

- Si le bouton de droite est appuyé pendant plus de deux secondes, un beep est émis et la led s'allume fixement. Un appui immédiat et prolongé sur le bouton de gauche enclenche le relais « Aux ». Celui-ci peut être utilisé pour commander le « contact » et le « démarreur ». Il est relâché en même temps que le bouton de gauche, dans la limite de cinq secondes.

- Si le « contact » est mis, un appui de trois secondes sur le bouton de droite allume la led fixement. En appuyant aussitôt et au moins trois secondes sur le bouton de gauche, (jusqu'à l'extinction de la led), un beep grave est émis. On entre en mode réglage (voir ci-après).

- ◆ **Quand l'alarme est active (on)**

- Secousses suffisantes → Le buzzer et les relais « klaxon » et « coupe-circuit » sont activés. Le son effectue dix cycles de sirène/silence.

- Le contact est mis →

- Si le contact est mis puis coupé cinq fois de suite en moins de dix secondes, l'alarme est coupée.

- Sinon c'est l'alerte idem !

- 1 top du bouton de gauche →

- deux beeps sont émis sur le « buzzer » et le « klaxon ».

- le relais « klaxon » claque deux fois.

- si l'alarme a sonné, un troisième beep est émis.

- la led ne clignote plus qu'une fois toutes les dix secondes, l'alarme est inactive.

- Si la sirène est déclenchée et le véhicule bloqué, le bouton de gauche permet de tout débloquent. En cas de défaut d'alimentation, la sirène s'arrête mais recommence à fonctionner aussitôt le courant rétabli, l'état de l'alarme étant sauvegardé.

## ◆ Dans tous les cas (on/off)

En appuyant plus de deux secondes sur le bouton de droite de la télécommande, la fonction « localisation parking » génère cinq beeps. Le relais « klaxon » claque cinq fois, en même temps que la sortie « buzzer » est activée. Cela permet de retrouver son véhicule sur un parking bondé.

Le mode réglage (contact mis, alarme OFF, puis bouton de droite, puis de gauche) permet de modifier certains paramètres. Chacun d'eux peut être sélectionné en fonction du nombre de tops lumineux effectués en boucle par la led. Le bouton de gauche change le nombre de un à neuf et celui de droite valide le choix.

Un beep grave est alors émis par le buzzer, le réglage est pris en compte et l'alarme retourne en mode veille.

Le **tableau A** résume les différents choix possibles.

À chaque fois, les réglages sont aussitôt sauvegardés dans la mémoire non volatile du PIC.

## Le logiciel en détails

Avec ses 1024 instructions, le 16F84A fait parfaitement l'affaire. Une bonne moitié de sa mémoire « programme » est utilisée, ce qui laisse encore un peu de marge.

Son boîtier de dix-huit pattes occupe un minimum de place et très peu d'entrées/sorties restent inutilisées.

Le logiciel devant impérativement réagir à des signaux totalement asynchrones et imprévisibles (choc, télécommande, etc.), les interruptions sont utilisées en priorité.

L'interruption de la patte RBC/INT est déclenchée en cas de choc.

L'interruption RBIF de changement de niveau sur les pattes RB4 à RB7 sert à ne pas manquer un signal de la télécommande. Enfin, l'interruption du TOIF du timer est utilisée pour le clignotement de la led.

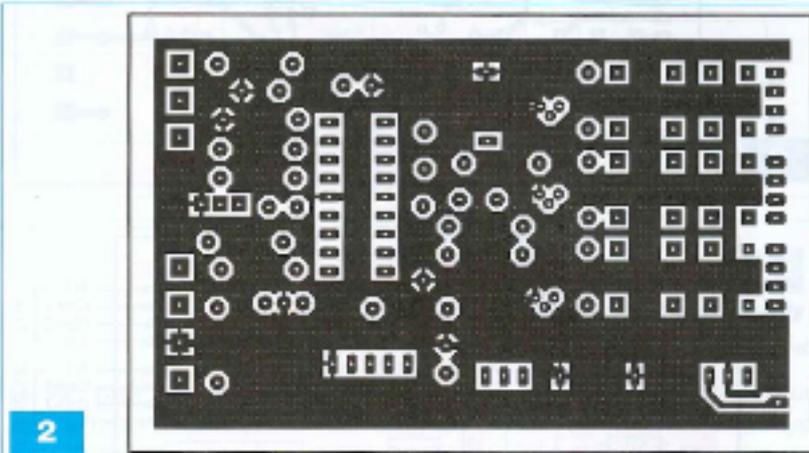
Le lien avec le programme principal est fait avec la variable « ORDRE ». Sa valeur est testée en continu par le programme principal qui peut ensuite déclencher les actions nécessaires, après telle ou telle interruption.

Dès qu'une action est terminée, « ORDRE » est remis à zéro par le programme principal.

Le registre « FLAGS » contient plu-

| Nombre de tops sur la led | Lifets  |
|---------------------------|---|
| 1                         | Quitte le mode réglage                          |
| 2                         | Sensibilité à 0 secondes (extrêmement sensible) |
| 3                         | Sensibilité à 1                                 |
| 4                         | Sensibilité à 2                                 |
| 5                         | Sensibilité à 3 (mouvement prolongé)            |
| 6                         | Son d'alerte n° 1                               |
| 7                         | Son d'alerte n° 2                               |
| 8                         | " " n° 3  |
| 9                         | " " n° 4  |

Tableau A



sieurs sémaphores (bits) qui résument l'état du montage.

- F\_ALARM = 1 si l'alarme est active
- F\_DECLEN = 1 quand l'alarme a sonné
- F\_PASLED = 1 signifie que l'interruption du timer ne fait plus clignoter la led

• F\_SON 2, 3 et 4 permettent de changer le type de sirène.

Un autre registre intéressant est SENSIB. C'est lui qui règle la sensibilité du déclenchement. Par défaut à deux, il correspond au temps en secondes pendant lequel des secousses doivent arriver.

Vous trouverez le code « source » commenté (« Alarm.asm »), ainsi que le programme exécutable (« Alarme.hex ») sur le site Internet de la revue.

Le fichier exécutable contient la configuration et le contenu de la mémoire EEPROM du PIC. Le projet (« Scootalarm.mcw ») a été assemblé avec la version 7.20 de MPLAB toujours disponible sur Internet et dont l'assembleur n'a guère changé depuis.

Le fait de détailler un tel montage devrait permettre aux amateurs intéressés d'adapter l'application à leurs propres besoins, si ce n'est pas déjà le cas. Aussi, n'hésitez pas à contacter l'auteur si vous éprouvez des difficultés à modifier le code source.

Le langage « machine » ne plait pas à

tout le monde. De la même façon, ceux qui auraient des difficultés pour programmer le PIC peuvent également contacter l'auteur.

## Réalisation

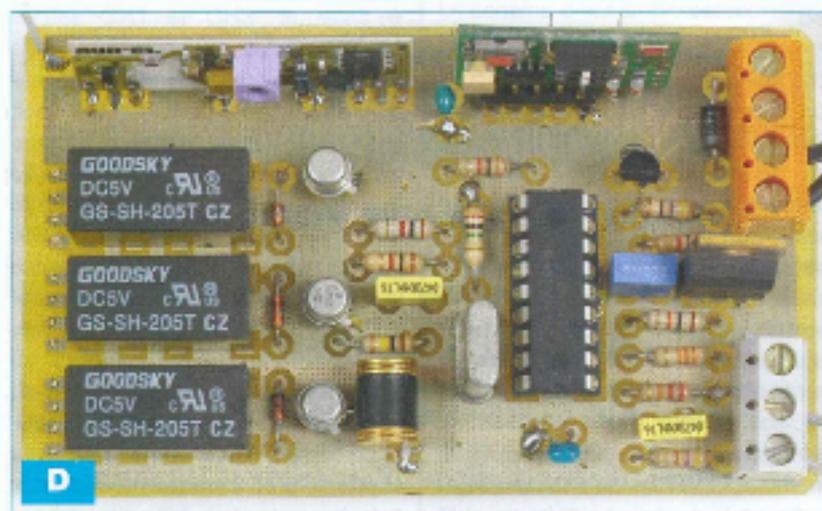
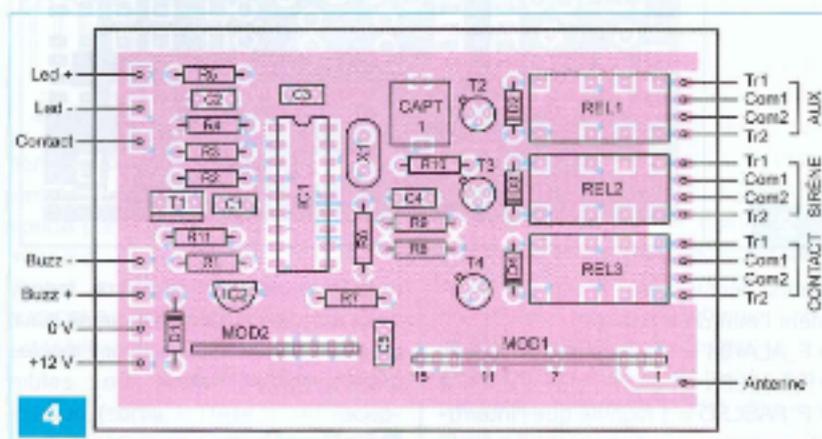
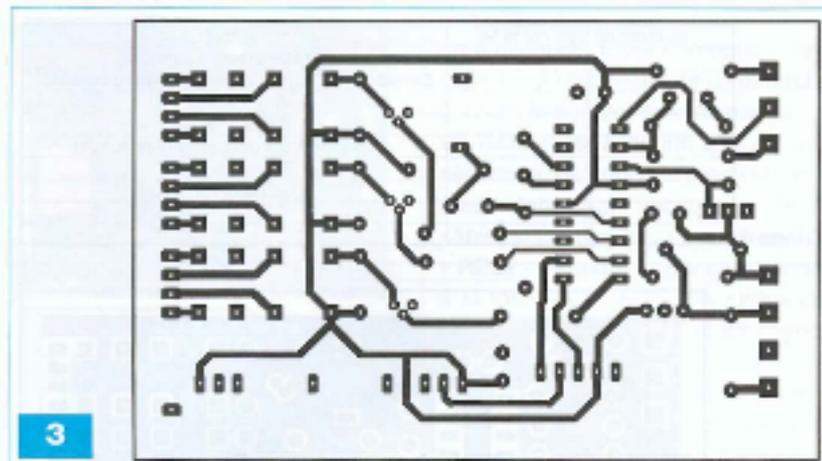
### Le typon

La principale difficulté de la réalisation est, sans nul doute, le circuit imprimé en « double face ». La face composants constitue un plan de masse, conseillé avec l'utilisation du module « Aurel », récepteur haute fréquence. Tous les composants reliés à la masse ont donc une patte à souder sur la face supérieure.

**Il ne faudra en oublier aucune !**

Pour imprimer le typon, utiliser du papier transparent rigide (A4 pour imprimantes) plutôt que du calque, le contraste n'en sera que meilleur.

Il faut ensuite faire attention à bien superposer les deux demi-typons (face cuivre et composants). Pour cela, commencer par les coller sur le côté d'une cale (chute de circuit imprimé). Le circuit prédécoupé peut être glissé à l'intérieur pour insoler une face après l'autre avec un alignement correct. Une autre méthode consiste à utiliser des repères sur les coins du circuit. Il faut alors que la découpe soit aux bonnes dimensions.



Les tracés des faces, côté cuivre et composants, sont donnés aux figures 2 et 3.

### Mise en place des composants

L'insertion des composants est représentée en figure 4 et photo D. Pas de problème particulier à signaler pour ce montage, si ce n'est, encore une fois, de veiller à ne pas oublier

les soudures sur la face supérieure. On commence par le support de circuit intégré pour le PIC, les résistances, les diodes, etc.

On termine par les modules Aurel qui sont insérés verticalement.

Attention ! Le relais REL1 (AUX) n'est indispensable que si vous comptez utiliser l'option « démarrage à distance », sinon il est inutile de le monter. De même, les composants T1, R1,

## Nomenclature

### Résistances

- R1 : 47  $\Omega$  (régler suivant volume souhaité et type de haut-parleur utilisé)
- R2 : 10 k $\Omega$
- R3 : 33 k $\Omega$
- R4 : 22 k $\Omega$
- R5 : 470  $\Omega$  (la luminosité de la led en dépend)
- R6 : 1 M $\Omega$
- R7, R8, R9 : 1 k $\Omega$
- R10 : 100 k $\Omega$
- R11 : 1 k $\Omega$  (uniquement si buzzer piézo)

### Condensateurs

- C1 : 220 nF
- C2 : 47 nF
- C3 : 100 nF
- C4 : 47 nF
- C5 : 100 nF

### Semi-conducteurs

- T1 : IRF 520
- T2, T3, T4 : 2N2222
- D1 : 1N4007
- D2, D3, D4 : 1N4148

### Circuits intégrés

- IC1 : PIC16F84A
- IC2 : 78L05

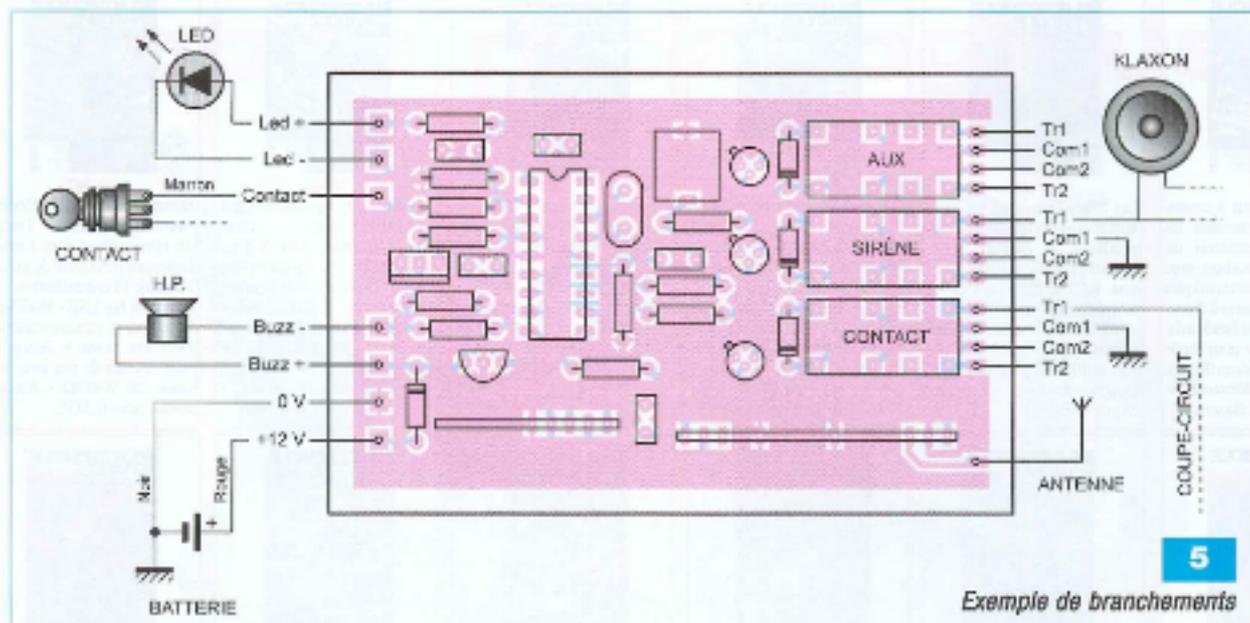
### Divers

- MOD1 : Module récepteur 433 MHz type AC-RX (Aurel)
- MOD2 : Module décodeur KeeLoq à deux voies type MA4 (Aurel)
- REL1, REL2, REL3 : Relais DIL 2RT 5 V non polarisé (20 x 10 x 10 mm) (REL1 uniquement pour démarrage à distance)
- CAPT1 : Capteur de choc type 601S
- X1 : Quartz 3,2768 MHz
- BUZZ1 : Haut-parleur (sirène) ou buzzer piézo (sans oscillateur par défaut)
- 1 Module émetteur télécommande 433 MHz type HCS-TX-2 ou 3 (Aurel)
- 1 led bleue (chacun ses goûts) avec support à visser pour le voyant clignotant

R2, R11 et C1 ne sont utiles que si vous utilisez un haut-parleur (ou buzzer passif) et non un klaxon commandé par le relais REL2.

La résistance R11 ne sert qu'à abaisser l'impédance d'un éventuel buzzer piézo-électrique, elle n'est donc pas nécessaire avec un haut-parleur.

Bien qu'il en existe de nombreux modèles, les relais prévus sur l'implantation sont très courants et donc faciles à trouver. Ils disposent de deux circuits de puissance (contacts « travail ») dont les connexions sont reportées en bout de circuit imprimé.



5

Exemple de branchements

## Premiers essais et apprentissage

Après avoir vérifié le module câblé, commencer par l'alimenter en 12 V sans insérer le PIC et vérifier la présence du +5 V (pattes 4 et 14 sur le support du PIC, par exemple).

Si tout va bien, le module récepteur doit déjà fonctionner, mais le décodeur Keeloq MA-4 (module MOD2) doit encore mémoriser le numéro de série de l'émetteur.

**Vérifier tout d'abord** que les deux mini-interrupteurs du module sont bien sur « OFF » (ergots en direction de la led, à l'opposé du bouton).

Alimenter alors le montage et appuyer longuement (environ 10 secondes) sur le bouton poussoir rouge du module MA-4, jusqu'à ce que la led s'allume, puis s'éteigne. Relâcher tout, puis redonner un top sur le poussoir du module. La led rouge s'allume signalant que le module est bien en mode apprentissage. Appuyer alors sur le bouton droit de la télécommande. La led rouge doit s'éteindre au bout de quelques secondes, lorsque le module a fini d'enregistrer le code.

Les deux boutons de la télécommande doivent maintenant être reconnus et l'opération peut même être renouvelée avec d'autres émetteurs (jusqu'à 200). En cas de problème, couper l'alimentation et recommencer tout à zéro en tenant l'émetteur assez proche.

Le PIC peut maintenant être inséré pour achever la réalisation. L'alarme est, par défaut, inactive. La led doit émettre un petit flash très bref toutes les dix secondes. Il n'y a plus qu'à relire le mode d'emploi.

## Installation sur le deux roues

C'est maintenant que les choses peuvent réellement se compliquer. Tout d'abord, il convient de se procurer le schéma électrique de sa machine pour être sûr de bien identifier et localiser les câbles utiles et leurs couleurs respectives. Se servir autant que possible d'un ohmmètre pour vérifier que tel ou tel fil est bien celui recherché.

Bien réfléchir à l'endroit où sera implantée l'alarme par rapport au passage des faisceaux de câbles. Cela peut avoir des conséquences sur la quantité de fils à ajouter.

Les branchements à effectuer peuvent varier d'un modèle à l'autre. Pour l'arrêt du moteur (relais « contact »), par exemple, il faut mettre à la masse la broche coupe-circuit sur le « bloc CDI ».

Celle-ci est parfois incorporée à la clé de contact ou déportée sur un contacteur séparé. Vérifier qu'il n'y a pas de risque de court-circuit. La plupart des appareils sont actionnés par mise à la masse d'un fil, l'autre étant déjà au +12 V par la clé de contact. Le schéma de la figure 5 peut vous éclairer.

À titre d'exemple, voici les couleurs

correspondant à quelques conducteurs utiles sur un scooter du type « booster » :

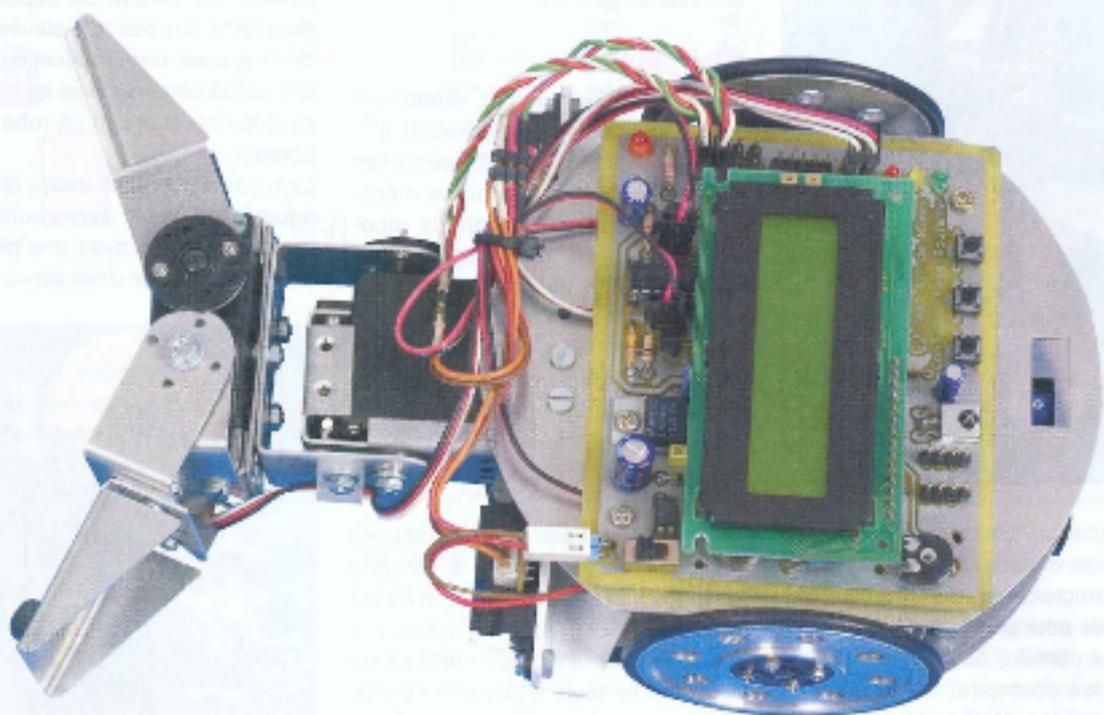
- Rouge (contacteur à clé) : 12 V permanent batterie
  - Noir : masse
  - Marron (contacteur à clé) : contact à clé
  - Noir & Blanc (sur bloc CDI) : coupe-circuit.
  - Noir & Rouge (sur relais des clignotants) : mis à la masse, il active le relais des clignotants.
  - Bleu & Blanc (sur relais du démarreur) : mis à la masse, il active le relais du démarreur.
  - Rose (sur l'avertisseur sonore) : mise à la masse, par un relais, pour faire klaxon (quand le contact est mis !).
- À vous de jouer, sachant que chacun des relais disponibles vous propose deux contacts séparés – « travail » pour le « klaxon » et « Aux (démarreur) » – « repos » pour couper le contact.

G. SAMBLANCAT  
g.samblancat@free.fr

## Liens internet

- <http://www.selelectronic.fr> pour trouver les composants et modules nécessaires
- <http://www.scoot-boost.com>, vous y trouverez des schémas électriques.
- <http://www.id2.cz/jdm2.htm>, schémas de programmeurs JDM pour le PIC
- <http://www.microchip.com>, le site officiel du fabricant

# Robot pédagogique



**Voici une réalisation qui devrait intéresser un bon nombre de lecteurs débutants. Ce robot utilise une mécanique disponible en kit et une carte qui regroupe l'ensemble des éléments électroniques nécessaires pour piloter cette base mécanique.**

**L**a problématique, quand on fait ses premiers pas en robotique, c'est d'abord de devoir réaliser une mécanique ludique et suffisamment fiable. Mais c'est aussi la nécessité de disposer d'une carte électronique pour piloter cette mécanique, avec des possibilités d'extensions, pince, capteurs, caméra, etc.

La plupart des débutants veulent passer à la programmation sans avoir à se soucier des problèmes de conception. C'est dans ce but qu'a été conçu ce robot.

Cette réalisation doit vous permettre d'apprendre à programmer progressivement un robot classique, sans nuire aux performances à venir.

## Étude du besoin

Force est de constater le fossé existant entre les électroniciens, les mécaniciens et les programmeurs en robotique. De nombreux jeunes (et moins jeunes) désirent se lancer dans la robotique, mais ne dominent pas les trois disciplines.

La partie la plus agréable, pour beaucoup de personnes, réside dans la programmation d'un robot que l'on voit évoluer en performance et intelligence. Il est, en effet, très gratifiant de tester des bouts de programmes, de les améliorer et de constater l'évolution de sa créature.

La notion de « passe-temps » porte bien ici son nom.

L'électronique, même si elle est fortement minimisée, reste une partie délicate pour de nombreux amateurs.

Assembler sur une petite surface d'époxy les différents composants électroniques nécessite plusieurs

compétences. Il faut les connaître, faire son choix parmi ceux qui sont les plus disponibles, connaître les structures classiques de « commande » des divers actionneurs, moteurs, servomoteurs, puis savoir dessiner un circuit imprimé pour l'ensemble des composants sélectionnés.

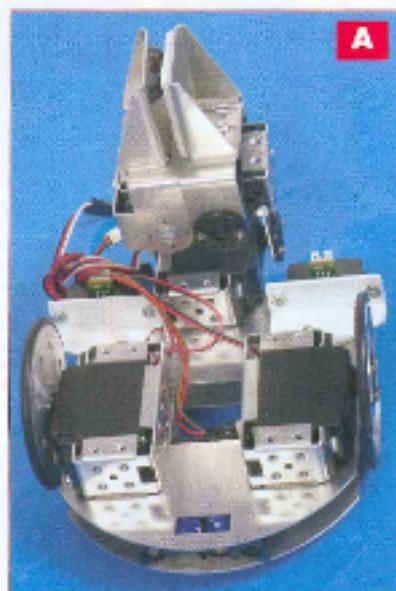
Parfois, il convient aussi de faire quelques compromis.

Pour finir, il faut souder correctement les composants, une mauvaise soudure étant un véritable « casse-tête » à dépanner.

Il en est de même de la mécanique, pour laquelle il faut trouver un concept simple, mais néanmoins efficace. Même si le châssis de base en robotique est la plate-forme ronde à deux moteurs de type « différentiel », elle n'est pas simple à réaliser. Si, de plus, on souhaite y ajouter plus tard un outil comme un capteur, une pince ou une caméra, il peut être nécessaire de repenser l'ensemble.

## Caractéristiques

Cette réalisation doit permettre d'apprendre à programmer progressive-



**A**

sorties complètent le tableau. Pour piloter ce robot, on dispose d'un récepteur IR de type TV et d'une liaison RS232 pour PC.

## Châssis

Le châssis est un kit disponible auprès de la société Easy Robotics<sup>(1)</sup>. Cette jeune société s'est spécialisée dans la conception de bases mécaniques en aluminium pour la robotique ludique et pédagogique. Son idée initiale fût de développer et de proposer une cage pour servomoteur. Autour de cette cage, plusieurs modèles de robots peuvent être réalisés. Le modèle que nous avons choisi est disponible nu ou associé à une pince ou à un support de caméra (photo A).

Il s'agit d'une base roulante équipée de deux servomoteurs à rotation continue sans électronique. Le kit est proposé avec des servomoteurs modifiés pour la rotation continue ou avec des moteurs en boîtiers servos. Il s'agit, à la base, de servomoteurs standards qui sont modifiés pour permettre la rotation complète en fonction de la commande et dans lesquels on a supprimé toute l'électronique pour les transformer en moto-réducteurs. Les roues usinées utili-

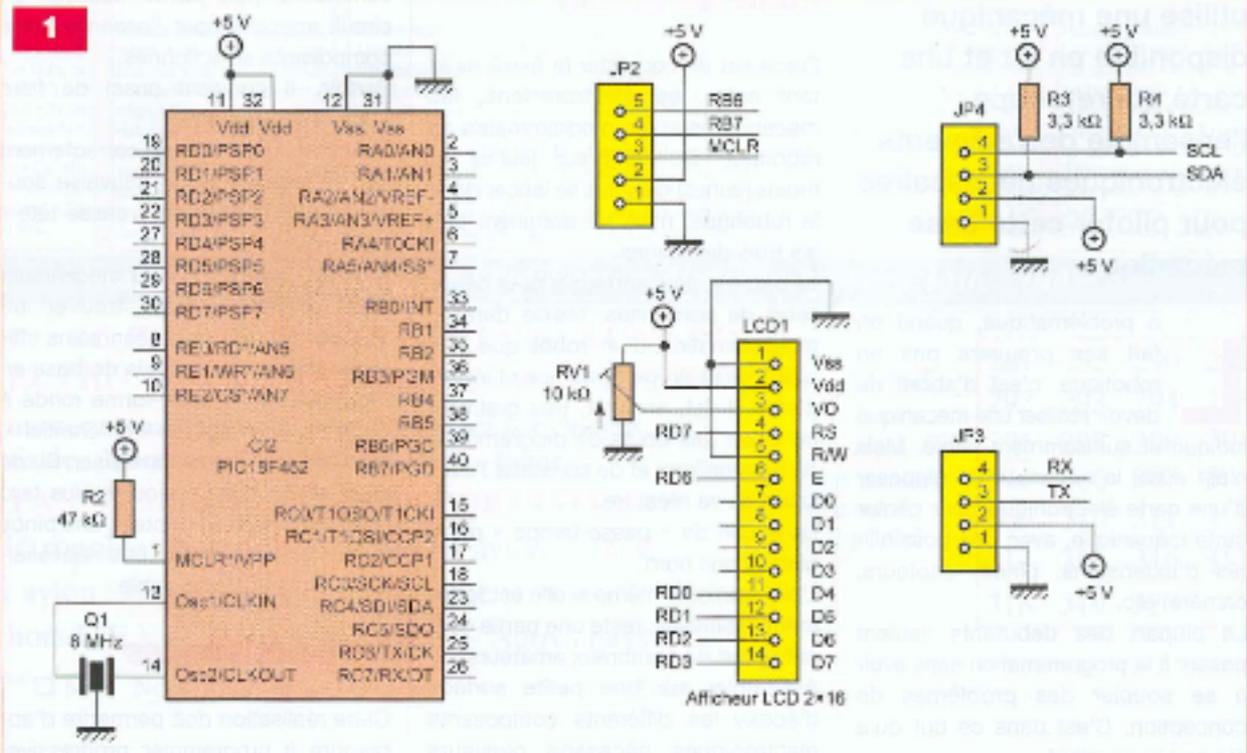
sent un joint torique comme pneu. Elles se fixent directement sur l'arbre de sortie des servomoteurs de propulsion. La vitesse de déplacement du robot n'est pas très élevée du fait de la grande démultiplication propre aux servomoteurs, mais ce n'est pas ce que l'on attend d'un robot pédagogique.

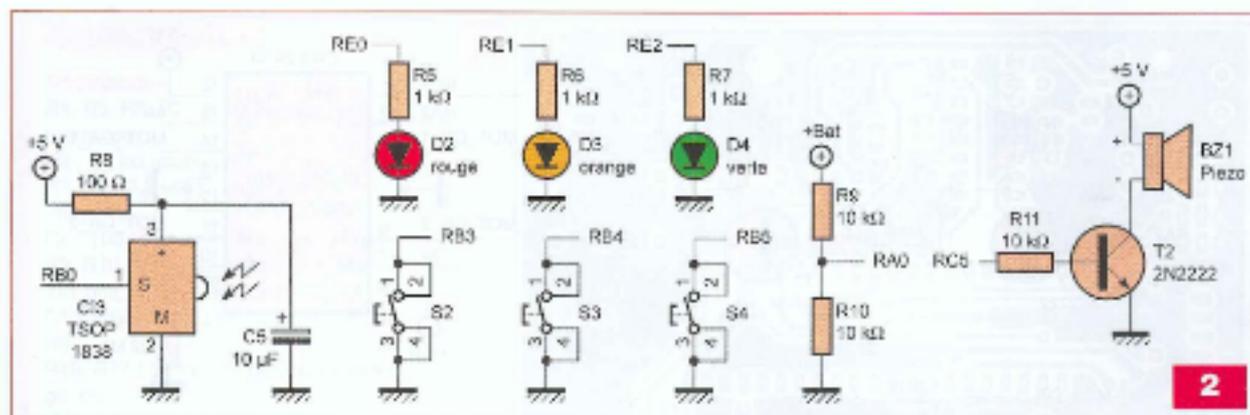
Le modèle que nous avons choisi est équipé de deux servomoteurs en moto-réducteurs avec une pince. La pince est mue par deux servomoteurs



**B**

**1**





standards qui permettent d'ouvrir, de fermer, de lever et de baisser la pince. Celle-ci nous permettra de saisir des petits objets, comme des petites balles ou encore des canettes de soda (photo B). Ces actionneurs fonctionnent sous une alimentation de 6 V.

### La carte électronique

Malgré l'ensemble de ses possibilités, cette carte électronique est plutôt réduite (100 mm x 80 mm). La faute et c'est tant mieux en revient au microcontrôleur qui gère la plupart des ressources.

### La partie microcontrôleur

On y retrouve, en plus d'un PIC quarante broches, un résonateur 8 MHz, un afficheur 2 x 16 caractères, un connecteur de programmation JP2 et deux connecteurs : JP3 pour une liaison RS232 avec un PC et JP4 pour une liaison PC pour les extensions (figure 1).

Le microcontrôleur sélectionné, un PIC18F452, est un modèle très performant qui permettra sans problème d'accepter des programmes complexes. Il serait trop long d'énumérer ici ses performances, mais sachez malgré tout qu'il est possible d'augmenter la vitesse de calcul de manière

interne, qu'il accepte un programme de 32 Ko et qu'il possède quatre timers. La plupart des autres caractéristiques sont communes aux circuits de la famille 16F comme pour le PIC16F877 que l'on peut, d'ailleurs, utiliser à la place du 18F.

Pratiquement, les quarante broches du circuit sont utilisées, sauf deux. L'afficheur est un outil indispensable de mise au point des programmes et apporte un confort de lecture de l'état du robot.

On s'en servira pour visualiser les différents modes pour les tests, les entrées analogiques, les déplacements et les états internes, l'état de la batterie, etc.

La liaison RS232 entre le robot et un PC reste un moyen simple de dialoguer par une liaison filaire ou HF, à l'aide de modules de type XBee par exemple.

C'est un outil de développement très utilisé qui permet de visualiser des résultats de mesures et de modifier des paramètres internes.

Quant à la liaison PC, elle est un autre moyen simple de réaliser des extensions vers des cartes spécialisées. On peut imaginer de concevoir ensuite une carte évoluée pour une caméra ou, plus simplement, pour d'autres capteurs, type capteurs de vitesse ou capteurs de ligne.

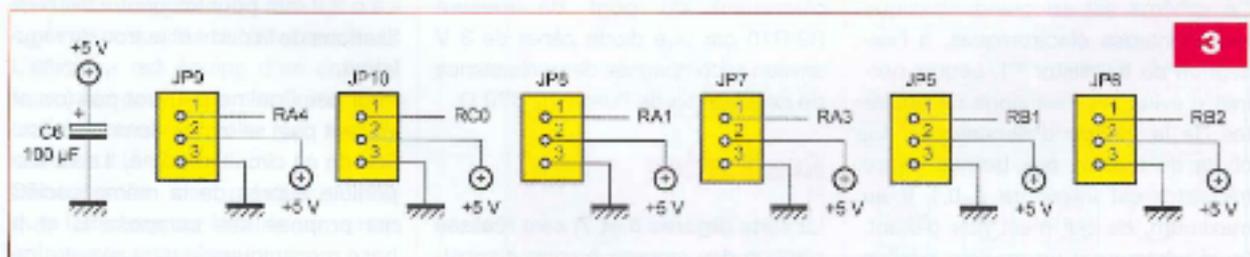
### L'interface de base

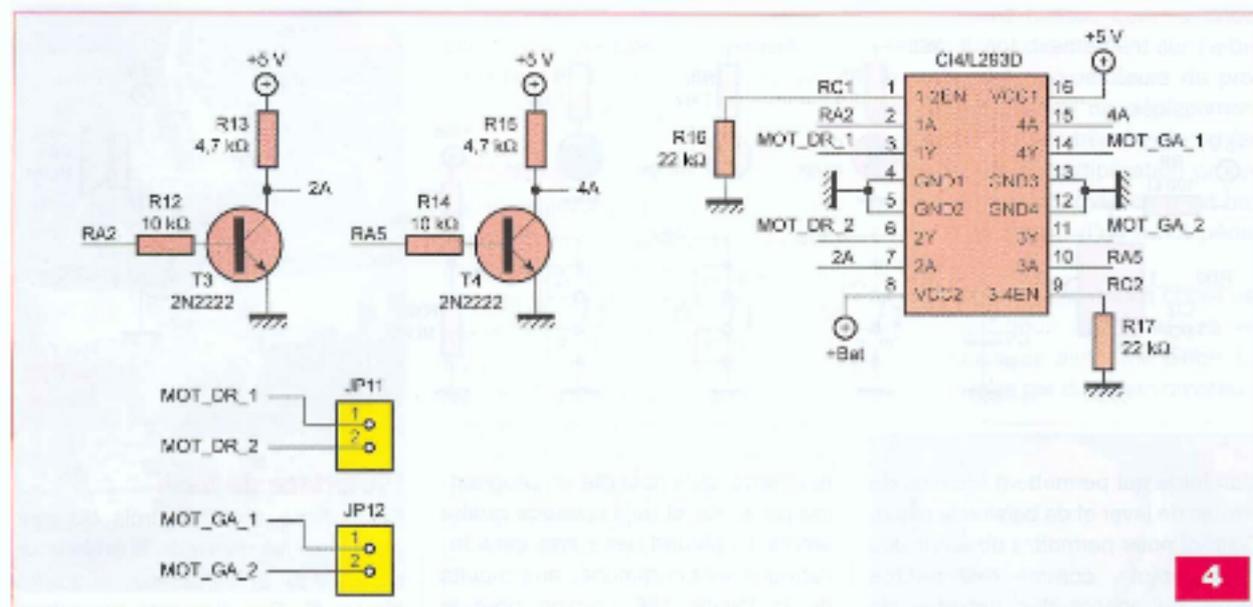
On nomme ainsi les trois boutons poussoirs, les trois leds, le bruiteur de type piézo et l'interface infrarouge (figure 2). Ces éléments permettent de piloter en direct le robot, sans nécessiter de dialoguer avec un PC. Le photo-module infrarouge permet de piloter le robot par une télécommande de type TV. C'est pratique pour modifier les paramètres du robot pendant qu'il se déplace, lorsque la liaison RS232 n'est plus utilisable.

Il nous reste à voir le pont diviseur de tension, réalisé avec des résistances de précision à 1 %. Il s'agit ici d'avoir un suivi de la tension des batteries. La tension d'alimentation est divisée par deux, après avoir chuté de 50 mV à travers le transistor d'entrée T1.

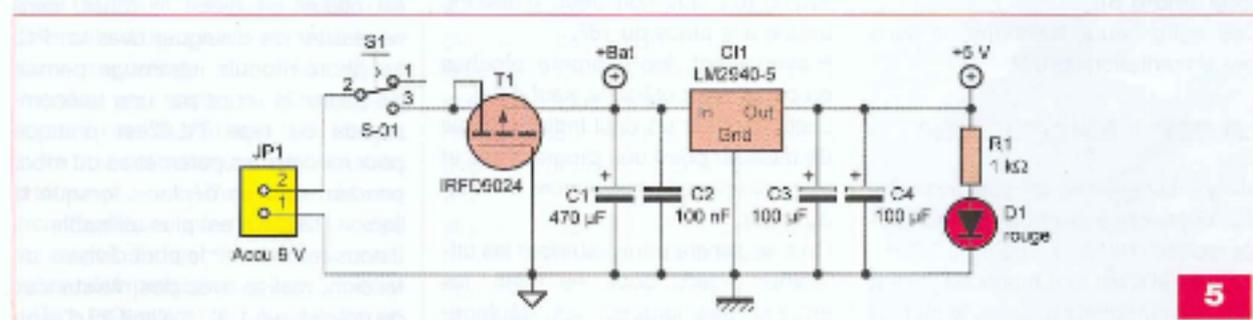
### Les connecteurs d'entrées/sorties

On dispose de deux sorties (connecteurs JP5 et JP6), pour piloter deux servomoteurs sur les lignes RB1 et RB2 du microcontrôleur, de deux entrées (connecteurs JP7 et JP8), pour lire des capteurs analogiques sur les lignes RA1 et RA3 et de deux entrées/sorties, au choix (connecteurs JP9 et JP10), sur les lignes RA4 et RC0 pour lire des entrées de type compteurs de vitesse ou pour piloter d'autres servomoteurs (figure 3).





4



5

## L'interface de commande des moteurs

Elle utilise un circuit spécialisé pour la commande des moteurs à courant continu, le L293D, ou mieux le SN754410NE. Les deux transistors T3 et T4 et leurs résistances associées permettent de réaliser deux inverseurs. Ils servent à simplifier la commande des moteurs en réalisant l'inversion de deux signaux pour le circuit L293D.

Avec ces deux inverseurs à transistors NPN, on réduit à deux le nombre de lignes pour piloter chaque moteur, sens et vitesse (figure 4).

## L'alimentation

Ce schéma est un grand classique des montages électroniques, à l'exception du transistor T1. Lequel permet d'éviter les inversions de polarités de la source d'alimentation. La chute de tension aux bornes de ce transistor est inférieure à 0,1 V au maximum, ce qui n'est pas gênant. Le régulateur est un modèle à faible

chute de tension LDO (Low Drop Output voltage) de type LM2940-5 ou équivalent (figure 5). La tension non régulée en entrée du régulateur ne doit pas descendre sous 5,25 V. Dans ces conditions, la différence de tension entre l'entrée et la sortie du régulateur n'est plus que de 300 mV et le régulateur atteint sa limite basse de fonctionnement.

La source d'alimentation de 5 V sera réalisée avec quatre piles de 1,5 V ou cinq accus de 1,2 V. Si l'on souhaite faire fonctionner l'ensemble avec quatre accus de 1,2 V seulement sous 4,8 V, le système doit être modifié. Suppression du régulateur avec pont entre l'entrée et la sortie, remplacement du pont de mesure RS/R10 par une diode zéner de 3 V environ accompagnée de sa résistance de polarisation de l'ordre de 470 Ω.

## Réalisation

La carte (figures 6 et 7) sera réalisée par l'un des moyens à votre disposi-

tion. Par exemple, imprimer les deux faces sur deux feuilles de calque, grain fin pour dessin, avec une imprimante de type Desk-jet ou, mieux, Laser-jet.

On découpe la plaque correctement en limant les bords pour peaufiner.

On perce, en premier, tous les trous avec un foret de  $\varnothing 0,8$  mm, puis on repère ceux pour les composants plus gros et pour les divers trous de fixation :

- à  $\varnothing 1$  mm pour le régulateur, les trois poussoirs, l'inter et les connecteurs mâles,
- à  $\varnothing 1,2$  mm pour la résistance variable,
- à  $\varnothing 2,5$  mm pour les quatre trous de fixations de l'afficheur,
- à  $\varnothing 3,2$  mm pour les quatre trous de fixations de la carte et le trou du régulateur.

Pour ceux qui ne peuvent pas (ou ne veulent pas) se lancer dans la réalisation de ce circuit imprimé, il sera disponible auprès de la même société qui propose ses composants et la base mécanique.

## Nomenclature

### Résistances

R1, R5, R6, R7 : 1 k $\Omega$  (marron, noir, rouge, or)  
 R2 : 47 k $\Omega$  (jaune, violet, orange, or)  
 R3, R4 : 3,3 k $\Omega$  (orange, orange, rouge, or)  
 R8 : 100  $\Omega$  (marron, noir, marron, or)  
 R9, R10, R11, R12, R14 : 10 k $\Omega$  (marron, noir, orange, or)  
 R13, R15 : 4,7 k $\Omega$  (jaune, violet, rouge, or)  
 R16, R17 : 22 k $\Omega$  (rouge, rouge, orange, or)  
 RV1 : 10 k $\Omega$  horizontal

### Condensateurs

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

### Semiconducteurs

D1, D2 : led rouge  $\phi$ 5 mm  
 D3 : led orange  $\phi$ 5 mm  
 D4 : led vert  $\phi$ 5 mm  
 T1 : IRFD9024  
 T2, T3, T4 : 2N2222  
 CI1 : LM2910-5  
 CI2 : PIC 16F877, PIC18F452  
 CI3 : TSOP1838  
 CI4 : L293D, SN754410NE

### Divers

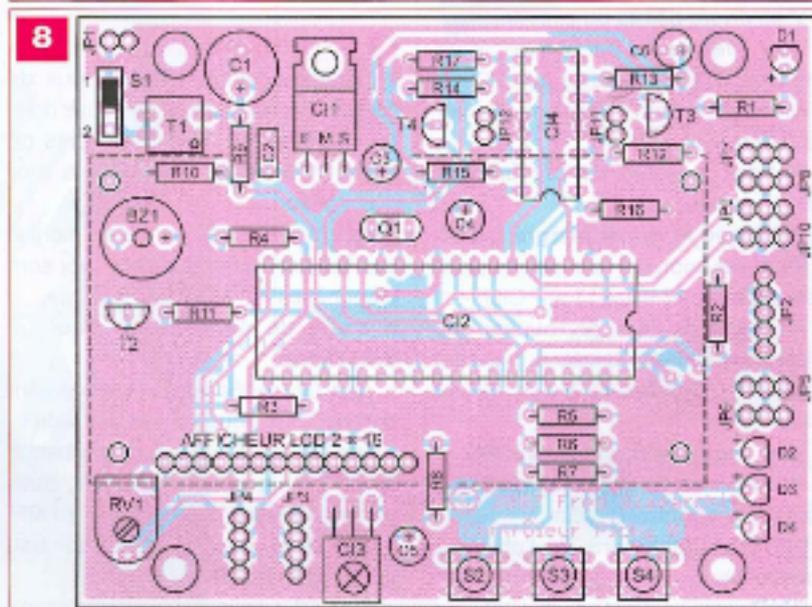
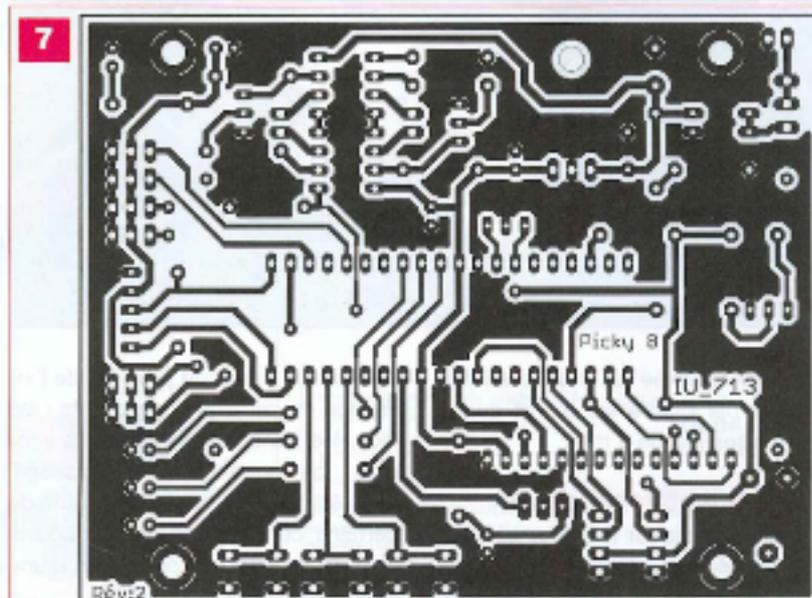
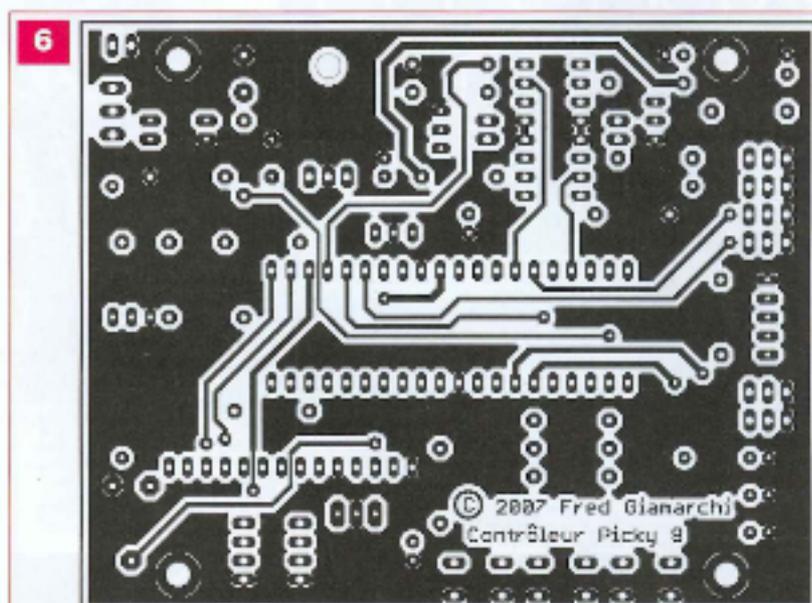
Q1 : résonateur 8 MHz  
 BZ1 : piézo  
 S1 : interrupteur  
 S2, S3, S4 : poussoirs CI  
 JP1 à JP12 : barrettes « sécable » mâles  
 AFF1 : afficheur LCD 2 x 16 connecteur en bas  
 Barrettes « sécable » mâles et femelles (afficheur)

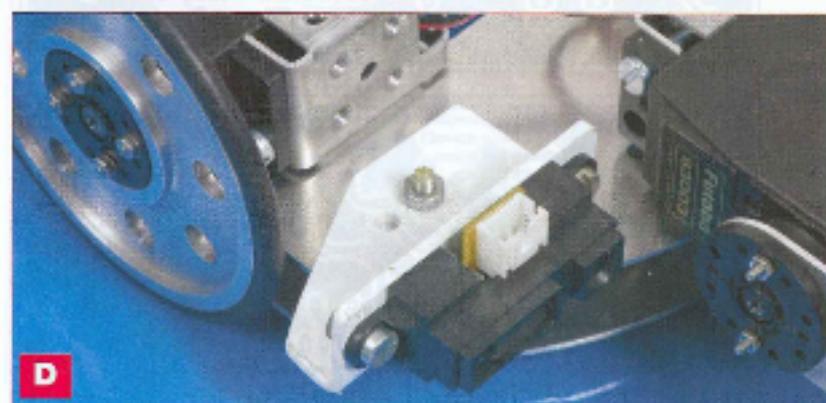
## Implantation

On soude les composants dans l'ordre habituel, les plus bas profils en premier, tels que les vias (liaisons d'une face à l'autre), puis les résistances, les supports de CI (des barrettes « sécable »), les poussoirs, les connecteurs, la résistance variable, les condensateurs et les transistors. On finit par les leds, le régulateur, le quartz, le piézo, l'inter et le photomodule (figure 8).

Certains composants doivent être également soudés côté composants. L'afficheur est équipé d'un connecteur mâle pour venir s'enficher dans un connecteur femelle qui, lui, est soudé sur la carte.

Si nécessaire, il est possible de bloquer l'afficheur sur la carte par quatre entretoises adaptées.





La carte est fixée au châssis en aluminium par quatre vis M3 et quatre entretoises M3 de 5 mm.

## Tests et maintenance

### • Test sans placer les deux circuits intégrés sur leur support

- Vérifier la présence d'une tension de 5 V en divers points du circuit.
- Test des leds par court-circuit (broches 8, 9, 10 avec 11 sur CI2)
- Mesure de la tension batterie sur RA0 (broche 2 de CI2)
- Test des poussoirs sur CI2 (broches 36, 37 et 38)

### • Test avec le circuit intégré L293D

- Test des moteurs par court-circuit (broches 16, 17 avec 11 sur CI2)
- Inversion du sens de rotation des moteurs en même temps que le test précédent (broches 4, 7 avec 32 sur CI2)

### • Test avec le circuit intégré PIC

- Programmer le PIC avec les différents programmes de test
- Suivre les indications sur l'afficheur (photo C)
- Régler son contraste avec RV1.

Une erreur classique provient de l'inversion de certains composants : les leds, les transistors, les circuits intégrés, les condensateurs polarisés. Mais également lors de la soudure de certains composants : les supports de circuits intégrés ou l'oubli d'une soudure du côté composants.

## La programmation

La programmation, c'est à vous de l'écrire. Ce que nous allons vous donner, ce sont les fichiers de tests du robot et quelques conseils de programmation.

Programmer et tester chaque fichier. Les fichiers tests au format .hex sont disponibles sur le site de la revue.

Il s'agit de programmes pour un PIC16F452.

- Test\_01 vérifie le fonctionnement des boutons poussoirs et des leds.
- Test\_02 ajoute un bip pour chaque appui sur un bouton poussoir, mais surtout introduit l'utilisation de l'affichage avec un petit cœur qui bat, preuve d'une activité.
- Test\_03 vérifie le fonctionnement

des moteurs et des servomoteurs. Si on appuie sur le bouton poussoir de gauche, le robot avance, stoppe, recule et s'arrête. Si on appuie sur le bouton poussoir du centre, la pince du robot descend, prend un objet et remonte. L'afficheur confirme chaque état.

- Test\_04 utilise les entrées analogiques pour lire deux télémètres infrarouges GP2D12 de chez Sharp (photo D). En appuyant sur le bouton poussoir de droite, le robot avancera jusqu'à ce qu'il y ait un obstacle devant lui, alors il s'arrêtera. C'est aussi l'occasion de tester l'état de la batterie et d'afficher le résultat sur un petit symbole. Le dessin d'une pile plus ou moins remplie devrait être assez explicite.

Vos premiers programmes doivent être à l'image des programmes de test.

Commencer par un premier programme d'utilisation des leds et des boutons poussoirs. Cela vous permettra de prendre contact avec le microcontrôleur, les configurations des lignes en entrées ou en sortie.

Puis, mettre en œuvre l'affichage. Apprendre à rafraîchir l'affichage, créer de nouveaux caractères.

Ensuite, piloter les diverses formes d'actionneurs, les moteurs à courant continu, en avant, en arrière, tourner sur place à gauche, à droite, arc de cercle à droite, à gauche, la pince en haut en bas, ouverte, fermée.

Pour donner de l'autonomie à un robot, il lui faut des entrées analogiques ou logiques. Mesurer l'état de la batterie.

Ajouter des liaisons RS232 pour dialoguer avec un PC, piloter une autre carte par liaison I<sup>2</sup>C.

F. GIAMARCHI

[giamarchi@iut-nimes.fr](mailto:giamarchi@iut-nimes.fr)

Sur le site web de l'auteur ([www.gei.iut-nimes.fr/fg](http://www.gei.iut-nimes.fr/fg)), vous trouverez des compléments à cet article : exemples de programmes pour l'un ou l'autre des PIC, cartes additionnelles pour dialoguer avec un PC, exemples de cartes capteurs de ligne avec liaison I<sup>2</sup>C ou d'autres encodeurs de roues pour mesurer les déplacements du robot.

<sup>(1)</sup> Easy robotics, 77 Rue d'Assevent 59131 Rousies, [www.easyrobotics.fr](http://www.easyrobotics.fr)

# Baromètre électronique

Depuis toujours, l'homme a cherché à prévoir le temps qu'il allait faire, observant le ciel à la recherche d'indices déterminants.

Pour l'agriculteur qu'il était à ses débuts, cette prévision était essentielle.

**P**ar la suite, des règles se sont progressivement gravées dans la conscience collective et populaire. C'est ainsi qu'une quantité considérable de dictons ont fleuri dans les calendriers et les almanachs. Ce n'est que récemment qu'une science davantage structurée, la météorologie, est apparue pour mettre de l'ordre dans tout cela.

Un des éléments mesurables servant directement à l'élaboration des prévisions météorologiques est l'évolution de la pression atmosphérique. Celle-ci ne constitue pas le seul facteur déterminant, mais représente tout de même 80 % des variables à prendre en compte pour faire de la prévision à moyen et court terme. Un instrument incontournable de mesure de la pression atmosphérique est le baromètre.

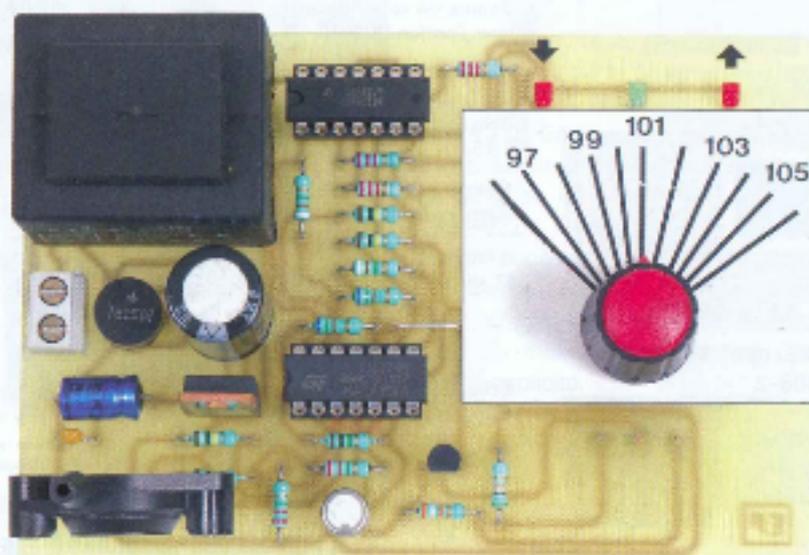
## La pression atmosphérique

Cette pression correspond au poids exercé par une colonne d'air sur une surface donnée :  $p = F/S$ .

- $p$  : pression exprimée en Pascal, symbole Pa (en météorologie, on utilise l'hectopascal, hPa)

- $F$  : force verticale exprimée en Newton, symbole N ( $F = M.g$ )
- $M$  : masse de la colonne d'air en kg et  $g$  accélération gravitationnelle en  $m/s^2$ , à Paris  $g = 9,81 m/s^2$

- $S$  : surface en  $m^2$



La pression atmosphérique mesurée au niveau de la mer varie autour d'une moyenne de 1013 hPa, ce qui correspond à 760 mm de mercure (1 mm de mercure = 133,322 hPa).

Au niveau des prévisions, on considère que cette valeur représente la tendance variable du temps.

Les chances d'un temps plus sec, donc plus ensoleillé, augmentent en même temps que la pression. Lorsque la pression diminue, le temps devient nuageux, voire pluvieux.

En France, la pression la plus élevée a été enregistrée le 6 février 1821 à Paris, avec 1050 hPa.

La même année, une pression minimale de 947 hPa fut notée à Boulogne-sur-Mer le 25 décembre.

## Sa mesure

C'est le physicien italien, Evangelista Torricelli (1608 - 1647), élève de Galilée, qui est à l'origine du célèbre baromètre à mercure. À noter que si cette expérience, dite « du vide », avait été réalisée avec une colonne d'eau dont la masse volumique est 13,6 fois inférieure à celle du mercure, la hauteur d'eau aurait atteint la valeur de 10,33 mètres.

Il existe d'autres baromètres, tel que le baromètre anéroïde dont le fonc-

tionnement est basé sur la déformation d'une capsule à l'intérieur de laquelle le vide a été pratiqué, cette dernière étant reliée à une aiguille.

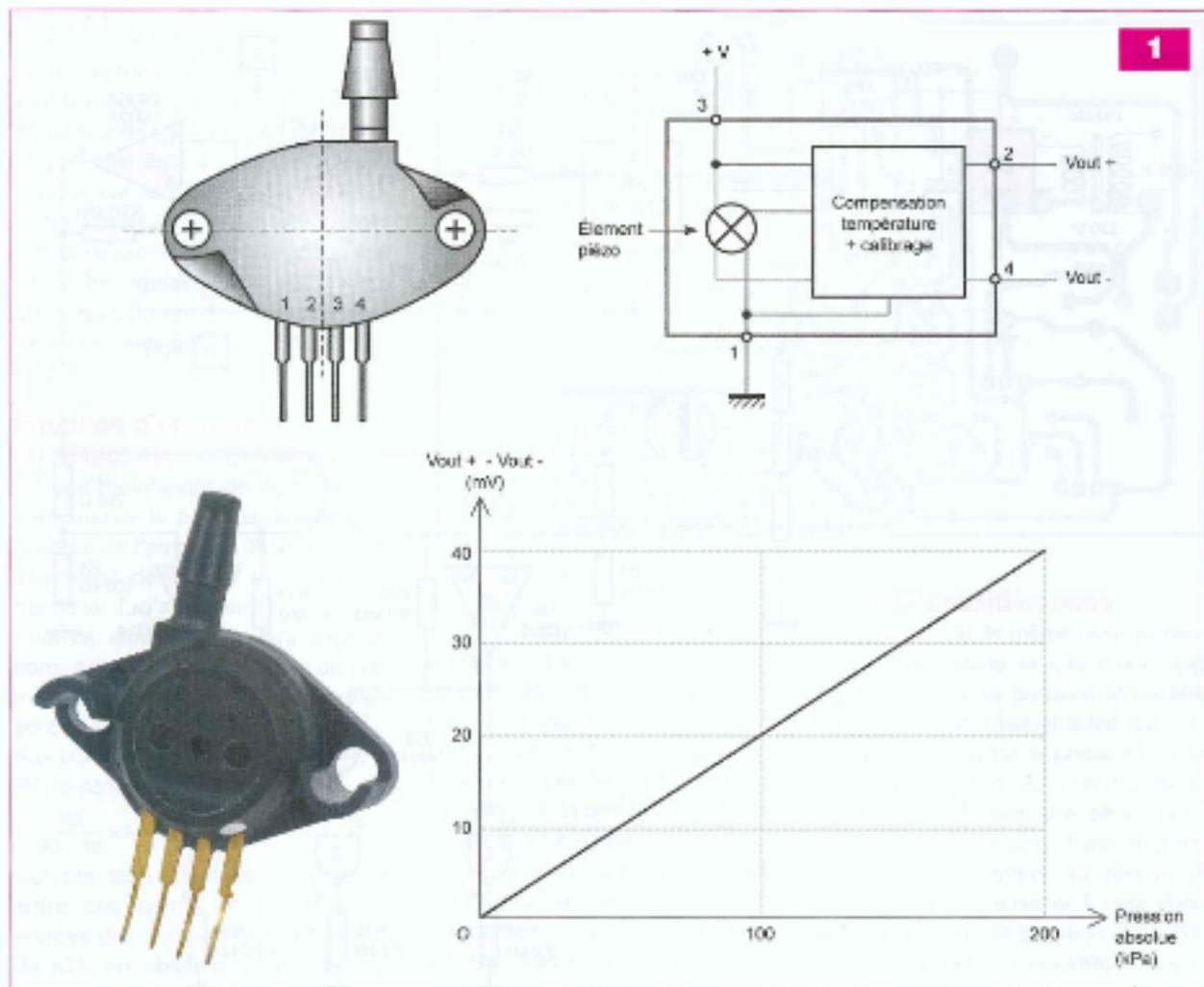
## Fonctionnement du baromètre électronique

### Le capteur de pression MPX 2200 AP

Ce capteur piézoélectrique (figure 1), conçu pour fonctionner dans une plage de pressions absolues de 0 bar à 2 bars (1 bar = 1000 hPa), se trouve néanmoins protégé jusqu'à une pression absolue de 4 bars.

La pression « absolue » est celle que l'on mesure par rapport au vide, contrairement à la pression « effective » dont la référence est la pression atmosphérique.

Le capteur est destiné à être alimenté par un potentiel continu de 16 V au maximum. Sa consommation est d'environ 6 mA. Il est doté d'un dispositif interne de compensation de la température. Il présente deux sorties d'utilisations :  $V_{out+}$  et  $V_{out-}$ . C'est sur ces deux broches que l'on récupère un potentiel dont la variation est strictement linéaire par rapport à la variation de la pression. Soumis à la pression atmosphérique, c'est-à-dire



à environ 1000 hPa, on relève un potentiel de sortie de l'ordre de 20 mV. Le coefficient de variation  $\Delta V/\Delta p$  est de 20 mV/1000 hPa, soit 1 mV/50 hPa.

## Principes du montage

Le potentiel issu du capteur est amplifié, dans un premier temps, par un amplificateur différentiel (figure 2). Un second étage amplificateur présente sur sa sortie un potentiel de valeur plus élevée et proche de la demi-tension d'alimentation du montage. Ce dernier est comparé en permanence à une valeur imposée par la position angulaire du curseur d'un potentiomètre dont l'axe est commandé par un bouton comportant une « flèche » qui défile devant un cadran gradué en kPa.

En situation d'équilibre, une led verte est allumée. Si la pression atmosphérique baisse, un déséquilibre s'installe

et une led rouge, située du côté des basses pressions sur le cadran, s'allume. Cette signalisation permet à un observateur :

- de noter que la pression atmosphérique a baissé,
- de rééquilibrer la situation en tournant légèrement le bouton de commande du potentiomètre vers la zone des basses pressions afin d'aboutir à nouveau à l'allumage de la led verte et à l'extinction de la led rouge,
- de lire la nouvelle valeur de la pression atmosphérique en regard de la « flèche ».

Bien entendu, le principe reste le même en cas d'augmentation de la pression atmosphérique. Dans ce cas, une autre led rouge, située du côté des hautes pressions, s'allume.

## L'alimentation

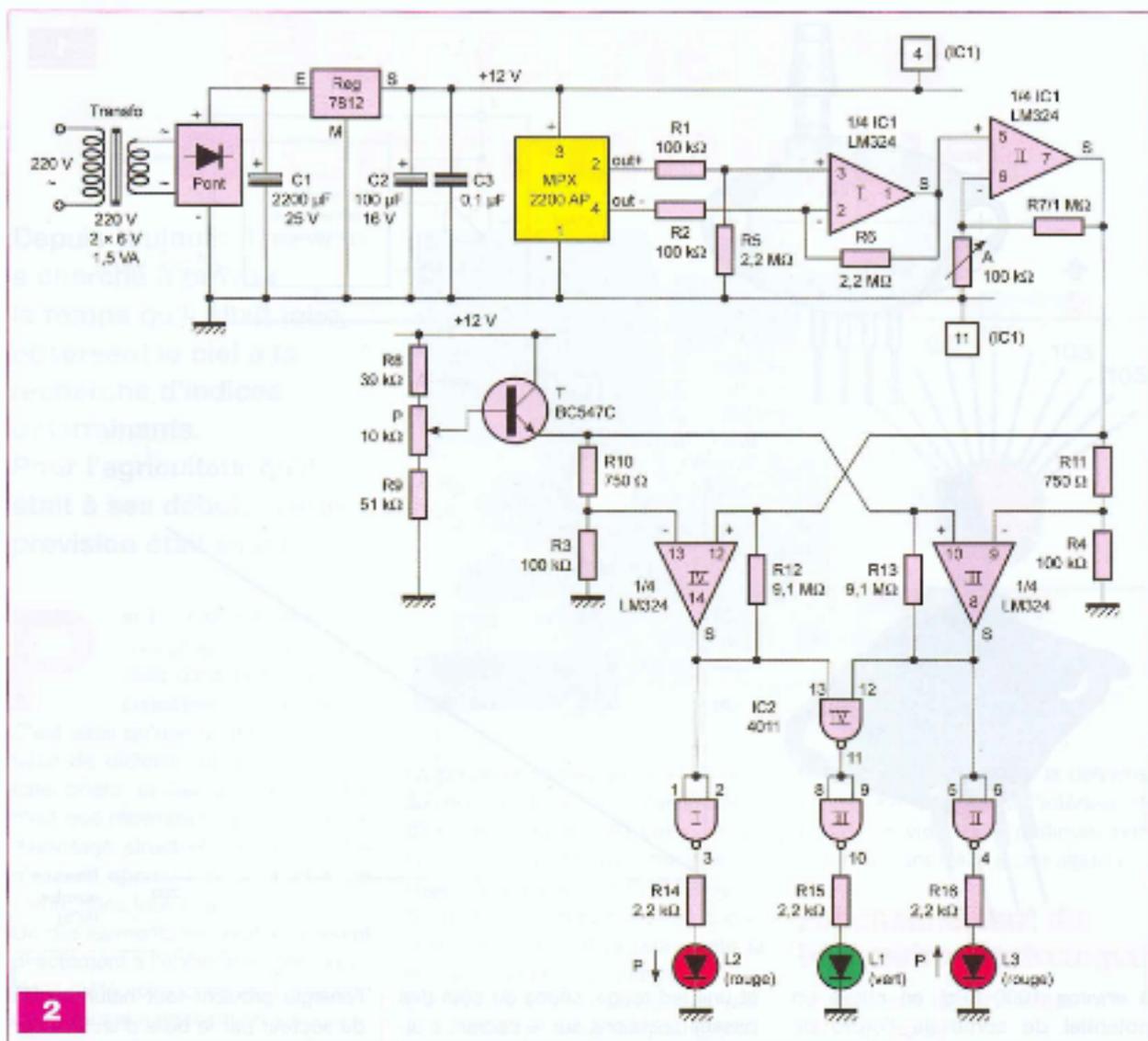
Elle est très classique. Étant donné que notre baromètre est appelé à remplir sa fonction sur un poste fixe,

l'énergie provient tout naturellement du secteur par le biais d'un transformateur délivrant, sur son enroulement secondaire, un potentiel alternatif de 12 V. Après un redressement des deux alternances par un pont de diodes, la capacité C1 réalise un premier lissage. À la sortie d'un régulateur 7812, on recueille un potentiel continu et stabilisé à 12 V.

La capacité C2 assure un complément de filtrage, tandis que C3 fait office de capacité de découplage entre l'alimentation et le montage proprement dit.

## L'amplification différentielle

Le potentiel délivré par le capteur MPX 2200 AP est extrêmement faible (20 mV) pour pouvoir être exploité directement. De plus, il n'est pas référencé par rapport au « - » du montage. Il est donc nécessaire de commencer son traitement par une amplification différentielle. C'est le rôle de



2

l'ampli-op (I) de IC1, un LM 324. Rappelons qu'avec un tel montage, pour simplifier l'expression du gain, il est indispensable de respecter la relation  $R1/R5 = R2/R6$ . Dans le cas présent, cette condition est d'autant mieux respectée que  $R1 = R2$  et que  $R5 = R6$ . En conséquence, le gain de ce premier étage amplificateur est déterminé par la relation :  $\text{Gain} = R5/R1$ , soit  $2,2 \text{ M}\Omega/0,1 \text{ M}\Omega = 22$ . Il en résulte, sur la sortie de l'ampli-op (I), un potentiel de l'ordre de  $20 \text{ mV} \times 22 = 440 \text{ mV}$ , pour une pression atmosphérique normale.

### Le second étage amplificateur

L'ampli-op (II) de IC1 est affecté à la réalisation d'une seconde amplification suivant le mode « direct ». Le gain d'un tel montage se détermine par la relation :

$$\text{Gain} = \frac{R7 + A}{1} = 1 + \frac{R7}{A}$$

Il est ainsi possible d'obtenir un gain variable suivant la position angulaire du curseur de l'ajustable A. Par exemple, si le curseur se trouve placé en position médiane, le gain obtenu est égal à  $1 + 1000/50$ , soit 21.

Nous verrons ultérieurement qu'il convient de positionner le curseur de l'ajustable de manière à recueillir sur la sortie de l'ampli-op (II) un potentiel égal à la demi-tension d'alimentation, soit environ 6 V, pour un fonctionnement optimal du montage.

Cela revient à faire travailler cet étage amplificateur avec un gain de  $6 \text{ V}/0,440 \text{ V}$ , soit 13,6.

La résistance de l'ajustable A est alors égale à environ 80 kΩ.

### Définition de la plage de mesure

Nous verrons, au chapitre consacré au réglage et à la graduation, que le potentiel disponible sur la sortie de l'ampli-op (II) pourra évoluer par rapport à une valeur centrale proche de 6 V, le long d'une plage allant de 5,7 V à 6,4 V. Compte tenu du système de mesure adopté, il est nécessaire de créer cette même plage de variation par la rotation du curseur d'un potentiomètre P. Au niveau du curseur de ce dernier, il est possible d'obtenir les valeurs limites suivantes :

$$U_{\text{mini}} = \frac{R9}{R8 + R9 + P} \times 12 \text{ V} =$$

$$\frac{51}{39 + 51 + 10} \times 12 \text{ V} \text{ soit } 6,12 \text{ V}$$

$$U_{\text{maxi}} = \frac{R9 + P}{R8 + R9 + P} \times 12 \text{ V} =$$

$$= \frac{51 + 10}{39 + 51 + 10} \times 12 \text{ V soit } 7,32 \text{ V}$$

Le transistor NPN/T fonctionne suivant le mode « suiveur de potentiel ». Au niveau de son émetteur, on relève un potentiel égal à celui qui est disponible sur le curseur du potentiomètre, diminué du potentiel de jonction base-émetteur du transistor, soit 0,6 V. En conséquence, les bornes extrêmes calculées ci-dessus deviennent alors respectivement 5,52 V et 6,72 V.

### Situation d'équilibre du dispositif comparateur

Il s'agit maintenant de comparer en permanence le potentiel présent sur la sortie de l'ampli-op (II), d'une part, avec celui délivré par l'émetteur du transistor T, d'autre part.

Pour la simplification des explications, nous admettrons, dans un premier temps, que ces deux potentiels sont égaux à 6 V.

Aux points communs R10-R3 et R11-R4, le potentiel est de :

$$\frac{R3}{R3 + 10} \times 6 \text{ V soit } 5,955$$

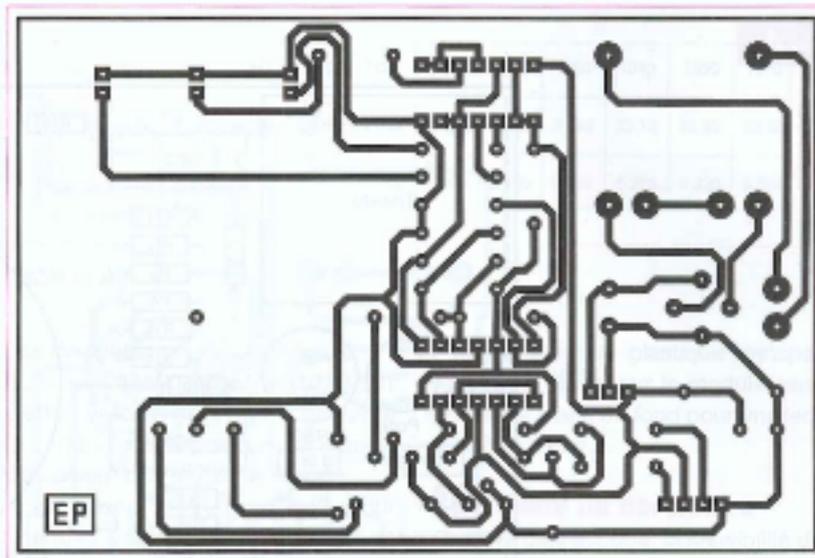
Compte tenu des liaisons réalisées entre ces points et les diverses entrées des comparateurs (III) et (IV) de IC1, on observe, pour les deux comparateurs, que le potentiel sur les entrées « + » (6 V) est supérieur à celui qui caractérise les entrées « - » (5,955 V). Il en résulte la présence d'un état « haut » sur les sorties des deux comparateurs.

Les sorties des portes NAND (i) et (ii) de IC2 présentent alors un état « bas » : les leds rouges L2 et L3 sont éteintes. La sortie de la porte NAND (iv) présente un état « bas », d'où l'apparition d'un état « haut » sur la sortie de la porte NAND (iii). La led verte L1, dont le courant est limité par R15, est alors allumée.

### La pression atmosphérique diminue

Lorsque la pression chute, le potentiel présent sur la sortie de l'ampli-op (II) diminue. Toujours en restant dans la continuité de notre exemple numérique, lorsque la valeur de ce potentiel devient inférieure à 5,955 V :

- pour le comparateur (IV), le potentiel de l'entrée « - » devient supérieur à celui de l'entrée « + » : sa sortie passe



3

à l'état « bas ».

- pour le comparateur (III), la situation précédente ne change pas, elle serait plutôt renforcée (le potentiel de l'entrée « - » passe à moins de 5,1 V) : sa sortie reste à l'état « haut ».

Conséquences de cette évolution :

- la sortie de la porte NAND (i) de IC2 passe à l'état « haut » : la led rouge L2 (diminution de la pression atmosphérique) s'allume.

- la sortie de la porte NAND (ii) reste à l'état « bas » : la led rouge L3 reste éteinte.

- la sortie de la porte NAND (iv) passe à l'état « haut », celle de la porte (iii) passe à l'état « bas » : la led verte L1 s'éteint.

### Rétablissement manuel de la situation d'équilibre

En tournant progressivement le bouton du potentiomètre P dans le sens correspondant à une diminution du potentiel sur l'émetteur du transistor T, le potentiel présenté sur l'entrée « - » du comparateur (IV) diminue. Lorsque la valeur devient inférieure à 5,955 V, le potentiel sur l'entrée « + » redevient supérieur à celui de l'entrée « - » : la sortie de ce comparateur repasse à l'état « haut ». La situation d'équilibre précédemment évoquée pour laquelle seule la led verte L1 est allumée est à nouveau atteinte. Il suffit alors, à l'utilisateur du baromètre, de lire la nouvelle pression atmosphérique sur la graduation de la plage d'évolution de la « flèche » du bouton de commande de l'axe du potentiomètre.

### Autres considérations

Bien entendu, le même raisonnement s'applique dans le cas d'une augmentation de la pression atmosphérique, cas pour lequel la led rouge L3 (augmentation de la pression) s'allume. Le bouton de commande de l'axe du potentiomètre sera alors à tourner dans le sens d'une augmentation du potentiel au niveau de l'émetteur du transistor T, pour aboutir à nouveau à la situation d'équilibre et pour noter une nouvelle valeur de pression atmosphérique.

Les résistances R12 et R13 introduisent une réaction positive lors des basculements de l'un ou de l'autre des comparateurs.

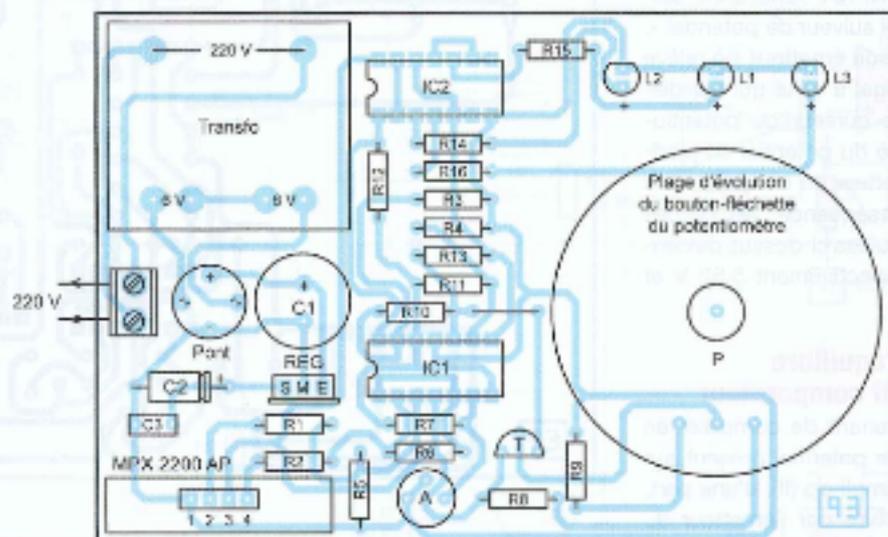
En effet, dès qu'un basculement a tendance à s'amorcer, le début de changement d'état matérialisé sur la sortie du comparateur concerné se trouve accéléré par un apport (ou au contraire une soustraction) d'une minime quantité de potentiel de la sortie vers l'entrée « + » du comparateur.

La valeur des résistances R10 et R11 détermine la sensibilité des comparateurs à réagir pour une variation de pression donnée. Plus cette valeur est faible et plus la sensibilité augmente. Nous en reparlerons au chapitre consacré à la mise au point.

### Réalisation

La figure 3 fait état du circuit imprimé du montage. Sa réalisation ne présente pas de difficulté particulière.

4



## Nomenclature

### Résistances

1 strap  
 R1, R2, R3, R4 : 100 k $\Omega$  (marron, noir, jaune)  
 R5, R6 : 2,2 M $\Omega$  (rouge, rouge, vert)  
 R7 : 1 M $\Omega$  (marron, noir, vert)  
 R8 : 39 k $\Omega$  (orange, blanc, orange)  
 R9 : 51 k $\Omega$  (vert, marron, orange)  
 R10, R11 : 750  $\Omega$  (violet, vert, marron) - voir texte  
 R12, R13 : 9,1 M $\Omega$  (blanc, marron, vert)  
 R14, R15, R16 : 2,2 k $\Omega$  (rouge, rouge, rouge)  
 A : Ajustable 100 k $\Omega$   
 P : Potentiomètre 10 k $\Omega$  - Progression linéaire

### Condensateurs

C1 : 2200  $\mu$ F/25 V  
 C2 : 100  $\mu$ F/16 V  
 C3 : 0,1  $\mu$ F

### Semiconducteurs

L1 : led verte  $\phi$  3 mm  
 L2 et L3 : 2 leds rouges  $\phi$  3 mm  
 Capteur de pression MPX 2200 AP  
 REG : 7812  
 Pont de diodes  
 T : BC 547 C  
 IC1 : LM 324  
 IC2 : CD 4011

### Divers

2 supports 14 broches  
 Barrette 4 broches  
 Bornier soudable 2 plots  
 Transformateur 220 V/2 x 6 V1,5 VA, moulé pour circuit imprimé  
 Bouton avec flèche pour potentiomètre

Quant à l'implantation des composants, elle est reprise en figure 4. On n'oubliera pas l'unique strap de liaison. Attention également à la bonne orientation des composants polarisés : pont de diodes, capacités électrolytiques, régulateur, transistor, leds et circuits intégrés.

Les broches du capteur ont simplement été introduites dans un support constitué d'une barrette à quatre broches « tulipe ».

Le potentiomètre est à fixer sur le module et à relier aux pastilles prévues à cet effet par trois straps (photo A).

À la place de la plage définitive d'évolution du bouton-flèche, on pourra fixer provisoirement, à l'aide de ruban adhésif transparent, un papier de forme carrée sur le dessus du module.

## Mise au point définitive

### Définition d'une situation de référence

Lors de la description du capteur MPX 2200 AP, nous avons indiqué qu'à une pression atmosphérique de 1000 hPa, correspondait un potentiel mesurable entre les broches (2) et (4) de l'ordre de 20 mV. En réalité, cette valeur peut différer d'un capteur à l'autre. Il est donc nécessaire de bien

connaître ce potentiel pour une valeur de pression atmosphérique donnée. Au moment de la réalisation de cette mesure, il convient donc de noter la valeur de la pression atmosphérique. Pour cela, il existe deux solutions :

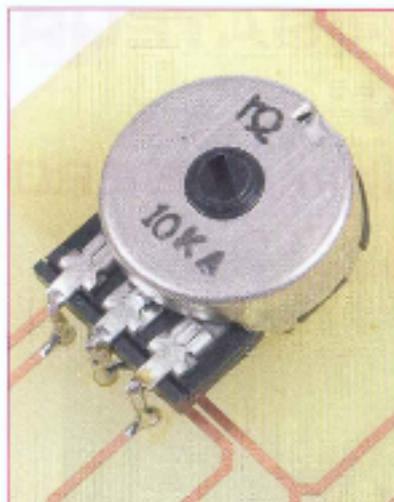
- la lire sur un baromètre considéré comme suffisamment précis et fiable
- la consulter sur le site <http://www.passion-meteo.net/articles.php?lng=fr&pg=10>

Les valeurs de la pression atmosphérique pour les différentes régions françaises y figure en permanence avec une mise à jour très fréquente.

Par exemple, au moment de cette consultation, l'auteur a relevé une pression atmosphérique de 1009 hPa. La valeur du potentiel, mesurée à l'aide d'un appareil numérique, était de 21,5 mV.

Comme déjà indiqué dans le chapitre consacré au fonctionnement, il convient de placer le curseur de l'ajustable A sur une position telle que le potentiel mesuré sur la sortie de l'ampli-op (II) broche (5) de IC1, soit environ égal au demi-potentiel d'alimentation. Point n'est besoin de s'évertuer à obtenir cette valeur avec précision. Dans l'exemple décrit, la valeur approchée obtenue était de 6,097 V.

Ces relevés étant faits, on ne touche plus à l'ajustable A.



**A** Raccordement du potentiomètre au circuit imprimé

### Détermination des potentiels

Nous allons maintenant déterminer les potentiels pour les différentes pressions de la plage de mesures. À ce niveau, il convient d'établir un tableau définissant la plage des pressions. On partira d'une pression minimale de 960 hPa pour arriver, par pas de 10 hPa, à la valeur de 1060 hPa, ce qui correspond à onze valeurs de graduations de notre baromètre.

La prochaine étape consistera à calculer, en regard de chacune de ces valeurs, le potentiel « u » aux bornes du capteur, sachant qu'à une augmentation de la pression de 1000 hPa, l'augmentation correspondante du potentiel « u » est de 20 mV. Cela correspond à une variation de potentiel de 1 mV pour une augmentation de pression de 50 hPa.

On peut ainsi calculer, pour une pression « p » du tableau, le potentiel correspondant en appliquant la relation :

$$U \text{ (mV)} = 21,6 + \frac{(p - 1000)}{50}$$

Par exemple, pour une pression de 1020 hPa, l'application de cette relation permet de calculer une valeur « u » de 21,72 mV.

Toujours en partant de nos chiffres caractéristiques de références, on peut calculer la valeur du gain global

| P (hPa) | 960   | 970   | 980   | 990   | 1000  | 1010  | 1020  | 1030  | 1040  | 1050  | 1060  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| u (mV)  | 20,52 | 20,72 | 20,92 | 21,12 | 21,32 | 21,52 | 21,72 | 21,92 | 22,12 | 22,32 | 22,52 |
| U (V)   | 5,819 | 5,875 | 5,933 | 5,990 | 6,048 | 6,103 | 6,160 | 6,217 | 6,273 | 6,330 | 6,387 |

Tableau A

des deux étages amplificateurs :

Gain = 6,097 V/0,0215 V soit 283,581  
Cette valeur est une constante dépendant de la position de réglage du curseur de l'ajustable A.

Il est donc aisé de définir pour chaque valeur de pression du tableau, le potentiel « U » de sortie de l'ampli-op (II). Par exemple, dans le cas de la pression de 1020 hPa évoqué ci-dessus, la valeur de U est de :  
U (V) = 283,581 x u

soit 283,581 x 0,02172

soit 6,16 V.

En appliquant ces relations à toutes les valeurs figurant dans le tableau des pressions, on obtient les résultats mentionnés dans le **tableau A**.

### Graduation du baromètre

La graduation est très simple. On tourne le bouton du potentiomètre dans le sens horaire (en partant de sa position minimale) pour obtenir au niveau de l'émetteur du transistor T un potentiel de 5,819 V. Un repère est marqué sur le papier provisoire de graduation en regard de la flèche du bouton de commande. Cette première valeur correspond à une pression de 960 hPa. On poursuit ainsi de proche en proche jusqu'à la onzième et dernière valeur de potentiel du tableau qui représente une pression de 1060 hPa.

Par la suite, ce papier est retiré. On y superpose alors un plastique transparent pour réaliser la graduation définitive. Cette dernière peut utiliser un multiple du hPa, le kPa, ce qui permet de gagner un zéro et d'obtenir un marquage plus lisible.

Pour terminer, le plastique transparent est à placer sur le module avec un papier blanc en fond pour une lecture plus facile.

### Sensibilité du baromètre

Comme déjà évoqué, la sensibilité du baromètre dépend essentiellement de la valeur ohmique de R10 et R11. Dans le cas d'une valeur de 750 Ω, nous avons vu que la variation nécessaire du potentiel issu de la sortie de l'ampli-op (II), pour rompre la situation d'équilibre, était de 6 V - 5,965 V, soit 0,045 V. Cela correspond à une variation du potentiel « u » aux bornes du capteur de :

45 mV/283,581, soit 0,158 mV.

Étant donné qu'une variation de « u » de 1 mV correspond à une variation de pression de 50 hPa, la sensibilité de notre baromètre est donc égale à :  
50 hPa x 0,158, soit 8 hPa.

Pour une pression atmosphérique de 1010 hPa, cela correspond, dans l'absolu, à une sensibilité de près de 0,8 %. En réalité, il convient de calculer cette sensibilité à l'intérieur de la plage prévue, c'est-à-dire de 960 à 1060 hPa, soit 100 hPa.

Dans ces conditions, la sensibilité réelle relative est de 8 %.

Cette valeur représente un bon compromis. Si on l'augmentait, par exemple en insérant des résistances R10 et R11 de 680 Ω, le baromètre aurait tendance à réagir à la moindre variation de la pression, ce qui présenterait un intérêt moindre quant à une prévision météorologique fiable.

R. KNOERR

**BULLETIN D'ABONNEMENT EN PAGE 40**

# COMPTEUR ET TEMPORISATEUR DE PRÉCISION

## Affichage LCD géant avec Cubloc CB220

Nous vous proposons de réaliser un temporisateur de précision faisant également office de compteur d'événements externes tels que le nombre de passages devant un capteur ou toute autre impulsion sur l'entrée correspondante.

L'activation d'un relais de puissance permet de commander tout circuit externe durant la temporisation et le comptage. Ce type d'appareil s'avère très utile dans de nombreux domaines (photo, gravure de circuits imprimés, cuisine, bobinage de selfs, modélisme ferroviaire, etc.). Il est néanmoins d'une conception simple grâce à l'emploi du désormais célèbre CB220.

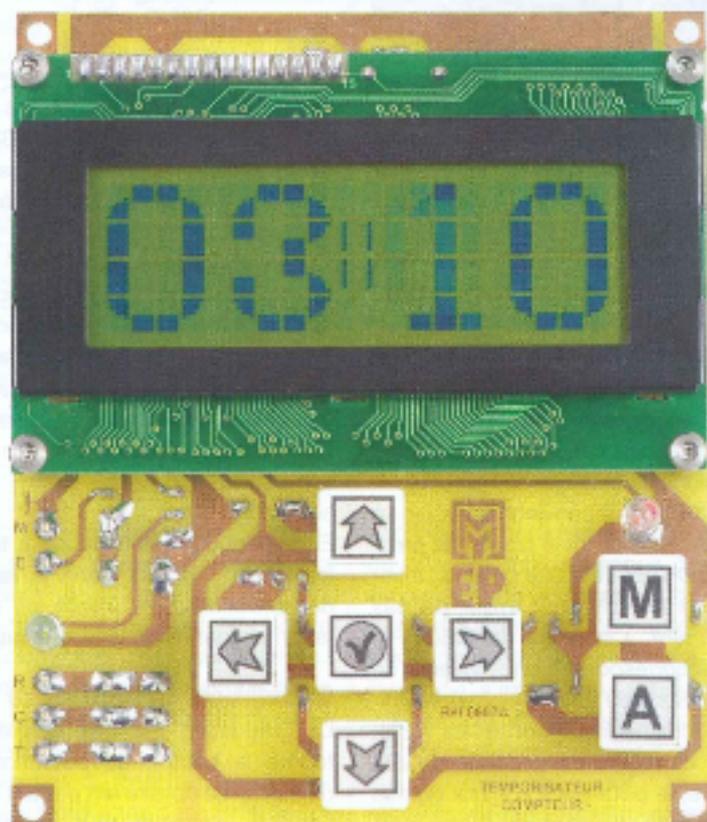
Nous en profitons pour étudier comment afficher des caractères géants sur un écran LCD alphanumérique traditionnel de 4 x 20 caractères.

Cette particularité n'empêche pas d'utiliser l'afficheur de manière conventionnelle simultanément.

Au cours de cette réalisation, vous découvrirez également d'autres astuces, notamment la façon de gérer efficacement un clavier à plusieurs touches sur une seule entrée analogique. Comme tous les montages équipés de ce microcontrôleur, il se programme à l'aide d'une simple liaison série, sans programmeur ni logiciel spécifique.

### Caractéristiques

- Trois modes de fonctionnements :
  - 1 - Temporisateur minutes et secondes
  - 2 - Temporisateur heures et minutes
  - 3 - Compteur d'événements externes
- Délai maximum de 100 minutes en



mode 1 et de 100 heures en mode 2

- Capacité maximale de comptage : 9999 impulsions
- Sept touches de commandes
- Configuration par menus sur l'afficheur en mode 4 x 20 caractères
- Affichage de la temporisation et du comptage à l'aide de chiffres géants.
- Entrée d'événements de comptage au potentiel de la masse
- Alarmes sonore et lumineuse
- Sorties de commande de puissance par contacts de relais
- Alimentation : 9 à 12 Vcc

### Étude du schéma

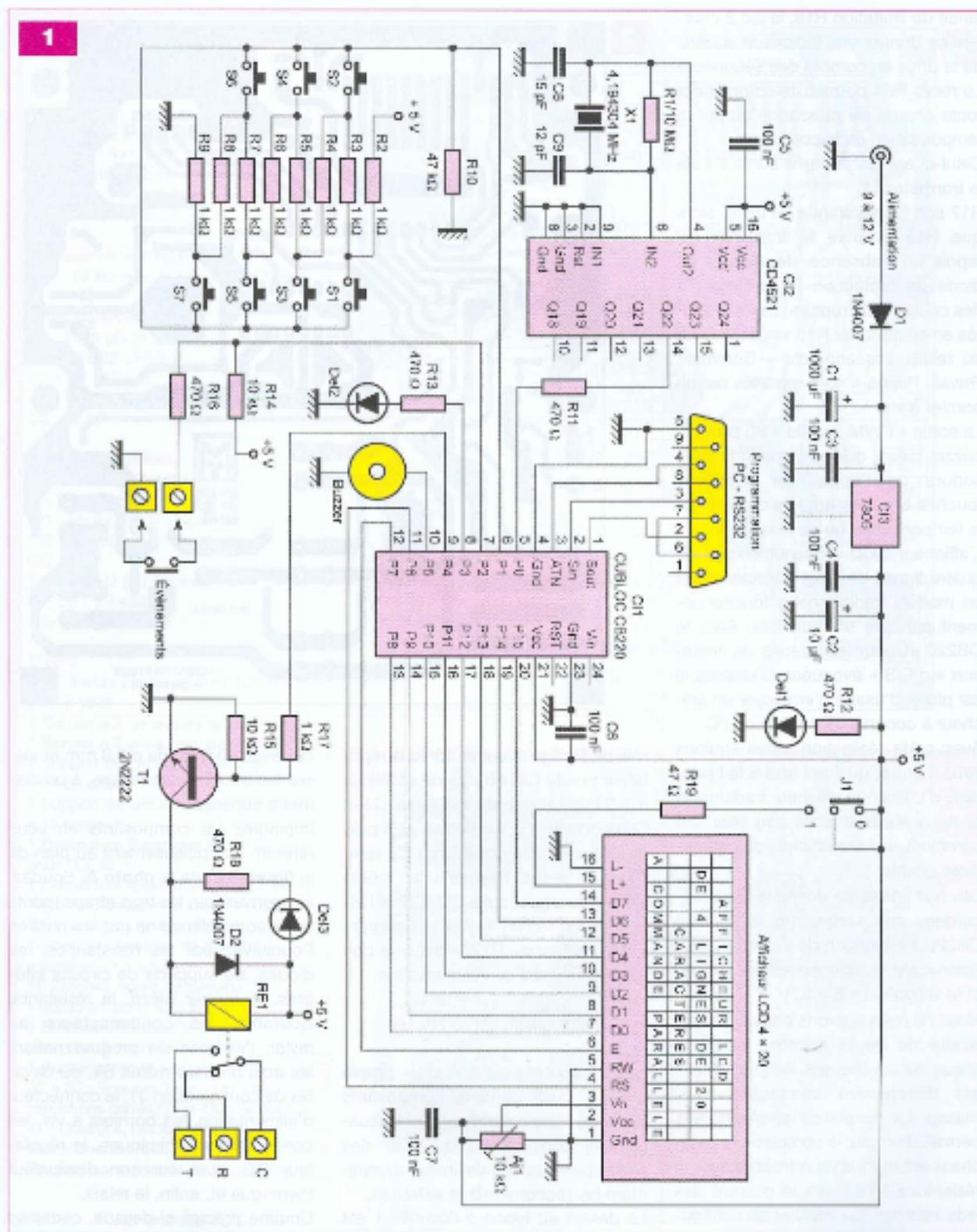
Le schéma de la figure 1 montre que le microcontrôleur C11, un Cubloc CB220, occupe une position centrale compte tenu de son importance. L'embase de programmation permet, sans autre artifice, de mettre à jour le

CB220 ou de charger le source « basic » depuis le PC via l'interface série.

La base de temps de précision fait appel à C12, un circuit logique CD4521, couramment utilisé au fil de nos réalisations. Ce dernier intègre l'électronique d'horloge pour construire un oscillateur à quartz à partir d'une fréquence élevée : 4,194304 MHz.

Il comprend également un diviseur à vingt-quatre étages, ce qui nous permet d'obtenir le battement de la seconde à la sortie « Q22 ». La résistance R1, le quartz X1 et les condensateurs C8 et C9 sont les seuls composants nécessaires à cette fonction. Les impulsions sont transmises à l'entrée P0 du CB220 via la résistance R11.

Le nombre de lignes d'entrées/sorties du CB220 étant compté, nous avons recours, pour le clavier à sept



touches, à une astuce nous permettant de lire une valeur analogique (tension) avec une précision de dix bits sur une entrée. Les résistances R2 à R9 établissent un pont diviseur entre le +5 V et la masse. Par l'action sur une des sept touches, la tension varie sur l'entrée P1 du CB220.

L'interprétation de celle-ci par le programme donne le nom de la touche appuyée. La résistance R10 positionne à la masse l'état de l'entrée lorsque toutes les touches sont au repos.

L'entrée P2 se charge de recueillir les impulsions d'événements externes

quand ce mode est actif. Au repos, la résistance R14 place cette dernière à l'état logique « haut ». Un événement externe (contact travail avec la masse) achemine un niveau logique « bas » sur l'entrée via la résistance R16.

La sortie P3 gère, à travers la résis-

tance de limitation R13, la led 2 chargée de donner une indication visuelle de la prise en compte des secondes. Le relais RE1 permet de commander toute charge de puissance durant la temporisation ou le comptage. Celui-ci est activé par la sortie P4 via le transistor T1.

R17 sert de résistance de base, alors que R15 polarise le transistor au repos en l'absence de signal. La diode de protection D2 protège T1 des courants de rupture. La led 3 limitée en courant par R18 visualise l'état du relais. Les contacts « Commun, Travail, Repos » sont reportés sur un bornier à vis.

La sortie « PWM ou ML » P5 pilote le buzzer piézo, donnant une indication sonore de l'appui sur certaines touches et prévenant lors de la fin de la temporisation ou du comptage.

L'afficheur LCD alphanumérique de quatre lignes de vingt caractères est un modèle traditionnel à fonctionnement parallèle sur huit bits. Avec le CB220 et pour les raisons de limitation « d'E/S » évoquées ci-dessus, il est plutôt d'usage d'employer un afficheur à commande sérielle ou I<sup>2</sup>C.

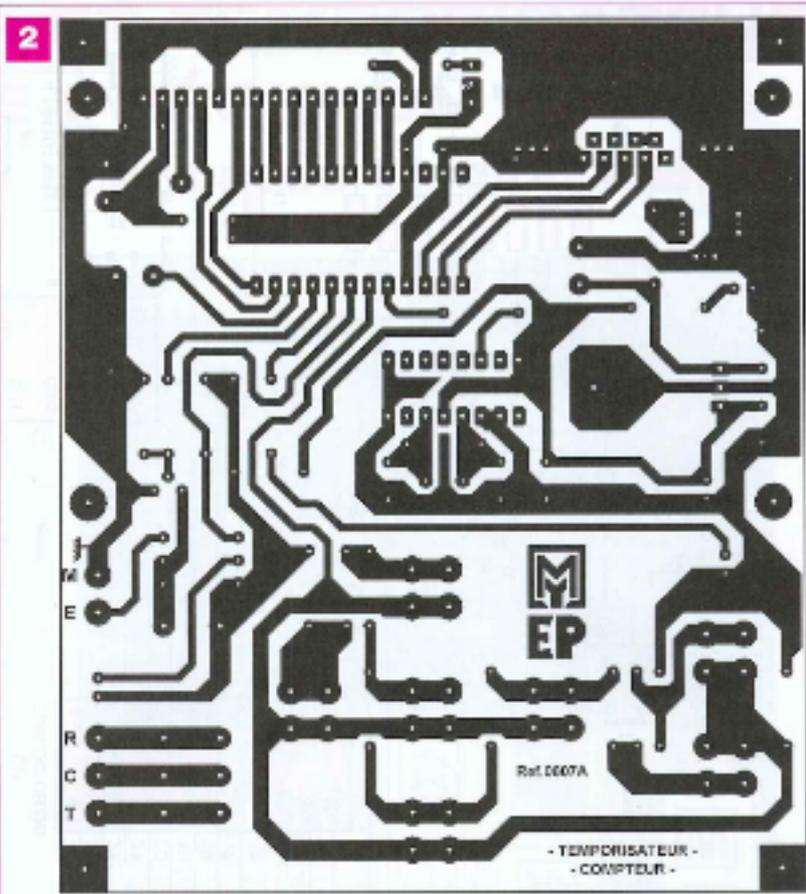
Avec cette réalisation, nous voulons vous montrer qu'il est tout à fait possible d'utiliser un afficheur traditionnel et nous étudierons un peu plus loin comment lui faire afficher des caractères géants.

Les huit lignes de données sont raccordées aux sorties P8 à P15 du CB220. La fonction de registre « RS » (instruction ou donnée) est reliée à P6 et la validation « E » à P7.

Nous ne nous servons pas de la possibilité de lire la mémoire de l'afficheur, par conséquent, la ligne « R/W » est directement connectée à la masse. La résistance ajustable AJ1 permet de régler le contraste. Si l'afficheur est muni d'un rétroéclairage, la résistance R19 limite le courant des leds internes. Le cavalier de configuration « J1 » met en service ou non cette fonction.

L'alimentation très courante utilise toute source externe (transformateur, bloc secteur, piles ou batteries). La diode D1 protège des inversions de polarités et éventuellement, redresse la tension.

Les condensateurs C1 et C2 ont un



rôle de filtrage avant et après le régulateur positif C13 chargé de stabiliser à + 5 V la tension du montage. C3 et C4 découplent la tension au plus près de C13, de même que C5 à C7 remplissent respectivement la même tâche pour les circuits C11, C12 et l'afficheur. La led 1, limitée en courant par la résistance R12, indique le bon fonctionnement de l'alimentation.

## Réalisation pratique

Nous utilisons un circuit dit « simple face », mais certains composants (ceux de la commande et de la visualisation) sont câblés du côté des pistes cuivrées afin de limiter au minimum les raccordements externes.

Le dessin du typon à l'échelle 1 est donné à la figure 2 en vue de sa reproduction par la méthode photographique.

Gravez et percez la plaque selon la procédure avec les précautions habituelles. Par prudence, procurez-vous toutes les pièces avant l'opération de perçages afin de connaître précisément le diamètre des trous. Commen-

cez avec un foret de  $\phi$  0,8 mm et alésez les trous, si nécessaire, à un diamètre supérieur.

Implantez les composants en vous référant scrupuleusement au plan de la figure 3 et de la photo A. Soudez, en premier lieu, les trois straps (ponts de liaisons) afin de ne pas les oublier. Poursuivez par les résistances, les diodes, les supports de circuits intégrés, le buzzer piézo, la résistance ajustable, les condensateurs au mylar, l'embase de programmation, les trois broches mâles SIL du cavalier de configuration J1, le connecteur d'alimentation, les borniers à vis, les condensateurs chimiques, le régulateur C13 vissé sur son dissipateur thermique et, enfin, le relais.

Comme précisé ci-dessus, certaines pièces se câblent sur la face des pistes cuivrées. Il s'agit des sept touches D6 (attention au sens), des leds 2 et 3, ainsi que de l'afficheur sur son connecteur (photo B).

Pour ce dernier, placez sans le souder un jeu de connecteurs constitué de broches mâles et femelles de barrette « sécable » de type tulipe sous

## Nomenclature

## Résistances 5%

R1 : 10 M $\Omega$  (marron, noir, bleu)  
 R2 à R9, R17 : 1 k $\Omega$  (marron, noir, rouge)  
 R10 : 47 k $\Omega$  (jaune, violet, orange)  
 R11, R12, R13, R16, R18 : 470  $\Omega$   
 (jaune, violet, marron)  
 R14, R15 : 10 k $\Omega$  (marron, noir, orange)  
 R19 : 47  $\Omega$  (jaune, violet, noir)

## Résistance ajustable

AJ1 : 10 k $\Omega$  linéaire horizontale 1 tour

## Condensateurs

C1 : 1000  $\mu$ F/25 V  
 C2 : 10 à 22  $\mu$ F/25 V  
 C3 à C7 : 100 nF  
 C8 : 15 pF  
 C9 : 12 pF

## Semi-conducteurs

1 Afficheur LCD alphanumérique  
 4 x 20 caractères  
 CI1 : Microcontrôleur Cubloc CB220  
 CI2 : CD4521  
 CI3 : 7805  
 T1 : 2N2222 (ou équivalent)  
 D1, D2 : 1N 4007  
 3 leds blanches  $\varnothing$  5 mm

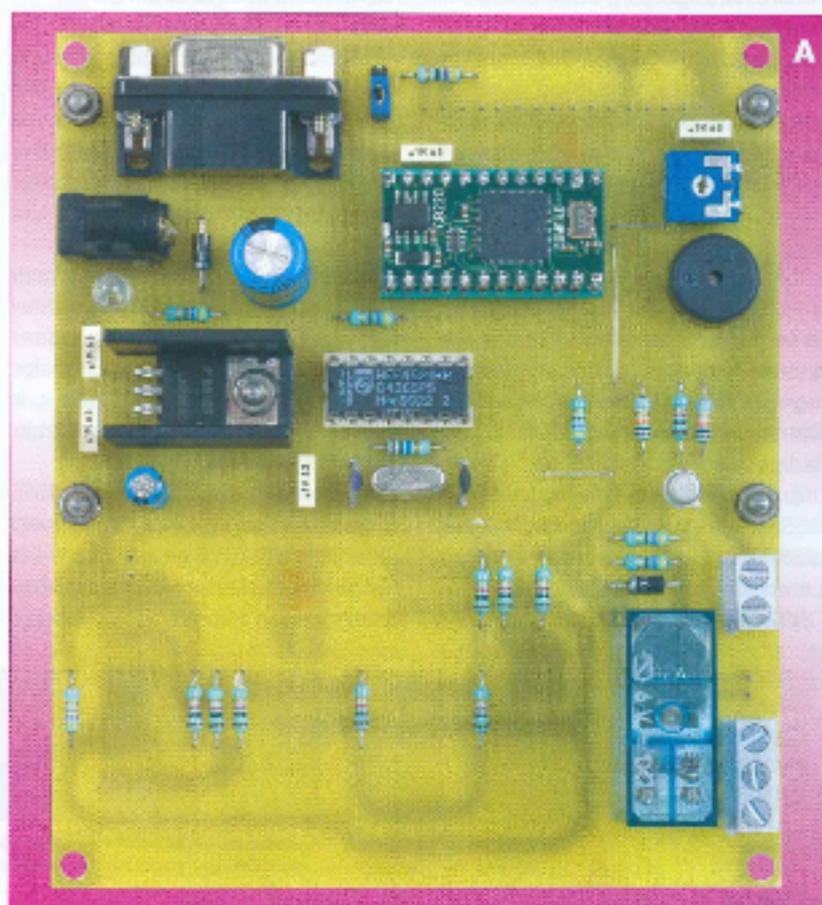
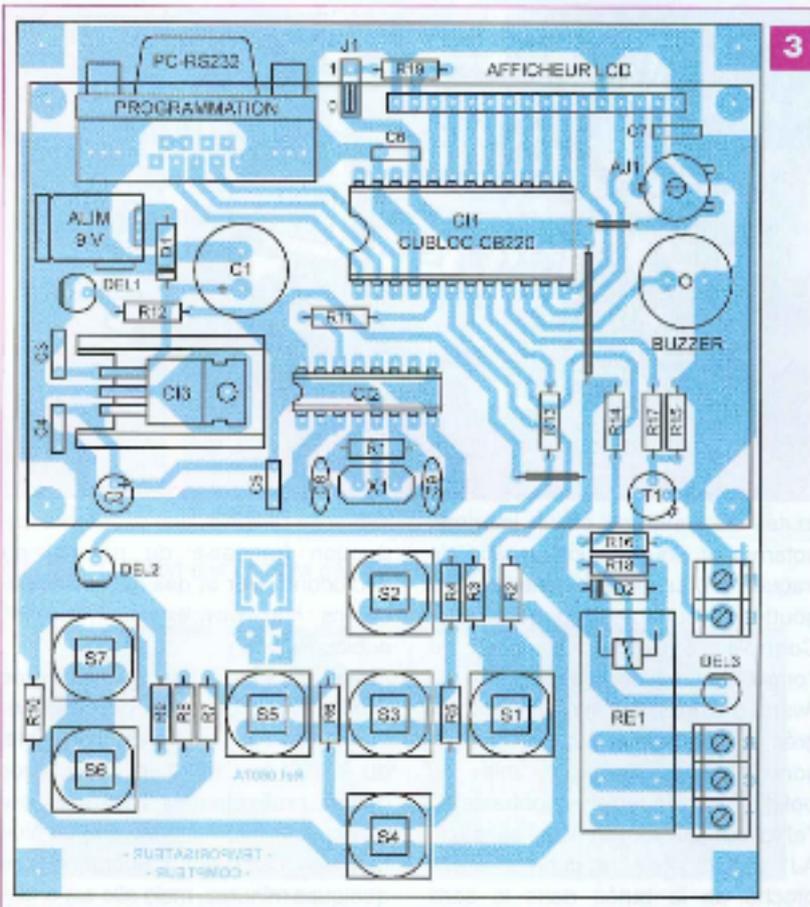
## Divers

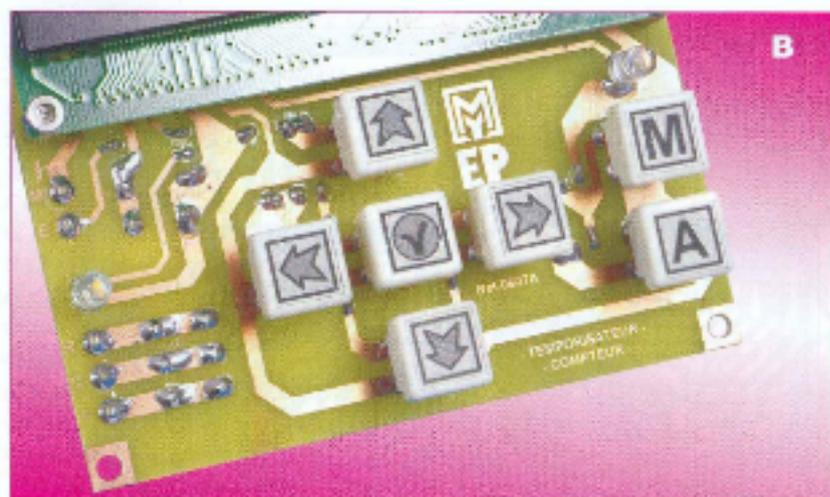
RE1 : Relais Finder ref.4052 bobine en  
 5 ou 6 volts  
 1 Bornier à 2 vis au pas de 5,08 mm  
 1 Bornier à 3 vis au pas de 5,08 mm  
 1 Support de circuit intégré large  
 à 24 broches  
 1 Support de circuit intégré  
 à 16 broches  
 1 Dissipateur thermique ML26  
 pour TO220  
 1 Connecteur d'alimentation de 2,1 mm  
 3 Broches de barrette sécable mâle SIL  
 1 Cavalier de configuration  
 16 Broches femelles de barrette  
 « sécable » type tulipe  
 16 Broches mâles de barrette  
 « sécable » pour type tulipe  
 1 Embase DB9 femelle soudée  
 pour circuit imprimé  
 1 Buzzer piézo ( $\varnothing$  13 mm)  
 S1 à S7 : Touches type « D6 » avec  
 capuchons carrés (Saint-Quentin Radio)  
 X1 : Quartz 4,194304 MHz  
 (Saint-Quentin Radio)  
 Fils souples, rigides et vissaris de 3 mm

l'afficheur. Fixez ensuite l'afficheur à l'aide de vis, entretoises filetées et écrous. Effectuez ensuite les soudures des connecteurs sur l'afficheur et sur le circuit imprimé avec de multiples précautions.

Cette méthode vous assure un niveau et un embrochage parfaits.

Avant la première mise sous tension, il convient de vérifier minutieusement





toutes les pistes du circuit imprimé, notamment sous l'afficheur, afin de traquer la coupure accidentelle ou la goutte de soudure trop généreuse. Contrôlez également la valeur et l'orientation des composants.

Avant d'embrocher les circuits intégrés, assurez-vous que les tensions sont correctes. La seule mise au point consiste à régler le contraste de l'afficheur au moyen de l'ajustable AJ1. Positionnez le curseur assez proche de la butée dans le sens horaire. Les lignes (1) et (3) présenteront des rectangles pleins.

Hors tension et à l'abri des courants statiques, positionnez chaque circuit sur son support.

Attention, le CB220 comme tous les modules, est assez fragile.

## Programmation

### Chargement du programme

Si ce n'est pas déjà fait, téléchargez gratuitement la dernière version du logiciel CublocStudio sur le site de Comfile, fabricant du CB220, à l'adresse suivante:

<http://cubloc.com/data/01.php?PHPSESSID=6836d769e9b501c671c1ee d728827869>

La société Lextronic, distributeur du CB220, offre sur son site Internet à

l'adresse ci-après, une excellente traduction française du manuel du microcontrôleur et des notes d'applications : <http://www.lextronic.fr/Comfile/cubloc/PP.htm>

Après installation du logiciel Cubloc Studio, reliez l'embase de programmation de l'appareil à un port sériel du PC. Si le CB220 est neuf, vous devrez probablement mettre à jour son logiciel interne (*firmware*) à l'aide du menu « SETUP ». L'opération dure quelques minutes, mais elle est entièrement automatisée et simple.

Nous avons développé le programme « TEMPO » destiné à cette réalisation avec de nombreux commentaires afin de permettre aux non initiés de se repérer sans difficulté. Vous le trouverez, comme d'habitude, en libre téléchargement sur notre propre site Internet :

<http://www.electroniquepratique.com>  
Ce programme comporte deux fichiers, l'un à ouvrir dans CublocStudio, qui porte l'extension « .CUL » (décision de Comfile : le fabricant !) et l'autre, indissociable, qui porte l'extension « CUB ».

Les lecteurs n'ayant pas l'opportunité de se connecter à Internet peuvent obtenir nos fichiers en adressant à la rédaction un CD-Rom sous enveloppe auto-adressée suffisamment affranchie.

### Étude du programme

Nous n'allons pas analyser le programme ligne par ligne, ceci sortirait du cadre de cet article, mais voir ensemble les quelques points particuliers et astuces de ce dernier.

Nous rappelons que le basic du Cubloc CB220 vous permet de créer vos propres fonctions et instructions. Il suffit, par la suite, de les appeler simplement par leurs noms, éventuellement suivis des variables à passer, de la même manière que les commandes du constructeur. Notre programme en utilise dans de larges proportions, voyez par exemple les instructions destinées à l'afficheur LCD.

### Comment produire et afficher des caractères géants

Les afficheurs LCD disposent en mémoire d'une table de caractères ASCII et de huit emplacements prévus pour définir vos propres caractères. De cette manière, en dessinant huit symboles personnels (figure 4), vous disposez des pièces qui servent à former le caractère géant de votre choix. Dans la pratique, nous créons plusieurs instructions et fonctions, toujours situées en fin de programme. En nous servant de l'une d'elles : « DONNEE », nous définissons les huit caractères de 0 à 7 en mémoire CGRAM de l'afficheur, au tout début du programme.

Les caractères géants sont constitués d'une matrice de seize caractères formés sur quatre colonnes et quatre lignes. Pour notre application, ce sont les dix chiffres de 0 à 9 (figure 5), mais il serait tout à fait possible de créer d'autres caractères, comme les lettres ou divers symboles. Pour constituer le chiffre géant à l'écran, nous plaçons quatre symboles précédemment créés sur la première ligne à la colonne voulue, puis sur les trois autres lignes, toujours à partir de la même colonne. Pour cela, nous uti-

4

Dessins de huit symboles personnels



Caractère redéfini  
0



Caractère redéfini  
1



Caractère redéfini  
2



Caractère redéfini  
3



Caractère redéfini  
4



Caractère redéfini  
5



Caractère redéfini  
6



Caractère redéfini  
7

lisons l'instruction personnelle « CHIFFRE », chargée d'analyser quel chiffre entier afficher à partir de la colonne souhaitée, elle-même étant appelée par « AFF\_TEMPS » ou par « AFF\_COMPT ». Le basic du Cubloc permet non seulement de créer vos propres fonctions et instructions, mais affiche également la possibilité de pouvoir les appeler entre elles sur plusieurs niveaux. La figure 6 montre, par exemple, comment inscrire sur l'afficheur « 23 : 59 ».

### Comment lire l'état des sept touches

Comme nous l'avons vu durant l'étude du schéma de principe, le clavier est géré par une entrée analogique. Cette dernière offre une précision de dix bits, c'est à dire qu'une tension de 0 V appliquée sur cette entrée renvoie la valeur 0, alors qu'un potentiel maximum de + 5 V donne 1024. Une touche actionnée envoie vers l'entrée une tension comprise dans cette fourchette.

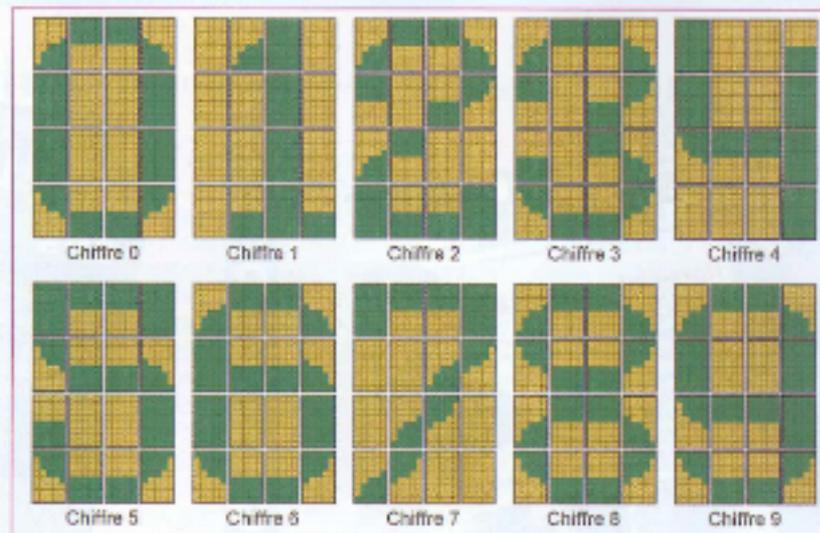
Le programme, via la fonction personnelle « CLAVIER », analyse la valeur analogique et retourne le nom de la touche appuyée de 1 à 7, ou 0 s'il n'y a eu aucune action sur le clavier. Par sécurité, compte tenu de la disparité thermique des composants, la valeur lue est interprétée avec une tolérance de +20 et -20.

Une autre instruction personnelle concerne le clavier, il s'agit de « ANTIREB » qui a pour tâche d'attendre le relâchement de la touche avant de prendre en compte son action. Il suffit pour cela d'appeler la fonction « CLAVIER » au sein d'une boucle sans fin, la sortie de cette boucle est conditionnée par la libération de la touche en question.

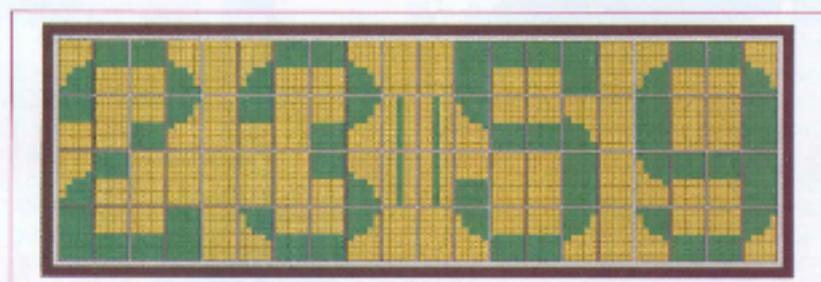
### Comment prendre en compte les secondes

Nous avons, là aussi, développé une instruction nommée « DECOMPTE ». Celle-ci lit l'état logique de l'entrée P0, où arrivent les impulsions de la base de temps et place la valeur dans la variable « TOPH ». Son interprétation sert à gérer directement la led des secondes.

Une variable temporaire « DTOP » est utilisée afin de ne pas prendre en



5 Création des chiffres géants de 0 à 9



6 Un affichage géant avec un écran traditionnel 4 x 20 caractères

compte plusieurs fois de suite un même niveau logique. À chaque impulsion, les secondes sont décrémenteées. Si la variable prend la valeur 255, cela signifie qu'elle est descendue en dessous de 0 car elle est de type « byte » ou octet. La valeur 59 lui est alors attribuée pour recommencer un cycle de décompte. Le corps du programme, hors de cette procédure, se charge de décrémenteer les minutes, les heures et de les afficher sur l'écran LCD.

### Utilisation du temporisateur-compteur

Ce mode d'emploi succinct va vous familiariser avec l'utilisation de cet appareil. Sept touches permettent de tout commander. Cinq d'entre elles sont disposées en croix et servent à paramétrer le mode de fonctionnement, le temps à décompter ou le nombre d'événements externes à compter. Celle du haut de la croix incrémente une valeur, celle du bas la décrémente. Les deux, à gauche et à droite, permettent de changer de

valeur (par exemple : dizaines de minutes, unités de minutes, dizaines de secondes, etc.). La touche centrale valide la saisie de paramètres.

Le temporisateur-compteur électronique fonctionne sous trois modes signalés sur l'écran qu'il convient de sélectionner avec les touches. Après le message de présentation, vous entrez directement dans le mode « temporisateur minutes-secondes ». Le suivant concerne le mode « temporisateur heures-minutes » et le dernier le mode « comptage d'événements externes ».

Après validation, vous devez configurer le temps ou le nombre d'événements à l'aide des touches, comme précisé ci-dessus. En cas d'erreur, il est toujours possible d'annuler en appuyant sur la touche (bas-droite) et revenir au menu précédent.

Deux autres touches sont placées à droite. Celle du haut lance une temporisation ou un comptage et active le relais, celle du bas stoppe ou annule un paramètre.

Y. MERGY

# Programmateur à relais avec horloge « temps réel »

Nous vous proposons de réaliser une platine autonome équipée d'une horloge « temps réel » permettant de commander indépendamment six relais selon des programmations horaires, journalières, mensuelles ou encore annuelles.

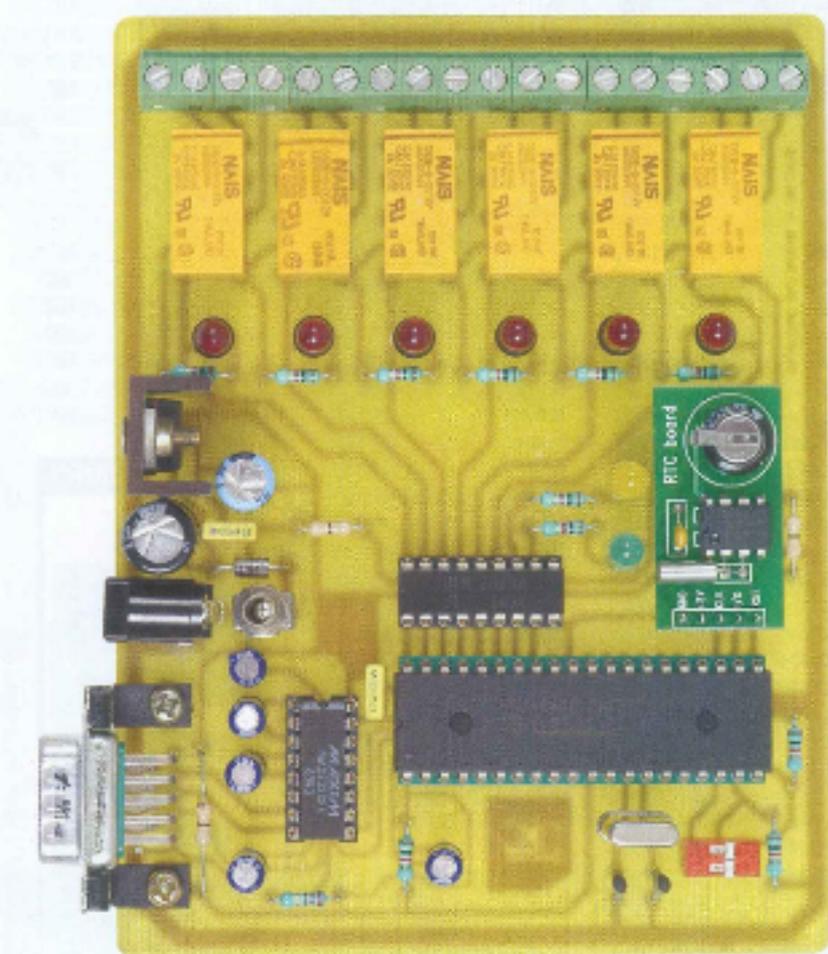
**S**a carte électronique est basée sur un microcontrôleur PIC et une horloge « temps réel » (HTR). Ce montage permet de commander six relais selon des configurations horaires définies à partir d'un logiciel dont l'IHM (Interface homme machine) a été simplifiée à sa plus simple expression.

Cette carte trouvera de nombreuses applications, que ce soit pour piloter un chauffage ou encore simuler une présence, tout en étant autonome une fois la programmation horaire effectuée.

## Principe de fonctionnement

Le schéma de principe est donné en figure 1. Les sorties RB2 à RB7 du port B du microcontrôleur PIC 16F877 viennent chacune piloter un relais via un ULN 2803. Lequel, rappelons-le, possède en interne huit buffers équipés de diodes de « roue libre », circuit spécialement conçu pour piloter des charges.

Le microcontrôleur PIC 16F877/20P est cadencé à 20 MHz. Il est interfacé avec le port série d'un PC (celui-ci permettant la programmation des enclenchements-déclenchements des relais) via le circuit MAX 232 qui remet en forme les signaux issus du PC vers le PIC, et inversement.



La liaison série est paramétrée côté PC et microcontrôleur en 9 600 bauds, 8 bits de données, aucune parité et 1 bit de stop. L'alimentation du montage est assurée par un régulateur de type 7805. La consommation du montage, lorsque tous les relais sont pilotés, est de l'ordre de 200 mA sous 12 V. Une diode de protection de type 1N4007 permet d'éviter les inversions d'alimentation du montage.

Les relais sont du type 12 V et autorisent un courant de 2 A sous 12 V= ou encore 0,6 A sous 125 Vac. Pour des puissances supérieures, il conviendra, bien entendu, de piloter un relais de puissance avec le relais de la platine (figure 2).

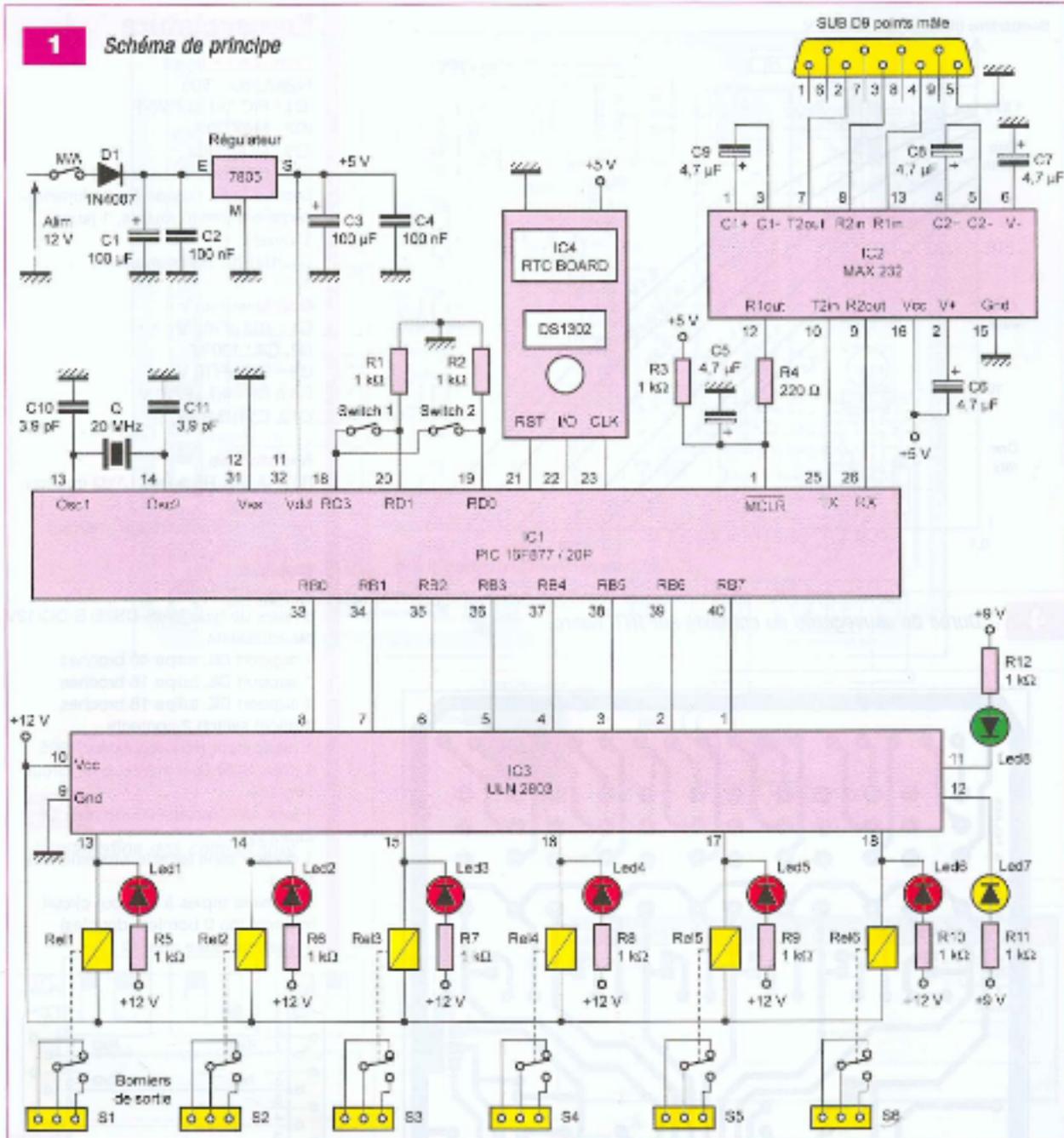
La pièce maîtresse du circuit est sans

aucun doute l'horloge « temps réel » (Real Time Clock), circuit composé d'une mémoire type DS1302 dont la logique interne permet d'obtenir, selon les oscillations d'un quartz, une date composée de l'année, du mois, du jour du mois, du jour de la semaine, de l'heure, des minutes et, enfin, des secondes.

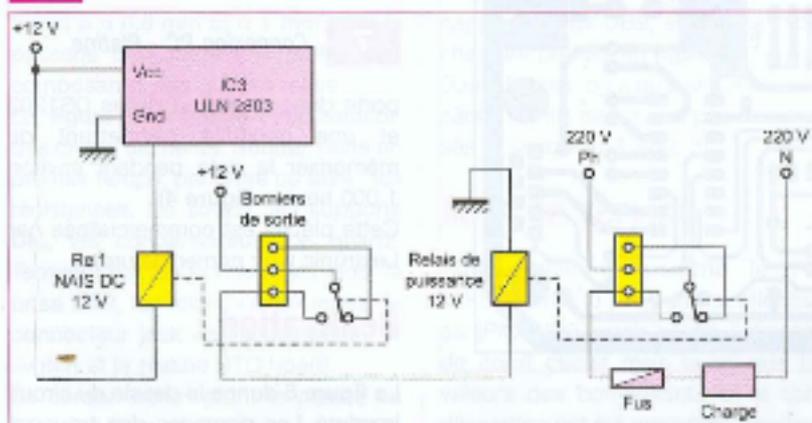
Il est à signaler que ce circuit tient compte des années bissextiles. Un essai consistera, sur le montage, à indiquer la date du 28 février 2004 à 23h59. Une minute plus tard, l'horloge passera alors au 29 février 2004 puisque, cette année là, nous avons vingt-neuf jours au mois de février.

Le circuit RTC board (figure 3), qui est implanté dans le montage, com-

## 1 Schéma de principe

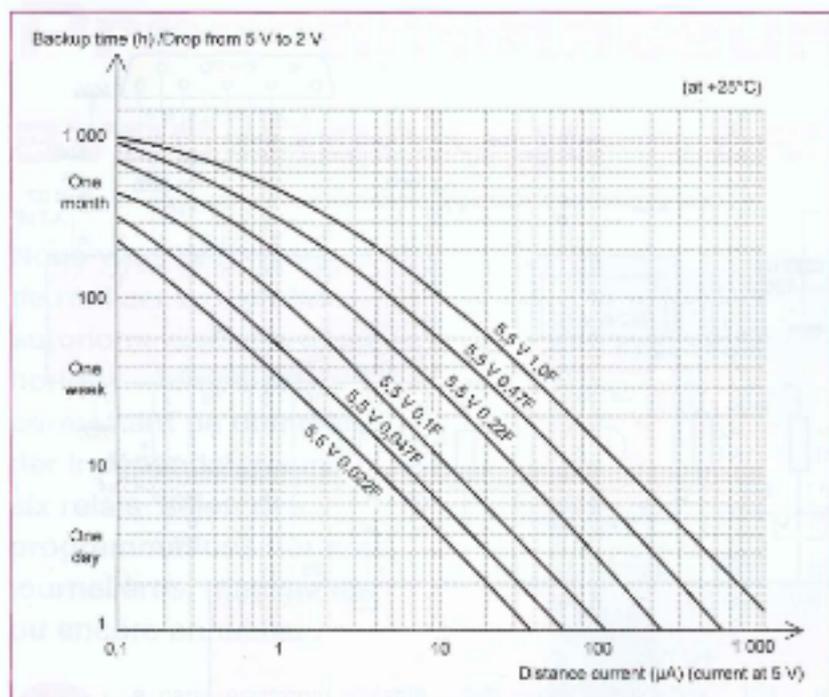


## 2 Exemple de pilotage d'une charge en 220 V

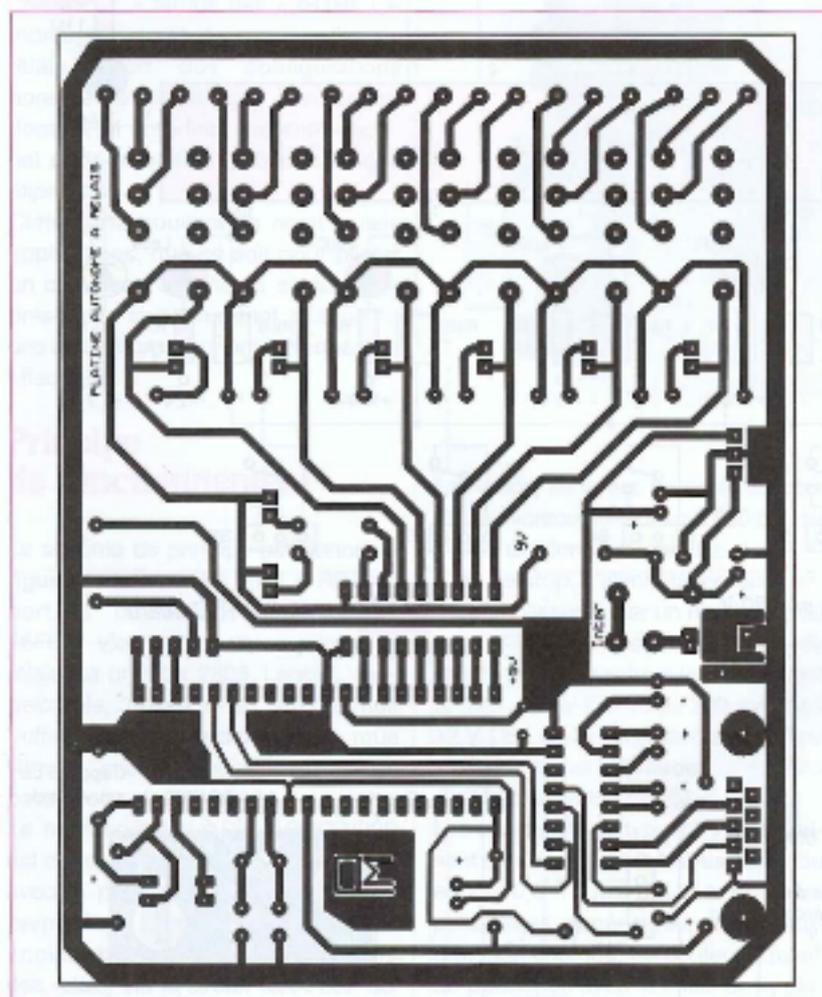


## 3 La platine RTC Board





**4** Durée de sauvegarde du contexte sur RTC board



**5** Le circuit imprimé

## Nomenclature

### Semiconducteurs

Régulateur 7805  
 IC1 : PIC 16F877-20/P  
 IC2 : MAX 232  
 IC3 : ULN 2803  
 IC4 : RTC Board (Lextronic)  
 Led 1 à led 8 : diode électroluminescente ø 5 mm (6 rouges, 1 jaune, 1 verte)  
 D1 : 1N4007 ou équivalent

### Condensateurs

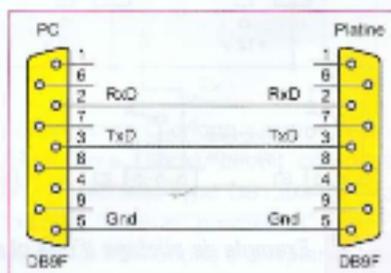
C1 : 100 µF/83 V  
 C2, C4 : 100 nF  
 C3 : 100 µF/10 V  
 C5 à C9 : 4,7 µF/10 V  
 C10, C11 : 3,9 pF

### Résistances

R1, R2, R3, R5 à R12 : 1kΩ (marron noir rouge)  
 R4 : 220 Ω (rouge rouge marron)

### Divers

1 quartz 20 MHz  
 6 relais de type NA1S-DS2E-S-DC/12V ou équivalent  
 1 support DIL tulipe 40 broches  
 1 support DIL tulipe 16 broches  
 1 support DIL tulipe 18 broches  
 1 micro switch 2 contacts  
 1 dissipateur pour régulateur 7805  
 1 prise SUB-D, 9 points, pour circuit imprimé  
 1 jack alim. femelle coudé pour CI (5,5 x 2,1)  
 1 cordon série femelle - femelle (voir texte)  
 6 borniers triples à vis pour circuit imprimé (ou 9 borniers doubles)  
 1 inter miniature pour CI

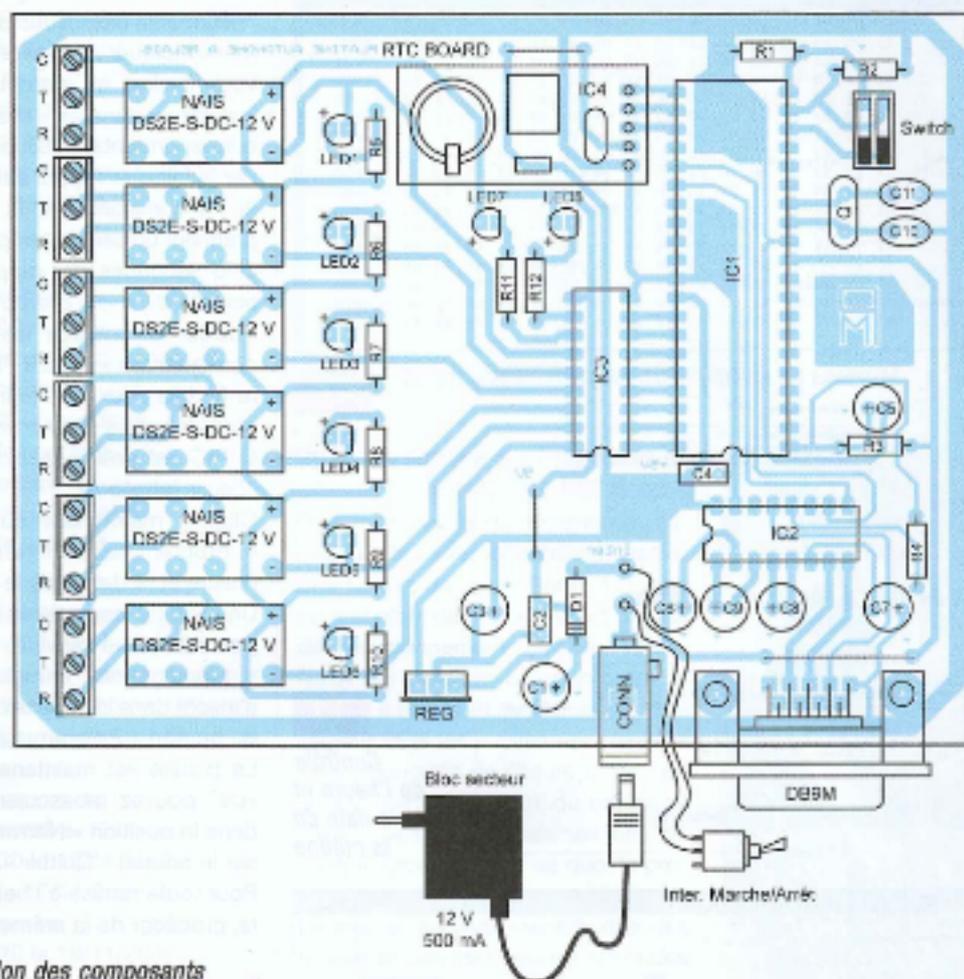


**7** Connexion PC - Platine

porte donc un circuit Dallas DS1302 et une capacité permettant de mémoriser la date pendant environ 1 000 heures (figure 4). Cette platine est commercialisée par Lextronic (voir nomenclature).

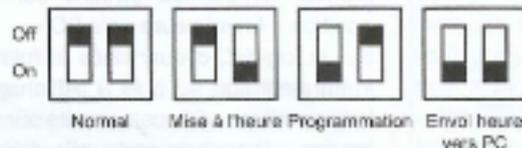
## Réalisation

La figure 5 donne le dessin du circuit imprimé. Les perçages des trous se



6

Implantation des composants



8

Configuration des deux switches



9

Configuration du port série

feront à  $\varnothing$  0,8 mm et  $\varnothing$  1 mm pour le passage plus large des pattes des composants, tels que les relais.

La figure 6 présente l'implantation des divers éléments. Souder, dans un premier temps, par ordre de taille : les résistances, les straps, les supports DIL, les condensateurs, le quartz. Terminer par les borniers, les leds, la prise DB9, les relais, l'interrupteur, le connecteur jack de l'alimentation, le switch et la platine RTC board.

Le cordon série reliant la platine au PC peut être réalisé avec du fil en

nappe et deux DB9, suivant le branchement précisé en figure 7.

Dans le cas où vous achèteriez ce câble, les fils ne doivent pas être croisés (2 avec 2 et 3 avec 3).

### Mise en service

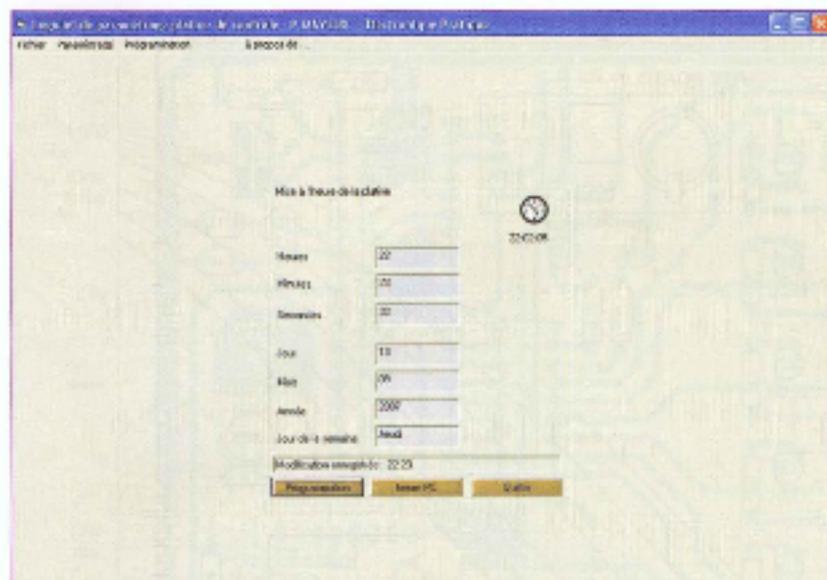
Après avoir programmé le PIC 16F877 avec le programme téléchargé (PIC.HEX), avoir vérifié l'absence de court circuit mais aussi que les valeurs des composants et le sens d'insertion ont été respectés, position-

ner les switches sur « Off » (figure 8). Alimenter le montage avec un bloc secteur (500 mA/12 V).

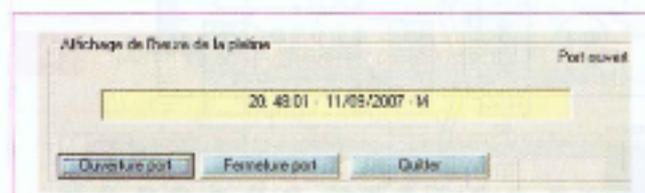
Une fois le montage mis sous tension, basculer l'interrupteur. Les leds 7 et 8 (jaune et verte) doivent s'allumer toutes deux, puis la led 8 (verte) doit clignoter seule, indiquant le bon fonctionnement du programme.

### Mise à l'heure du montage

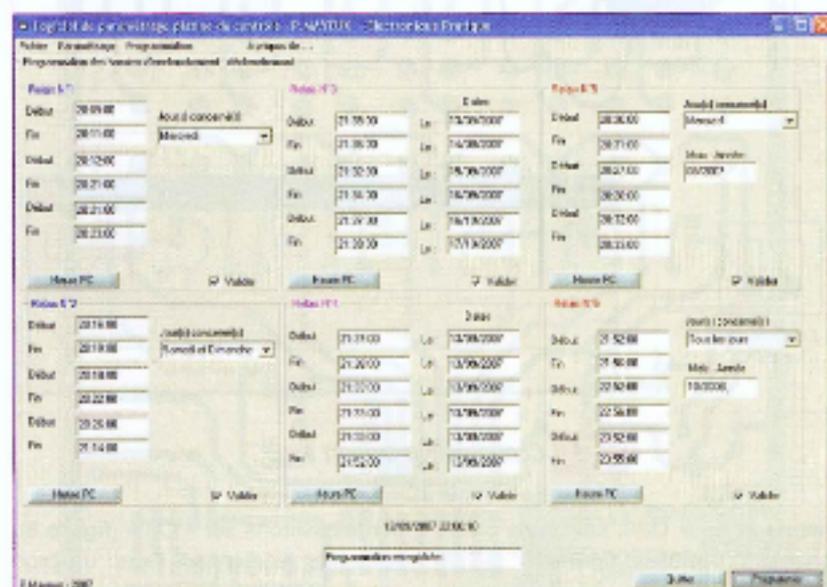
La première chose à faire est, bien sûr, de mettre notre platine à l'heure et à la date du jour. Dans un premier



**10** Écran de mise à l'heure de la platine



**11** Contrôle de l'heure et de la date de la platine



**12** Écran de programmation des horaires

temps, connecter la platine via un câble série, tel que défini en figure 7, et lancer le logiciel que vous avez téléchargé (*Platine\_htr.exe*). Pour vérifier que vous êtes connectés sur le bon port série, cliquer dans le menu « Paramétrage », puis « Port COM » et configurer si besoin.

Par défaut, c'est le COM1 qui est choisi, la configuration est ensuite mémorisée dans un fichier « ini », (figure 9). Cliquer ensuite dans le menu « Paramétrage », puis « Mise à l'heure platine » (figure 10). Cliquer sur le bouton « Heure PC » qui permet de

rafraîchir les « champs » indiquant l'heure et la date. Vous pouvez également indiquer la date et l'heure que vous désirez en entrant directement les valeurs dans les « champs » textes correspondants. Vous pouvez anticiper le fait que l'appui sur le bouton et la mémorisation par la platine HTR prennent un certain temps en ajoutant cinq secondes par rapport à l'heure actuelle dans le « champ seconde ». Positionner ensuite les switches en configuration « mise à l'heure » (figure 8). Les deux leds jaune et verte (7 et 8) doivent s'allumer, indiquant que le PIC est prêt à recevoir la mise à l'heure (photo A).

Cliquer maintenant sur le bouton « Programmation » afin d'envoyer l'heure et la date vers le PIC. Une fois les paramètres réceptionnés par celui-ci, il renvoie un message « Modifications enregistrées » qui s'inscrit dans la zone texte au-dessus du bouton « Programmation ». La platine est maintenant à l'heure, vous pouvez rebasculer les switches dans la position « Normal » et cliquer sur le bouton « Quitter ». Pour toute remise à l'heure éventuelle, procéder de la même façon.

## Contrôle de l'heure de la platine

Il est possible de contrôler l'heure de la platine en positionnant, dans un premier temps, les switches sur la position « Envoi heure vers PC ». Sur le logiciel, cliquer dans le menu « Paramétrage », puis « Affichage heure platine ». Cliquez ensuite sur le bouton « Ouverture port » afin d'établir la liaison avec le PIC. La date ainsi que l'heure sont alors renvoyées dans la zone texte au-dessus des boutons. Une fois l'heure et le jour contrôlés cliquer sur le bouton « Fermeture port » et « Quitter » (figure 11).

## Mode programmation des enclenchements/déclenchements des relais

Les six relais présents sur la platine sont divisés en trois groupes de deux.

### Relais 1 et 2

Les deux premiers relais (relais 1 et 2) peuvent être commandés pour un

jour particulier de la semaine tel que :

- Lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi, dimanche

- Tous les jours

- Lundi à vendredi

- Samedi et dimanche

Sur trois plages d'enclenchement/déclenchement (heure de début - heure de fin).

Exemple :

• 1<sup>re</sup> plage horaire

Début à 21h20 le vendredi

Fin à 22h00 le vendredi

• 2<sup>e</sup> plage horaire

Début à 01h20 le vendredi

Fin à 02h10 le vendredi

• 3<sup>e</sup> plage horaire

Début à 03h20 le vendredi

Fin à 04h00 le vendredi

### Relais 3 et 4

Les relais 3 et 4 peuvent être commandés pour une date précise sur trois plages d'enclenchement/déclenchement (heure de début - heure de fin).

Exemple :

• 1<sup>re</sup> plage horaire

Début à 21h20 le 15/11/2007

Fin à 22h00 le 17/11/2007

• 2<sup>e</sup> plage horaire

Début à 01h20 le 19/11/2007

Fin à 02h10 le 19/11/2007

• 3<sup>e</sup> plage horaire

Début à 21h20 le 20/11/2007

Fin à 22h00 le 17/11/2008

### Relais 5 et 6

Les relais 5 et 6 peuvent être commandés pour un jour précis d'un mois et d'une année sur trois plages d'enclenchement/déclenchement (heure de début - heure de fin).

Exemple :

• 1<sup>re</sup> plage horaire

Début à 21h20 tous les jours du mois de novembre 2007

Fin à 22h00 tous les jours du mois de novembre 2007

• 2<sup>e</sup> plage horaire

Début à 01h20 tous les jours du mois de novembre 2007

Fin à 02h10 tous les jours du mois de novembre 2007

• 3<sup>e</sup> plage horaire

Début à 21h20 tous les jours du mois de novembre 2007

Fin à 22h00 tous les jours du mois de novembre 2007

| Address | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 0A | 0B | 0C | 0D | 0E | 0F | ASCII                  |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|
| 0C00    | 20 | 09 | 20 | 11 | 20 | 12 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 23 | 04 | 01 | 20 | 16 | . . . ! # . .          |
| 0C10    | 20 | 10 | 20 | 19 | 20 | 22 | 20 | 26 | 21 | 14 | 00 | 01 | 21 | 35 | 21 | 36 | . . * & !...1516       |
| 0C20    | 21 | 32 | 21 | 34 | 21 | 37 | 21 | 39 | 13 | 09 | 07 | 14 | 09 | 07 | 15 | 09 | 12141719               |
| 0C30    | 07 | 16 | 09 | 07 | 16 | 10 | 07 | 17 | 10 | 07 | 01 | 21 | 37 | 21 | 30 | 21 | .....17101             |
| 0C40    | 23 | 21 | 33 | 21 | 35 | 21 | 32 | 13 | 09 | 07 | 13 | 09 | 07 | 13 | 09 | 07 | 313131R.....           |
| 0C50    | 13 | 09 | 07 | 13 | 09 | 07 | 13 | 09 | 07 | 01 | 20 | 30 | 20 | 31 | 20 | 27 | ..... 0 1 *            |
| 0C60    | 20 | 20 | 20 | 32 | 20 | 33 | 04 | 00 | 09 | 07 | 01 | 21 | 52 | 21 | 56 | 22 | { 2 3 .....1819*       |
| 0C70    | 52 | 22 | 56 | 23 | 52 | 23 | 35 | 04 | 00 | 10 | 00 | 03 | FF | FF | FF | FF | R*VR6R0.....           |
| 0C80    | FF | .....                  |
| 0C90    | FF | .....                  |
| 0CA0    | FF | .....                  |
| 0CB0    | FF | .....                  |
| 0CC0    | FF | 40 | 54 | 52 | 20 | 76 | 65 | 72 | 73 | ..... RT2 vece         |
| 0CD0    | 69 | 6F | 6E | 20 | 31 | 2E | 30 | 20 | 29 | 20 | 20 | 63 | 29 | 20 | 50 | 2E | ..... loc 1.0 - (c) P. |
| 0CE0    | 40 | 61 | 70 | 65 | 75 | 70 | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 2F | 32 | 30 | 30 | 37 | ..... Regaux - 00/2007 |
| 0CF0    | FF | .....                  |

13

La programmation est sauvegardée en EEPROM

### Mise en œuvre du mode programmation des horaires

Depuis le logiciel de commande, cliquer sur le menu « Programmation ». Une fenêtre de saisie (figure 12) vous permet alors de renseigner les modes de fonctionnement des six relais. Noter au passage qu'un clic sur le bouton « Heure PC » permet de renseigner tous les « champs » avec la valeur courante de l'heure et du jour du PC. Ne pas oublier de cocher la case « Valider », située en bas de chaque groupe, faute de quoi la programmation de ce relais sera inactive. Le logiciel ne tient compte que des heures et des minutes, les secondes étant ignorées.

Une fois les différents paramétrages effectués, positionner les switches sur « programmation ». La led jaune s'allume alors en fixe (led 7) et la led verte s'éteint, indiquant le mode programmation. Cliquer sur le bouton « Programmer » pour transférer les informations vers le PIC. La led jaune s'éteint, puis se rallume. À ce stade, un message est envoyé du PIC vers le PC « Programmation enregistrée », message qui s'inscrit dans la zone « texte » en bas de l'écran. La programmation est transférée et vous pouvez repositionner les switches en mode normal.

Si une des plages horaires que vous avez programmée est valide, alors le relais correspondant est activé et la led de visualisation qui lui correspond est allumée. Lorsque la plage de fin est atteinte, le relais est désactivé jusqu'au prochain pilotage. Lors du transfert, le PC envoie 123 octets vers le PIC qui stocke ceux-ci, d'une part dans un tableau dynamique et,



d'autre part, dans sa mémoire EEPROM, ce qui permet de conserver la programmation, même en cas de coupure du secteur (figure 13).

Avant de transférer les octets vers la platine, le logiciel enregistre les programmations horaires dans le fichier « param.ini ». Ainsi, à la prochaine ouverture de l'exécutable, vous retrouvez vos programmations.

Vous pouvez également, à tout moment, enregistrer les programmations dans un autre fichier depuis le menu « Fichier », puis « Enregistrer sous », ce qui permet d'avoir plusieurs configurations horaires.

Pour ouvrir un fichier de programmation, cliquer dans le menu « Fichier », puis « Ouvrir ». Les nouvelles programmations issues du fichier remplacent celles existantes.

## Reprise après coupure du secteur 230 V

Dans le cas d'une coupure de secteur d'une durée inférieure à mille heures (capacité de sauvegarde de mémorisation de l'horloge HTR), au cours du redémarrage, le PIC va lire le contenu de sa mémoire EEPROM et retranscrire les valeurs enregistrées lors de la programmation dans le tableau dynamique utilisé dans le programme courant. Ainsi, si la date et l'heure de l'horloge « temps réel » correspondent à un créneau horaire d'un relais, celui-ci est commandé dès que le secteur est rétabli. Il est également possible d'ajouter un accumulateur externe pour éviter les coupures. Cette solution évite, par exemple, à un relais de se désenclencher, puis de se réenclencher.

## Programme du PIC

### Principe retenu

Une fois les plages horaires transférées dans le programme principal et rangées dans un tableau, le micro-

contrôleur PIC va lire à chaque seconde les valeurs de la date et de l'heure courante gérées par l'horloge « temps réel ».

Dans un deuxième temps, le PIC va comparer chaque plage horaire avec la valeur de la date et de l'heure courante. Si, lors de la comparaison, la date et l'heure courante sont supérieures à la date et l'heure de début d'enclenchement d'un relais, alors le programme commande la sortie correspondante. Si, lors d'une boucle suivante, la date et l'heure courante sont supérieures à la date et l'heure de fin d'enclenchement d'un relais, alors le PIC stoppe la commande du relais concerné.

Le programme occupe environ 45 % de la mémoire totale du microcontrôleur PIC. Il se nomme « PIC.hex » et se trouve dans le fichier ZIP à télécharger sur notre site internet ([www.electroniquepratique.com](http://www.electroniquepratique.com)).

### Le logiciel de commande

Le logiciel est réalisé en Visual Basic 5, celui-ci pourra, bien sûr, être lancé

depuis une clé USB. Il fonctionne avec les versions 9x et XP de Windows. Vous pouvez également le télécharger gratuitement sur notre site internet.

## Conclusion

L'emploi d'une horloge « temps réel » dans un montage est un véritable atout qui permet à un microcontrôleur d'auto dater des événements ou bien de déclencher des actions à des horaires précis, application que l'on vient de découvrir. L'emploi d'un microcontrôleur, comme vous le remarquez, simplifie énormément le schéma. Quant au développement du logiciel, l'une des difficultés reste sans doute les conversions d'horaires entre le PC, le microcontrôleur et l'horloge « temps réel ».

Ses applications sont nombreuses, de la robotique à la simulation de présence, sans oublier la domotique, bien sûr.

P.Mayeux

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

# Le catalogue 2008 est arrivé !

# 6500 produits avec plein de nouveautés

# CYCLADES ELECTRONIQUE

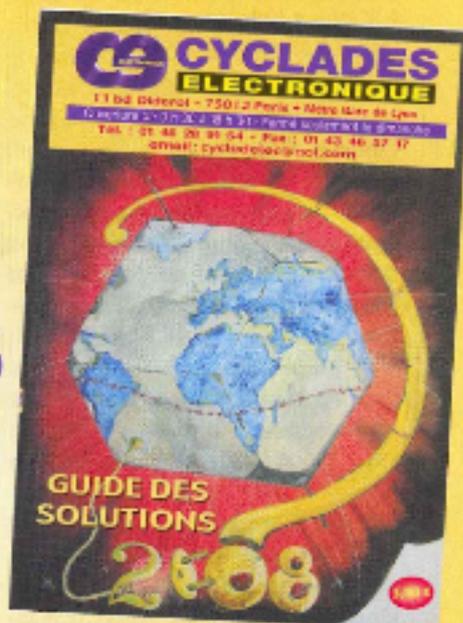
## BON DE COMMANDE

Je souhaite recevoir le catalogue **Cyclades Electronique 2008** et je joins mon règlement de 3,80 € + 3 € de frais de port, soit 6,80 €

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : ..... Ville : .....



**11 bd Diderot  
75012 Paris**

**Tél. : 01 46 28 91 54**

**Fax : 01 43 46 57 17**

**email : [cycladelec@aol.com](mailto:cycladelec@aol.com)**

**[www.cyclades-elec.fr](http://www.cyclades-elec.fr)**

ANALYSE DES MONTAGES ÉPROUVÉS

# L'amplificateur MC30 de Frank Mc Intosh

Après le C22, voici l'autre vedette de la firme Mc Intosh : le MC30. Nous avons choisi de vous montrer l'« original », le « vrai », pas chromé, peint en « grisouille ». Cette version professionnelle destinée aux cinémas et aux studios est née en 1954 avec le cinémascope. Succédant à la version « A116 », le MC30 professionnel est rigoureusement identique au MC30 chromé grand public. Il se nomme A116B (ou A 123 pour Westrex/Western Electric).



**D**es différences ? Uniquement au plan de la construction et, en particulier, les transformateurs d'alimentation et de sortie dont les connexions sont réalisées sur perles en verre (voir photo A, connexions directes par fils pour les versions grand public).

Ces quelques différences sont justifiées par l'utilisation intensive des engins professionnels, en particulier dans les cinémas permanents de l'époque (24 heures sur 24 aux Etats-Unis !).

Sachez que quatre MC30 attaquant des voix du théâtre A7 suffisaient à sonoriser en stéréo et surround (cinémascope) une salle de cinq cents à mille places.

Quant au MC60, plus puissant mais

de conception rigoureusement identique, six suffisaient pour faire trembler les fauteuils du Gaumont Palace (six mille cinq cents places !), à l'époque la plus grande salle d'Europe (enceintes A1 Altec).

En 1949, la Western Electric fut victime de la loi anti-trust américaine. La société se débarrassa des marques Mc Intosh, Altec, Pultech, entre autres. Ces entités devinrent des sociétés autonomes.

Dès 1949, Frank Mc Intosh et Gordon Gow eurent l'idée géniale de lancer sur le marché l'ancêtre des MC30, 60 et 75, à savoir le 50 W1, et dès 1950, le 50 W2, accompagné pour les professionnels par le A116.

Le 50 W2 était équipé de 807, simples tétrodes aux caractéristiques équivalentes à la 6L6.

Le A116 était, lui, équipé de la « sœur » renforcée de la 807, la 6BG6C.

Le succès fut immédiat, les performances de ces amplificateurs écrasaient celles des concurrents de l'époque (et même aujourd'hui celles de beaucoup de nos amplificateurs modernes !).

La première raison de cette qualité est visible comme le nez au milieu de la figure : l'imposant transformateur de sortie.

La seconde raison, bien plus discrète mais certainement à la base des extraordinaires performances de ces appareils, c'est le circuit.

Alors, avant que nous ne débutions l'étude, reportez-vous à nos précédents cours, en particulier à ceux concernant les push-pull et les inverseurs de phase.

## L'étage de sortie et son driver

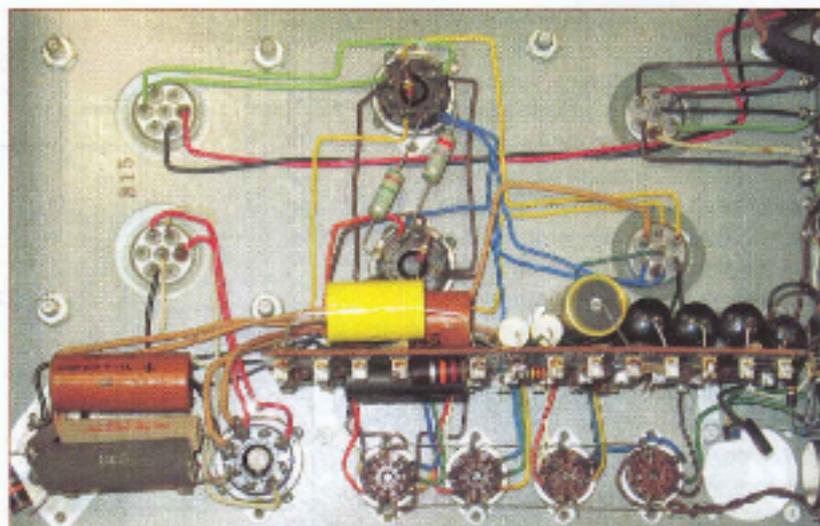
Sachez que tous les Mc Intosh fonctionnent en push-pull classe B. En effet, n'oubliez pas que l'utilisation de ces appareils était, à l'origine, professionnelle. Or, seule la classe B peut garantir un fonctionnement des tubes de puissance de l'ordre de 5 000 à 6 000 heures (pas de débit au repos) et seule la classe B permet de « tirer » de la puissance de simples 6L6 (de 30 à 50 watts), sans les épuiser.

Malheureusement, les problèmes de la classe B à tubes sont différents de ceux posés par les transistors. La distorsion dite « de croisement » est faible. En contrepartie, il y a un transformateur de sortie et c'est là que les choses se gâtent...

Jetez un coup d'œil aux figures 1 et 2. Vous savez, qu'en classe B, les deux tubes (ou transistors) fonctionnent alternativement. En clair, ils sont bloqués au repos et, en présence d'un signal, ils vont se débloquent alternativement, chaque tube ne laissant passer que la moitié du signal. Le signal étant appliqué en opposition de phase sur chaque tube, les deux moitiés se reconstituent dans le transformateur de sortie.

On recueille au secondaire la somme des deux demi-signaux, c'est-à-dire le signal complet.

Mais il y a un « hic » : qu'est-ce qu'un transformateur ? C'est avant tout une série de bobinages, autrement dit une « inductance ». Que fait une honnête inductance lorsqu'on interrompt brutalement le courant qui la traverse ? Elle s'oppose violemment à l'interruption du courant. À ses bornes, va apparaître une force contre-électro-



**A** Le MC30 «Pro». Seule différence avec la version grand public : les connexions sur perles en verre des transformateurs

motrice (f.c.e.m.) d'autant plus élevée que le courant était intense et le nombre de tours de fils constituant la bobine important.

À l'extrême c'est le dispositif d'allumage classique d'une automobile. Dans ce cas, la f.c.e.m. est tellement élevée que cela se traduit par un claquage et une étincelle à la bougie.

Dans un transformateur push-pull, il y a deux enroulements : deux demi-primaires couplés par l'intermédiaire du circuit magnétique. Chaque interruption brutale dans l'un des demi-primaires (cas de la classe B) va, par induction, provoquer un courant induit dans le second.

Si l'on observe la tension résultante aux bornes du secondaire (figure 2), on se trouve en présence d'un accident redoutable qui va altérer la forme du signal de sortie. Cette horrible chose qui fait dresser les cheveux sur la tête et écorche les oreilles porte un nom : on l'appelle « distorsion transitoire de commutation ».

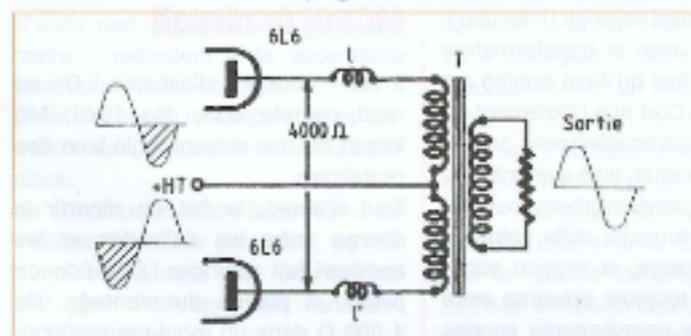
Les Anglo-Saxons la nomment « notch distortion ». Contrairement à la distorsion de croisement, elle va croître avec la puissance du signal. C'est le son « zigant » de certains amplificateurs à tubes, car il faut bien le dire ici, tous les amplis à tubes ne sont pas bons, loin s'en faut....

Dès 1936, le scientifique sino-américain A. Pen-Tug Sah étudia ce phénomène dans le détail car, à l'époque, presque tous les amplificateurs push-pull présentaient cette anomalie. Sah arriva aux conclusions suivantes :

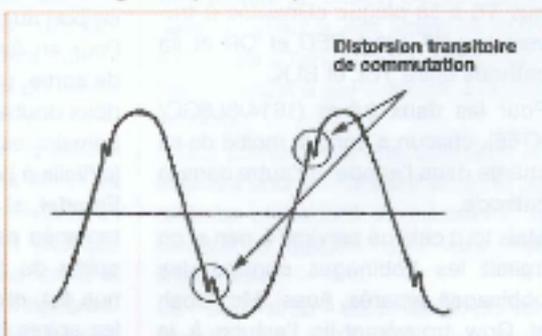
- Plus l'impédance des enroulements est élevée (donc plus il y a de tours de fil), plus le phénomène est important.
- Pour que la f.c.e.m. d'un enroulement induise une tension, donc un courant dans l'autre, il faut qu'il y ait des fuites de champs magnétiques entre les deux enroulements.

Ces conclusions en forme de lapalissades semblent évidentes, bien que

**1** Disposition théorique classique d'un push-pull en classe B. A la sortie, signal reconstitué



**2** Allure réelle du signal de sortie de la figure 1 (voir texte)



la démonstration mathématique de Sah s'étend sur plusieurs pages parfaitement indigestes !

Donc, deux solutions se présentent. Dans la première, on oublie la classe B et on fonctionne en classe A (ici le courant ne s'interrompt pas). Cela s'est pratiqué longtemps et se pratique toujours chez certains constructeurs qui maîtrisent mal la fabrication des transformateurs avec, en contrepartie, un rendement lamentable, un taux de distorsion élevé (voir nos précédents cours) et, en prime, une usure des tubes ultra-rapide.

Ou alors, autre solution, on s'appelle Frank Mc Intosh et Gordon Gow et on s'entête (ils ont été copiés depuis par la quasi totalité des fabricants de transformateurs destinés à la classe AB bien que les moins sensibles à la « notch distortion » ne peuvent l'ignorer).

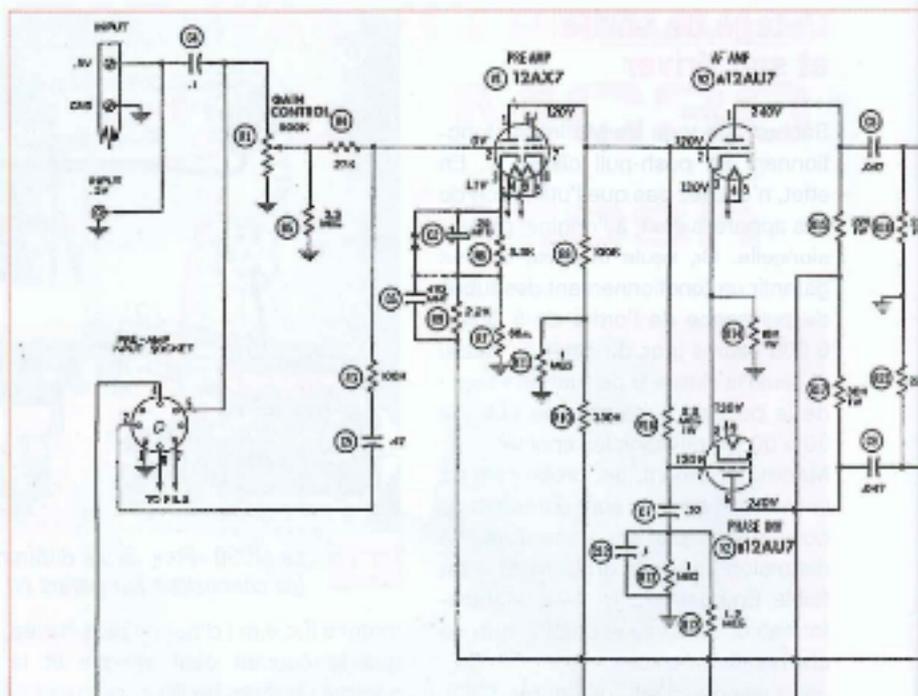
Mc Intosh et Gow étudièrent un transformateur particulier où les fuites entre les deux demi-primaires sont hyper réduites. D'après Sah, le rapport self primaire/self de fuite doit atteindre 1/80 000<sup>e</sup> au minimum.

La solution adoptée fut radicale : fractionner les deux demi-primaires (soit quatre portions pour deux tubes) et s'arranger pour que deux portions voisines du même primaire, qui doit être considéré comme un bobinage unique, se trouvent toujours au même potentiel, du moins en ce qui concerne le signal audio.

Dans ce dessin, il faut alimenter une moitié du primaire par la plaque de l'une des lampes finales et l'autre par la cathode de la lampe opposée (figure 3). La plaque de V5 (par exemple) est alimentée à travers le +HT par le demi-enroulement de T2 entre BLUE et RED. Sa cathode est connectée à travers le demi-enroulement de T2 entre GRN et BLK, alors que V6 a sa plaque alimentée à travers le -HT entre RED et OR et sa cathode entre YEL et BLK.

Pour les deux tubes (1614/6L6GC/ KT65), chacun a donc la moitié de sa charge dans l'anode et l'autre dans la cathode.

Mais tout cela ne servirait à rien si on traitait les bobinages comme des bobinages séparés. Aussi, Mc Intosh et Gow trouvèrent-ils l'astuce à la



REMARKS (CONTINUED)

| Part | Value | Part  | Value | Part  | Value | Part  | Value | Part  | Value |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V.1  | 12AX7 |
| V.2  | 6L6GC |
| V.3  | 6L6GC |
| V.4  | 12AU7 |
| V.5  | 6L6GC |
| V.6  | 6L6GC |
| V.7  | 6L6GC |
| V.8  | 6L6GC |
| V.9  | 6L6GC |

3

base des sept brevets déposés à l'époque, tous passés dans le domaine public depuis et utilisés par pratiquement tous les constructeurs de transformateurs.

Les deux demi-primaires des transformateurs de sortie sont bobinés en deux fils parallèles. De ce fait, le rapport self fuite/self induction atteint 1/200 000<sup>e</sup>, ce qui est énorme par rapport au minimum exigé (1/80 000<sup>e</sup>). Pour en finir avec le transformateur de sortie, sachez qu'il est bobiné sur deux doubles C et que l'isolement du primaire est particulièrement soigné (difficile à l'époque, aisé aujourd'hui). En effet, si la tension alternative instantanée est toujours nulle entre les spires du primaire, la tension continue est, elle, toujours présente entre les spires des enroulements anodes

reliées au +HT et cathodes reliées à la masse.

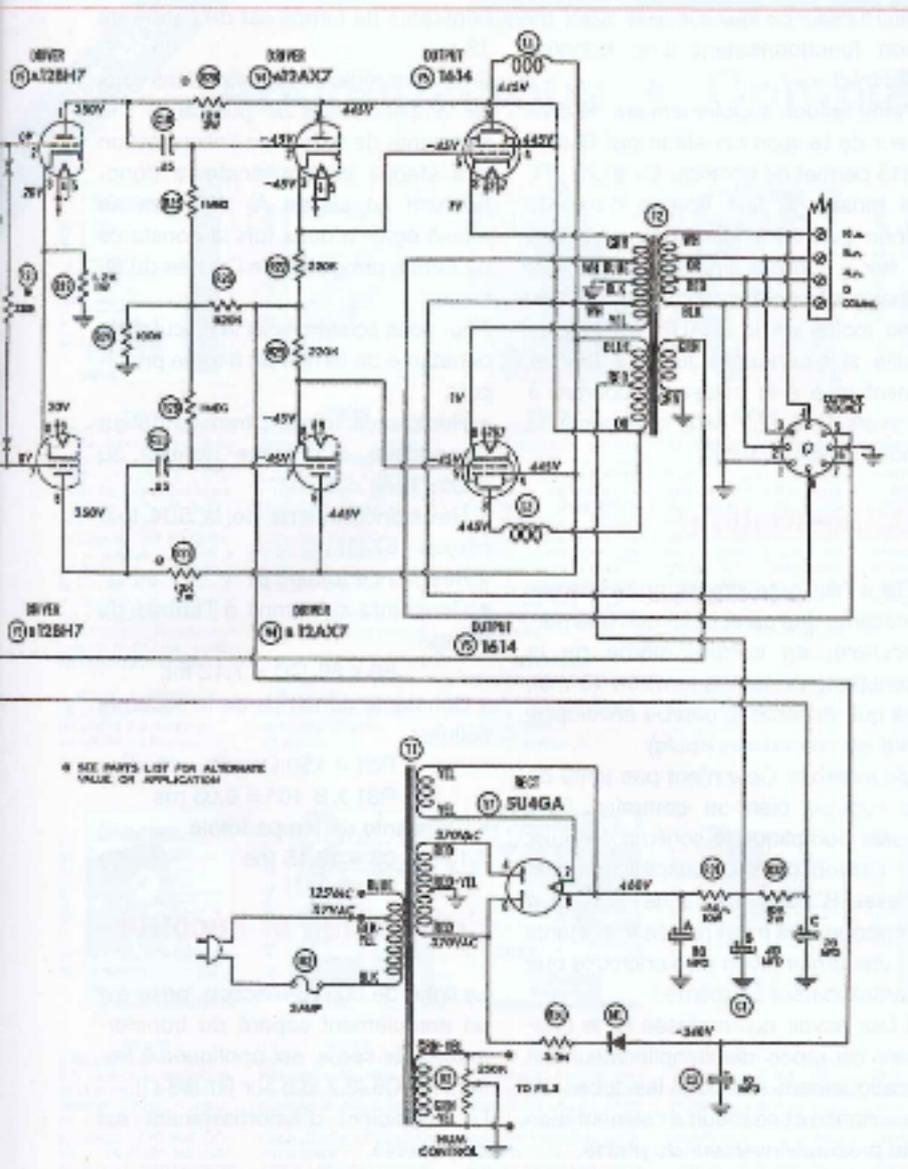
La tension continue est de 400 V pour le MC30, 475 V pour le MC40 et 500 V pour le MC60. Les tubes utilisés sur le MC30 d'origine sont des 1614 (6L6GC renforcées tout métal), pouvant être remplacées par des 6L6GC ou des KT65 GEC.

## MC30, le circuit

Il est « bourré » d'astuces ! On se rend compte que, dès 1949, Mc Intosh et Gow avaient réglé bien des problèmes.

Tout d'abord, le fait de répartir la charge entre les cathodes et les anodes fait plonger l'impédance plaque à plaque du montage. De 4 000 Ω dans un montage tradition-





nel, elle descend ainsi à 1 000  $\Omega$  dans le montage Mc Intosh, ce qui simplifie la construction du transformateur (moins de spires au primaire).

Ce passage de 4 à 1 diminue d'autant les capacités parasites, d'où une augmentation de la bande passante (100 kHz) et une réduction du déphasage dans l'alto (moins de 5 degrés à 20 kHz).

D'autre part, les deux moitiés du primaire « regardent » le secondaire comme un seul bobinage.

C'est pourquoi le rapport tours primaire/tours secondaire est divisé par deux.

Le couplage primaire/secondaire est meilleur, les effets pernicioeux de l'inductance mutuelle sont réduits d'autant (peu d'influence des variations de la charge).

## Première astuce électronique

Reportez-vous au schéma et remarquez que les grilles « écran » de V5 et V6 sont connectées à l'opposé des plaques (écran de V6 à BLUE, celle de V5 à OR). Que va-t-il se passer ? Eh bien, en présence du signal, une moitié de la charge étant dans la cathode, la tension de cette dernière va « swinguer » au rythme de la modulation. Or, sur l'écran du même tube, en fonction de son branchement sur l'enroulement de la plaque opposée, la tension de cet écran va donc « swinguer » au même rythme et dans le même sens. Ceci explique que la tension instantanée entre la cathode et l'écran demeure rigoureusement fixe puisque les deux demi-

primaires sont identiques. C'est la clé du bon fonctionnement d'une tétrode (ou d'une pentode). La tension entre la grille « écran » et la cathode doit rester rigoureusement constante afin que le débit du tube soit constant et ses caractéristiques invariables.

Ce montage particulier, associé à la charge de cathode, présente un autre avantage et non des moindres : il n'est pas nécessaire d'appairer les tubes de puissance car il se produit un phénomène d'auto-équilibrage entre les deux branches du push-pull. C'est l'un des atouts considérables des amplis Mc Intosh dont il ne faut pas oublier qu'ils étaient destinés, à l'origine, à une utilisation professionnelle et intensive.

Pas question de perdre son temps chez le marchand du coin pour choisir le tube X ou le tube Y qui allait être accouplé au tube Z ou au tube W, non ! On devait pouvoir prendre n'importe quel tube, le placer sur l'appareil et cela devait repartir avec les mêmes performances. C'est l'un des autres atouts de la marque, hors la fiabilité et la robustesse. Ces appareils qui ont près de soixante ans, une fois correctement restaurés, fonctionnent comme au premier jour.

## Deuxième astuce électronique

Reprenez le schéma et regardez les deux étages « driver » 12BH7 et 12AX7/ECC83.

Le pré-driver 12BH7 et le driver 12AX7 sont alimentés en haute tension par une extrémité du transformateur de sortie. Cette haute tension va « swinguer » en phase avec le signal présent sur les plaques. C'est ce que l'on appelle un montage « boot-strap » (lacet de soulier). Cela va permettre de produire la tension élevée nécessaire à l'attaque des tubes de puissance, sans faire appel à une alimentation « usine à gaz » difficile à mettre au point.

Il faut comprendre que la charge se trouvant pour moitié dans le circuit de cathode des tubes de puissance, la tension d'attaque doit être très importante.

Le « boot-strap » va, lui aussi, participer à l'auto-équilibrage du circuit.

Les tubes de puissance sont « attaqués » par les cathodes des 12AX7 (basse impédance). La polarisation est assurée par la tension négative appliquée à R27 et R29. Elle est fonction du courant traversant la 12AX7.

## L'étage d'entrée et l'inverseur de phase

Sur le schéma, V1 (PRE-AMP) et V2 (AF AMP). À première vue, tout a l'air classique mais...

Première astuce : liaison directe entre le tube d'entrée V1 (12AX7) et l'inverseur de phase V2 (12AU7). C'est un autre électronicien de génie, du nom de Williamson, qui, en 1948, préconisa cette pratique. L'idée est simple : dans un amplificateur quel qu'il soit, il faut réduire au minimum le déphasage entre les signaux d'entrée et les signaux de sortie, en particulier si l'amplificateur est soumis à un certain taux de contre-réaction. Or, le déphasage, surtout aux basses fréquences, est essentiellement dû aux condensateurs de liaisons, donc supprimons les condensateurs ! Cela a l'air bête, mais il fallait y penser !

Supprimer les condensateurs ? Pas si simple, ceux qui construisent des amplificateurs devant passer « le continu » le savent bien ! Mais dans un amplificateur qui comporte un étage inverseur de phase, le problème est résolu quasi automatiquement (chez Williamson, l'inverseur était cathodyne).

Chez Mc Intosh, l'inverseur de phase est un « Schmidt » (voir cours précédent).

Cet inverseur de phase demande dans ses cathodes, pour fonctionner correctement, une résistance de la plus grande valeur possible (résistance R14 sur le schéma). Il y aura donc une tension positive importante sur les cathodes de la 12AU7 (130 V). On trouve une tension de 120 V sur les plaques de la 12AX7, la liaison plaque/grille est directe, la polarisation est donc de -10 V sur la 12AU7. La résistance R16 sert à polariser la grille de la seconde moitié de la 12AU7 à la même valeur.

Les condensateurs C7 et C12 dérivent vers la masse, la composante

alternative, ce qui est à la base du bon fonctionnement d'un honnête Schmidt.

Petite astuce supplémentaire, le diviseur de tension constitué par R12 et R13 permet de polariser C7 (0,22 µF), la tension à ses bornes n'excède donc pas 20 V et C7 ne peut pas « fuir ». On est ainsi sûr de ne pas changer la polarisation de la deuxième moitié de la 12AU7. En cas de fuite, si le condensateur était directement relié à la masse, le courant à travers R16 (2,2 MΩ) changerait la polarisation du tube.

## L'alimentation

Elle a l'air toute simple, en réalité elle présente une caractéristique très particulière, en dehors même de la constante de temps (environ 13 ms), ce qui respecte la courbe enveloppe (lire les précédents cours).

Mc Intosh et Gow n'ont pas tenté de la réguler, bien au contraire. Cela aurait compliqué le schéma. Réguler la tension dans un amplificateur en classe B aurait demandé, surtout à l'époque, des moyens très importants et une alimentation plus onéreuse que l'amplificateur lui-même !

Il faut savoir qu'en classe B, le courant de repos de l'amplificateur est pratiquement nul pour les tubes de puissance et se réduit à l'alimentation du préampli/inverseur de phase.

Pour tous les Mc Intosh de la série, environ 50 mA. Les tubes de puissance étant polarisés à -46 V, tout près du cut-off, ils consomment chacun 5 mA. Ce qui fait dire à ceux qui n'ont rien compris, que l'appareil fonctionne en classe AB (cf. cours précédents) !

Cependant, lorsqu'ils débitent, les tubes de puissance vont consommer « gros » : l'alimentation devra débiter près de 250 mA. C'est le problème majeur des amplificateurs en classe B, y compris et surtout ceux à transistors. Or, l'alimentation du préamplificateur et de l'inverseur de phase ne doit en aucun cas « chuter » en dessous d'une certaine valeur.

C'est pourquoi la constante de temps  $R32 \times C$  (voir schéma) est de 200 ms, bien supérieure à celle des condensateurs réservoir A et B dont la

constante de temps est de l'ordre de 13 ms.

C'est une règle à respecter dans tous les amplificateurs de puissance : la constante de temps de l'alimentation des étages préamplificateurs (fonctionnant en classe A) doit être au moins égale à deux fois la constante de temps principale de l'entrée du filtrage.

Pour vous éclairer, voici le calcul de la constante de temps du filtrage principal :

- Résistance totale : transformateur (secondaire + primaire ramené au secondaire) = 22 Ω

- Résistance interne de la 5U4 (par plaque : 67 Ω)

- Résistance totale : 67 + 22 = 89 Ω

- Constante de temps à l'entrée du filtrage :

$$89 \times 80 \cdot 10^{-9} = 7,12 \text{ ms}$$

- Constante de temps de la seconde cellule :

$$R31 = 150 \text{ } \Omega \text{ et } B = 40 \text{ } \mu\text{F}$$

$$R31 \times B \cdot 10^{-6} = 6,03 \text{ ms}$$

- Constante de temps totale  
7,12 + 6,03 = 13,15 ms

## L'utilisation et l'écoute

La ligne de contre-réaction, prise sur un enroulement séparé du transformateur de sortie, est appliquée à travers R9/C6 (2,2 kΩ) sur R7 (68 Ω).

Le coefficient d'amortissement est donc faible.

N'espérez pas faire fonctionner votre MC30 sur des enceintes à bas rendement qui demandent des amplificateurs proches de la centrale électrique pour les faire bouger ! Mais si vous possédez des « bass reflex » ou des enceintes à haut rendement, vous serez surpris par l'incroyable respiration de ces amplificateurs et par leur absence de distorsion à tous les niveaux.

Demier point, la technique de bobinage imbriqué de Mc Intosh est utilisée de nos jours dans pratiquement tous les transformateurs de sortie de qualité.

Enfin, sachez que les MC30 et MC60 sont reproductibles, certains constructeurs de transformateurs peuvent fournir aujourd'hui des clones absolument parfaits.

R. BASSI

# GÉNÉRATEUR HYBRIDE

## Basses fréquences 1 Hz à 200 kHz



Cet article présente une méthode originale, développée par l'auteur, pour réaliser un GBF. Bien que la théorie (non abordée ici) soit assez ardue, la conception de ce GBF est simple et sans surprise.

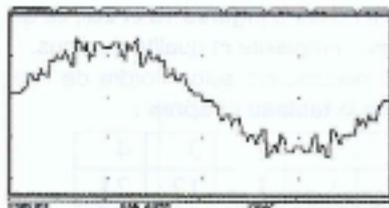
**N**otre générateur basses fréquences (GBF) n'utilise que des composants courants, sans aucune programmation et sans laisser de côté les performances, comme nous le verrons. Sa plage de fréquences s'étend de 1 Hz à 200 kHz. Le montage étant partiellement numérique, il fournit deux signaux logiques synchrones : l'un en phase et l'autre en quadrature. Il existe de nombreuses manières de générer un sinus. Le présent montage se situe dans la catégorie des solutions numériques. Parmi ces solutions, existent plusieurs variantes.

**Première variante**, on songe à utiliser une mémoire ROM conjointement avec un convertisseur numérique-analogique. Cette solution requiert la programmation de la ROM. En outre, elle nécessite un signal d'horloge très supérieur à la fréquence du fondamental du sinus généré. Les DDS apportent une réponse à ce problème en utilisant un accumulateur de phase. Ceci permet, moyennant un filtrage énergique mais de fréquence fixe, de monter en

fréquence jusqu'à la moitié de la fréquence d'horloge. Le bémol est que le filtrage en question interdit une maîtrise de la phase.

**Deuxième variante**, on filtre énergiquement un simple signal carré. Toute la difficulté revient à réaliser un filtre à la fois complexe et dont on peut maîtriser (faire varier) la fréquence de coupure. On fait généralement appel à un filtre à capacités commutées qui ne monte pas bien haut en fréquence.

**La solution adoptée** dans cet article est à mi-chemin entre ces deux variantes, d'où sa dénomination « hybride ». Le principe est de combiner savamment des signaux numériques sans pousser trop loin la complexité, pour ensuite filtrer à l'ordre 1 seulement. La version décrite est limitée à 200 kHz, mais on pourrait monter beaucoup plus haut en fréquence sur ce principe. Cependant, ceci nous éloignerait de l'objectif principal qui est de proposer un GBF simple, pas cher, fonctionnel, avec des performances honnêtes.



1x

## La méthode

L'idée de départ était la suivante : partir d'un signal carré dont on éliminerait les harmoniques à l'aide d'autres signaux carrés de fréquences multiples du fondamental. Un signal carré contient des harmoniques de rang impair (3, 5, 7, etc.). Nous avons donc, au départ, songé à combiner des carrés de fréquence 3, 5, 7, etc. (figure 1x).

C'est faire fausse route, car il faut presque un nouveau carré pour chaque harmonique à éliminer et, surtout, il est très problématique de générer toutes ces fréquences dont le plus petit multiple commun est trop élevé.

Par exemple, si l'on veut générer les fréquences jusqu'au rang 21, il faut une horloge 4849845 fois plus grande que le fondamental !

De par la facilité de générer des carrés de fréquence  $2^n \times F_0$ , nous avons cherché comment utiliser ces signaux dans la même optique.

Tout d'abord, il est simple de réaliser une multiplication entre deux carrés avec la fonction NON-OU exclusif. Puis, on voit qu'en multipliant un carré à  $F_0$  avec un carré à  $4F_0$ , on obtient un signal contenant des harmoniques de rang  $3F_0$  modulo  $8F_0$  et  $5F_0$  modulo  $8F_0$ .

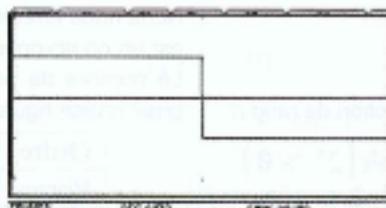
Comble du bonheur, une combinaison *ad hoc* permet d'éliminer toutes ces harmoniques dans le signal d'origine (figures 1a et 2a).

À l'étape suivante, on multiplie un carré de fréquence  $F_0$  avec un carré de fréquence  $8F_0$  pour éliminer les harmoniques 7 modulo 16 et 9 modulo 16 (figures 1b et 2b).

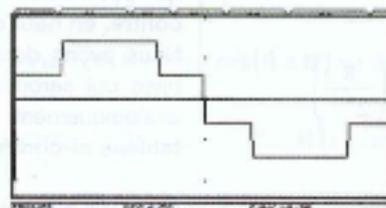
Et ainsi de suite, on multiplie  $F_0$  et  $2^n \times F_0$  pour éliminer les harmoniques de rang  $k$  quelconque.

$$\left( (2^n - 1) + k \times 2^{n-1} \right) \times F_0$$

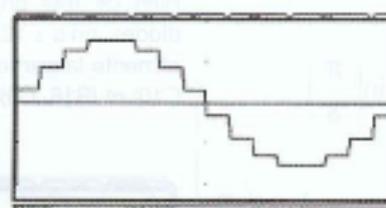
$$\left( (2^n + 1) + k \times 2^{n+1} \right) \times F_0$$



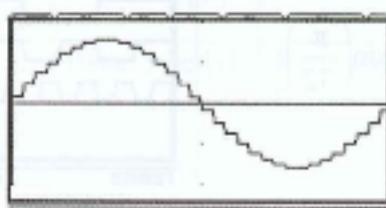
1a



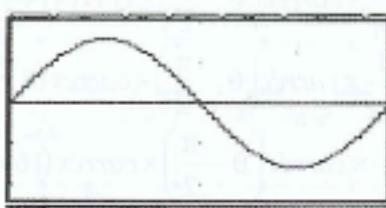
1b



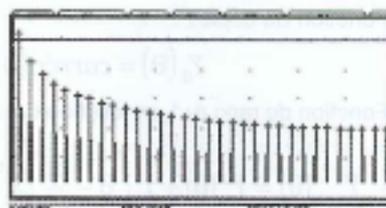
1c



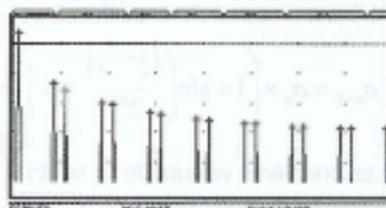
1d



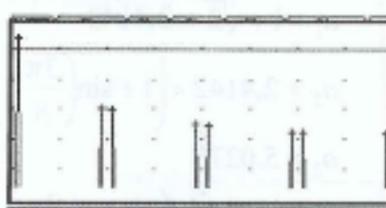
1e



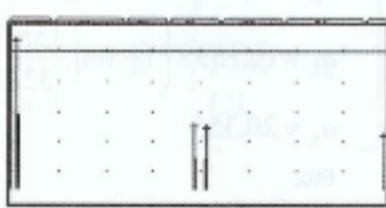
2a



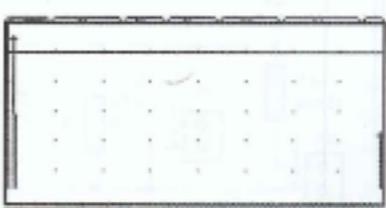
2b



2c



2d



2e

## Récurrence

Nous avons établi la récurrence permettant de passer d'une approximation d'ordre  $n$  à une approximation d'ordre  $n + 1$ .

Nous appellerons carré (0) un carré dont le fondamental est un cosinus.

Nous appellerons carrés (0) un carré dont le fondamental est un sinus.

Fonction de départ :

$$Y_0(\theta) = \text{carréc}(\theta)$$

Fonction de rang n+1 en fonction de la fonction de rang n :

$$Y_{n+1}(\theta) = Y_n(\theta) + Y_n\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times \frac{\text{carrés}(2^{n+1} \times \theta)}{a_{n+1}}$$

Avec :

$$a_0 = 1 \quad \text{et} :$$

$$a_{n+1} = a_n \times \left(1 + \sin\left(\frac{(2^n - 1)}{2^{n+1}} \times \pi\right)\right) + \sin\left(\frac{\pi}{2^{n+1}}\right)$$

Les premières valeurs de  $a_n$  sont :

$$a_1 = 1 \times \left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\right) + \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

$$a_1 = 1 + \sqrt{2} \approx 2,4142$$

$$a_2 = 2,4142 \times \left(1 + \sin\left(\frac{3\pi}{8}\right)\right) + \sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

$$a_2 \approx 5,0273$$

$$a_3 = 5,0273 \times \left(1 + \sin\left(\frac{7\pi}{16}\right)\right) + \sin\left(\frac{\pi}{16}\right)$$

$$a_3 \approx 10,153$$

$$a_4 = 10,153 \times \left(1 + \sin\left(\frac{15\pi}{32}\right)\right) + \sin\left(\frac{\pi}{32}\right)$$

$$a_4 \approx 20,355$$

Etc.

Nous nous arrêtons à l'ordre 3 (figures 1d et 2d), ce qui est un compromis entre complexité et qualité du sinus. Le nombre de portes nécessaires selon l'ordre de l'approximation figure dans le tableau ci-après :

| Ordre  | 0 | 1 | 2 | 3  | 4  |
|--------|---|---|---|----|----|
| Portes | 0 | 1 | 3 | 12 | 23 |

Le calcul de  $Y_3(\theta)$  montre qu'il est composé de la somme de huit termes comme détaillé en bas de cette page. Ce qui peut s'écrire plus simplement comme indiqué ci-contre, en haut de page :

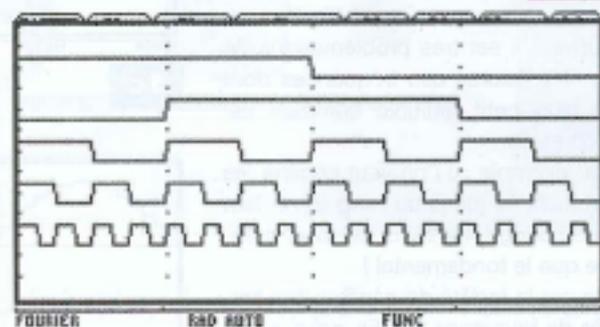
Nous avons donc besoin de cinq signaux logiques de base qui seront combinés logiquement, puis pondérés analogiquement. Ces signaux sont mentionnés dans le tableau ci-contre et représentés en figure 3.

## Application

### L'alimentation

Rien de très original (figure 4). En sortie du pont de diodes, on a +12 V environ aux bornes de C11 et C12. On alimente la partie analogique via deux circuits RC, (R17, C10) et (R18, C9).

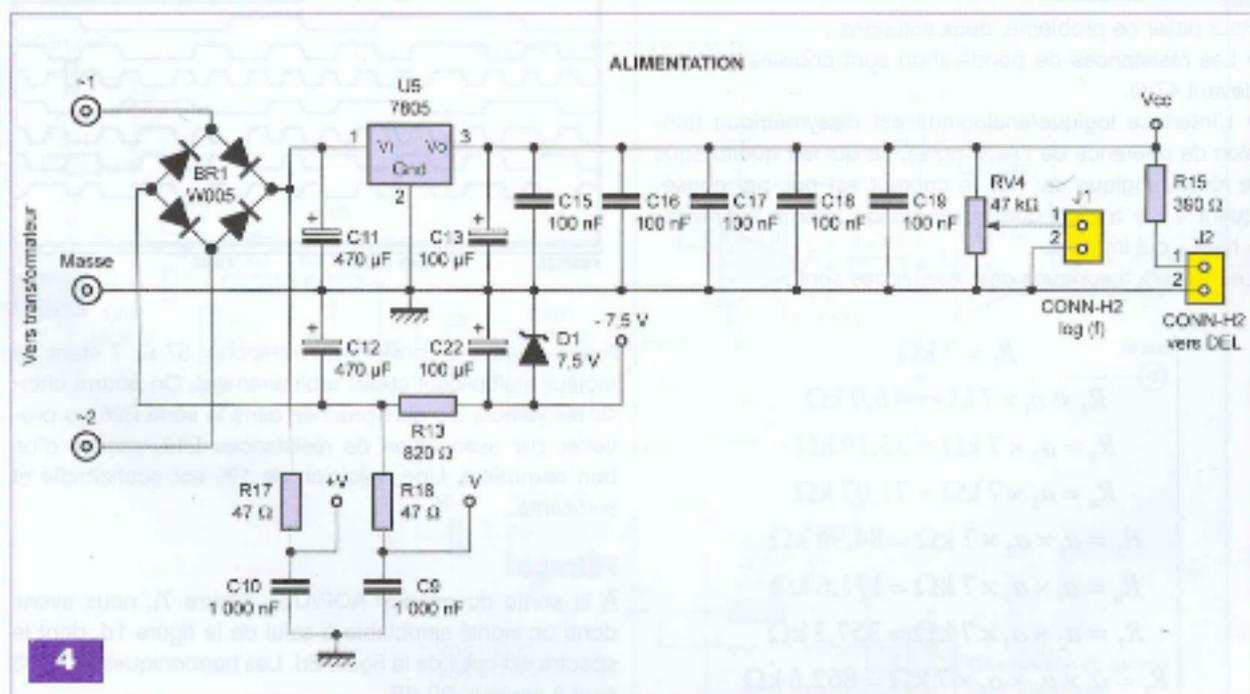
3



$$\begin{aligned}
 & \text{carréc}(\theta) \\
 & \frac{1}{a_1} \times \text{carréc}\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times \text{carrés}(4 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_2} \times \text{carréc}\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times \text{carrés}(8 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_3} \times \text{carréc}\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times \text{carrés}(16 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_1 \times a_2} \times \text{carréc}(\theta - \pi) \times \text{carrés}\left(4 \times \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \times \text{carrés}(8 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_1 \times a_3} \times \text{carréc}(\theta - \pi) \times \text{carrés}\left(4 \times \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \times \text{carrés}(16 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_2 \times a_3} \times \text{carréc}(\theta - \pi) \times \text{carrés}\left(8 \times \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \times \text{carrés}(16 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_1 \times a_2 \times a_3} \times \text{carréc}\left(\theta - \frac{3\pi}{2}\right) \times \text{carrés}\left(4 \times \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \times \text{carrés}\left(8 \times \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \times \text{carrés}(16 \times \theta)
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 & carréc(\theta) \\
 & \frac{1}{a_1} \times carréc\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times carrés(4 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_2} \times carréc\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times carrés(8 \times \theta) \\
 & \frac{1}{a_3} \times carréc\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times carrés(16 \times \theta) \\
 & - \frac{1}{a_1 \times a_2} \times carréc(\theta) \times carrés(4 \times \theta) \times carrés(8 \times \theta) \\
 & - \frac{1}{a_1 \times a_3} \times carréc(\theta) \times carrés(4 \times \theta) \times carrés(16 \times \theta) \\
 & - \frac{1}{a_2 \times a_3} \times carréc(\theta) \times carrés(8 \times \theta) \times carrés(16 \times \theta) \\
 & - \frac{1}{a_1 \times a_2 \times a_3} \times carréc\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \times carrés(4 \times \theta) \times carrés(8 \times \theta) \times carrés(16 \times \theta)
 \end{aligned} \right\}$$

|                 |   |   |                           |                           |                            |
|-----------------|---|---|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Signal          | $carréc(\theta)$<br>$= carrés(\theta) \times carrés(2 \times \theta)$ | $carréc\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)$<br>$= carrés(\theta)$ | $carrés(4 \times \theta)$ | $carrés(8 \times \theta)$ | $carrés(16 \times \theta)$ |
| Patte concernée | Patte 11 de U3  | Patte 3 de U1   | Patte 6 de U1             | Patte 7 de U1             | Patte 9 de U1              |



Un régulateur fournit les 5 V nécessaires aux circuits logiques, lesquels sont découplés par C15 à C19. R13, D1 et C22 fournissent une tension négative pour le commutateur analogique. En effet, pour bien fonctionner, il est souhaitable que les tensions commutées soient dans les limites de l'alimentation du composant.

RV4, dont la raison d'être est avant tout mécanique, pourra servir à fournir une tension image de log (f).

## L'horloge

Le signal d'horloge est généré à l'aide de deux portes logiques (figure 5). Un CD 4040 permet de délivrer des carrés de fréquence  $F/2^n$ . La commutation des gammes est faite via un commutateur analogique : le 74HC4066 est préféré au CD4066 pour son plus faible  $R_{on}$ . C'est RV6 qui permet de régler la fréquence. Nous verrons plus loin qu'il est couplé au filtre RC pour régler en même temps la fréquence de coupure du filtre.

## Les signaux

La fonction « multiplication » est assurée par des NON-OU exclusifs si l'on considère que les carrés fournis alternent entre 1 et -1. Nous ferons donc abstraction des traditionnels 0/5 V. Trois circuits intégrés (U2, U3 et U4) suffisent à assurer l'ensemble des opérations.

On génère huit signaux logiques représentés en figure 6. Les huit signaux sont pondérés à l'aide des résistances R1 à R8 et correspondent aux huit termes précédemment calculés.

**Remarque :** la technologie CMOS permet d'interfacer directement du logique à de l'analogique car les 0 et 1 logiques correspondent bien à 0 V et 5 V. Cependant, la résistance interne de la porte n'est pas la même au niveau « haut » qu'au niveau « bas » : 57  $\Omega$  au niveau « haut » pour 37  $\Omega$  au niveau « bas ». Une étude approfondie montrerait que cela engendre une distorsion en harmoniques de rang pair.

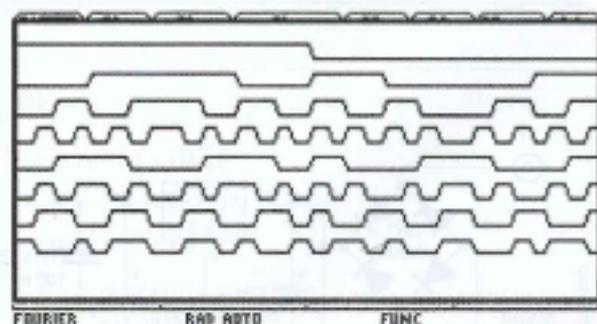
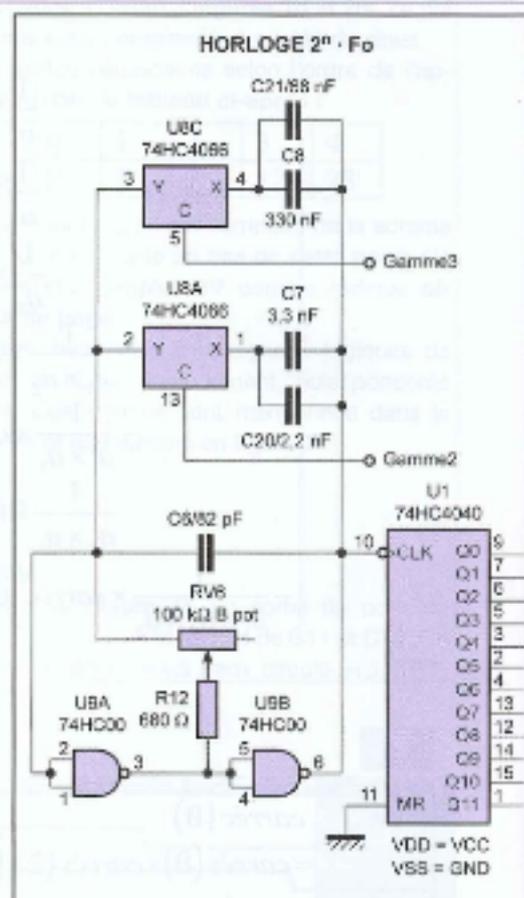
Pour pallier ce problème, deux solutions :

- Les résistances de pondération sont choisies grandes devant 47  $\Omega$ .
- L'interface logique/analogique est dissymétrique (tension de référence de l'AOP nulle), ce qui fait que lorsque le niveau logique est nul, le courant est nul, par conséquent il n'y a plus que la résistance interne au niveau « haut » qui importe.

Les valeurs théoriques des résistances sont :

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= 7 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= a_1 \times 7 \text{ k}\Omega = 16,9 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= a_2 \times 7 \text{ k}\Omega = 35,19 \text{ k}\Omega \\ R_4 &= a_3 \times 7 \text{ k}\Omega = 71,07 \text{ k}\Omega \\ R_5 &= a_1 \times a_2 \times 7 \text{ k}\Omega = 84,96 \text{ k}\Omega \\ R_6 &= a_1 \times a_3 \times 7 \text{ k}\Omega = 171,6 \text{ k}\Omega \\ R_7 &= a_2 \times a_3 \times 7 \text{ k}\Omega = 357,3 \text{ k}\Omega \\ R_8 &= a_1 \times a_2 \times a_3 \times 7 \text{ k}\Omega = 862,6 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right\}$$

5

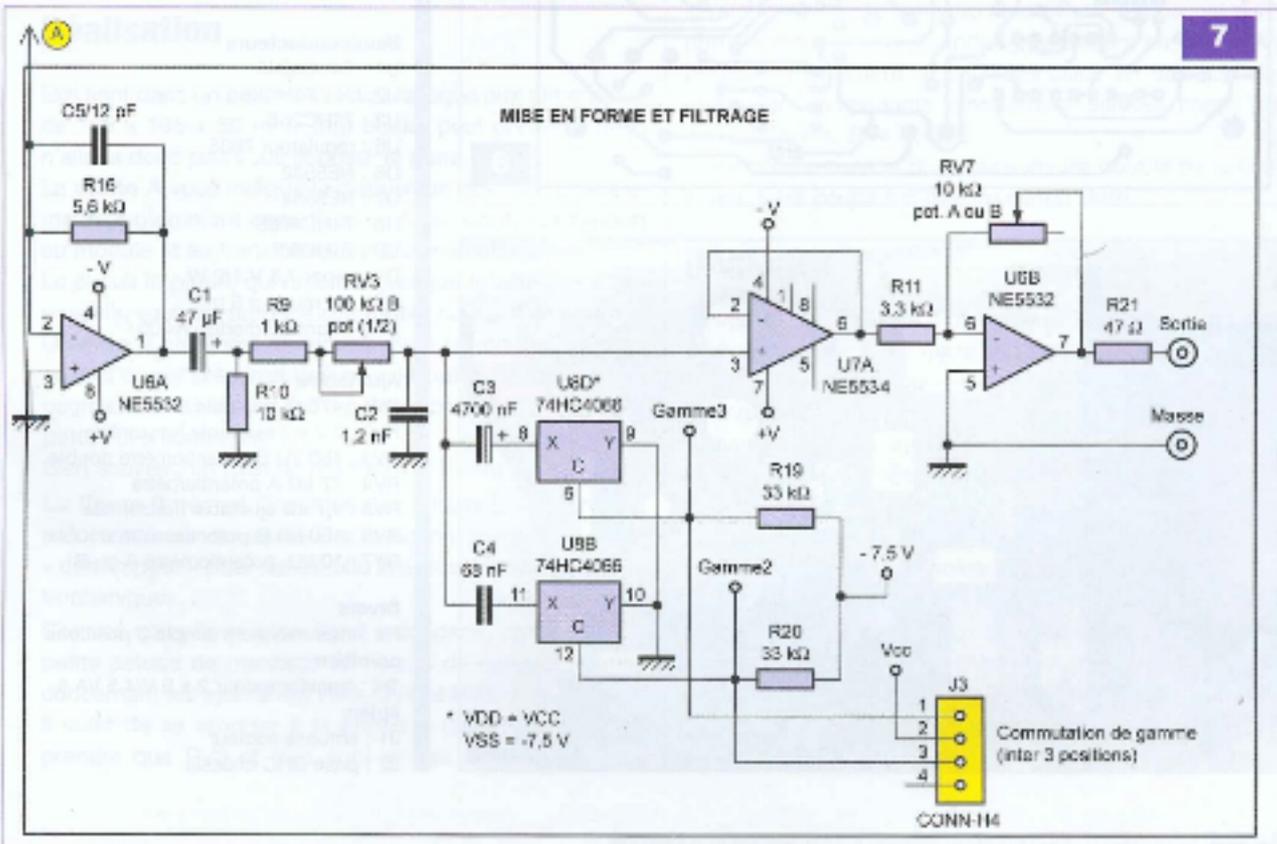
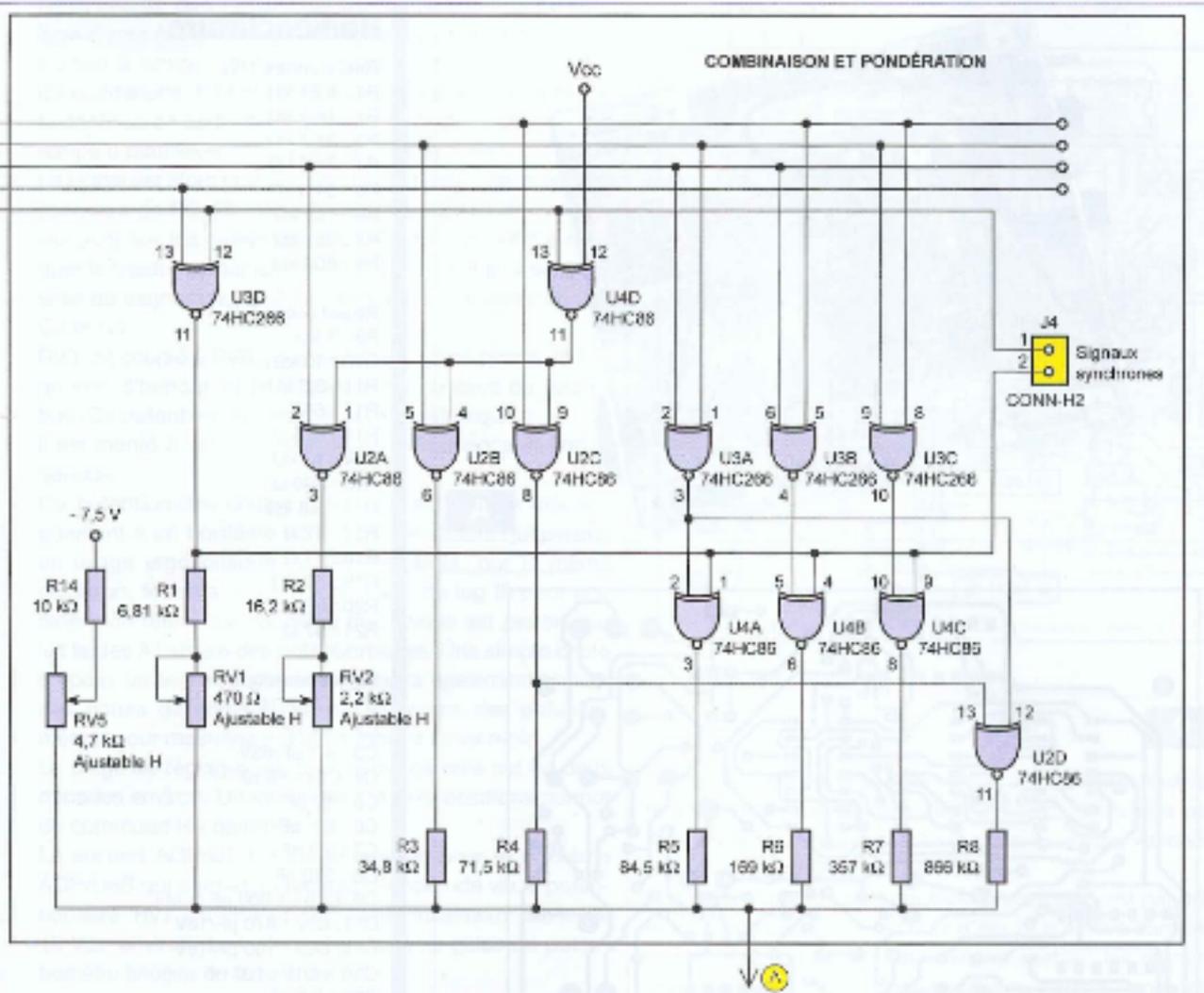


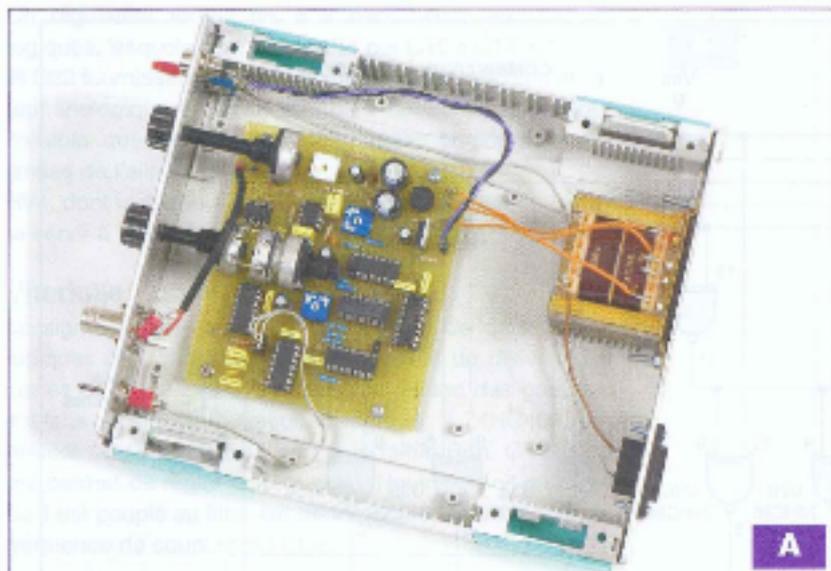
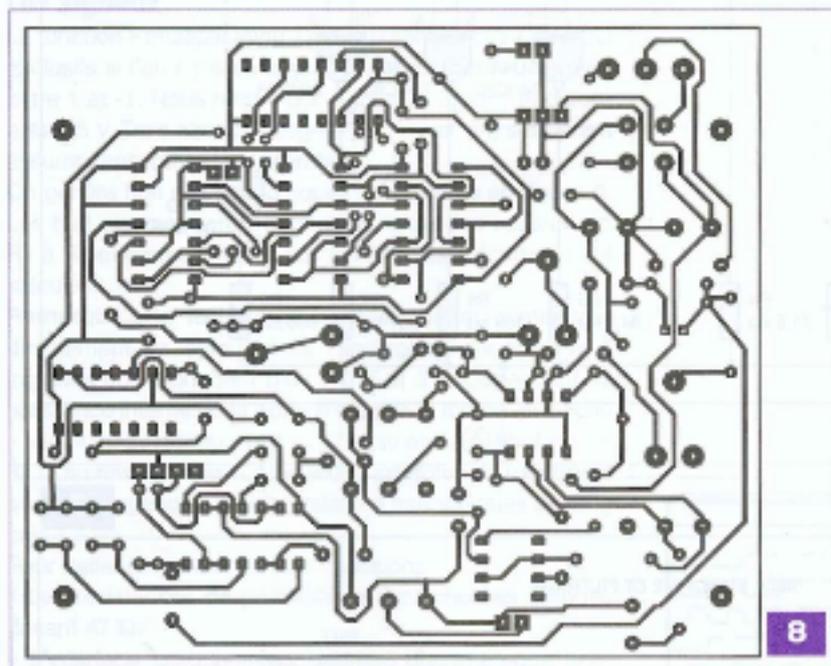
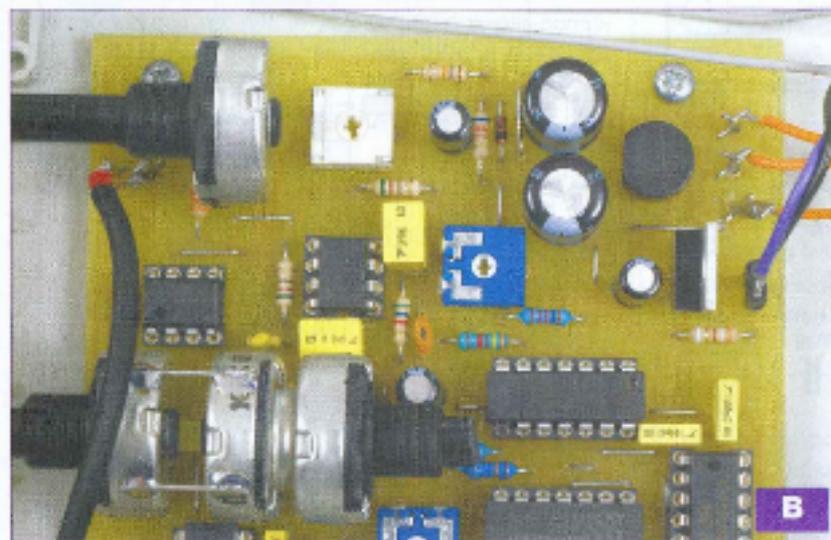
6

A ces valeurs, il convient de retrancher 57  $\Omega$ , 7 étant un facteur multiplicatif choisi arbitrairement. On pourra choisir les valeurs les plus proches dans la série E96 ou procéder par association de résistances E12, assisté d'un bon ohmmètre. Une précision de 1% est souhaitable et suffisante.

## Filtrage

À la sortie du premier AOP/UGA (figure 7), nous avons donc un signal semblable à celui de la figure 1d, dont le spectre est celui de la figure 2d. Les harmoniques 31 et 33 sont à environ -30 dB.




**A**

**B**

**B**

## Nomenclature

### Résistances 1 %

R1 : 6,81 kΩ  
 R2 : 16,2 kΩ  
 R3 : 34,6 kΩ  
 R4 : 71,5 kΩ  
 R5 : 84,5 kΩ  
 R6 : 169 kΩ  
 R7 : 357 kΩ  
 R8 : 866 kΩ

### Résistances 5 %

R9 : 1 kΩ  
 R10 : 10 kΩ  
 R11 : 3,3 kΩ  
 R12 : 680 Ω  
 R13 : 820 Ω  
 R14 : 10 kΩ  
 R15 : 390 Ω  
 R16 : 5,6 kΩ  
 R17 : 47 Ω  
 R18 : 47 Ω  
 R19 : 33 kΩ  
 R20 : 33 kΩ  
 R21 : 47 Ω

### Condensateurs

C1 : 47 μF/16 V  
 C2 : 1,2 nF  
 C3 : 4,7 μF/63V  
 C4, C21 : 68 nF  
 C5 : 12 pF  
 C6 : 82 pF  
 C7 : 3,3 nF  
 C8 : 330 nF  
 C9, C10 : 1 000 nF (1 μF)  
 C11, C12 : 470 μF/16V  
 C13, C22 : 100 μF/16V  
 C15 à C19 : 100 nF  
 C20 : 2,2 nF

### Semiconducteurs

U1 : 74HC4040  
 U2, U4 : 74HC86  
 U3 : 74HC266  
 U5 : régulateur 7805  
 U6 : NE5532  
 U7 : NE5534  
 U8 : 74HC4068  
 U9 : 74HC00  
 D1 : zéner 7,5 V 1/2 W  
 D2 : led rouge ø 5 mm  
 BR1 : Pont de diodes W005

### Ajustables

RV1 : 470 Ω ajustable horizontale  
 RV2 : 2,2 kΩ ajustable horizontale  
 RV3 : 100 kΩ B potentiomètre double  
 RV4 : 47 kΩ A potentiomètre  
 RV5 : 4,7 kΩ ajustable horizontale  
 RV6 : 100 kΩ B potentiomètre double  
 RV7 : 10 kΩ potentiomètre A ou B

### Divers

K1 : inter miniature simple 3 positions on/off/on  
 Tr1 : transformateur 2 x 9 W/4,5 VA à étriers  
 J1 : embase secteur  
 J2 : prise BNC châssis

Remarquons que l'amplitude du fondamental augmente légèrement à chaque nouvelle approximation.

C5 sert à compenser le NE5532 en fréquence pour éviter les oscillations. R14 et RV5 servent à régler la composante continue en sortie de ce premier AOP afin d'améliorer le temps d'établissement à la mise sous tension.

Le signal est alors filtré par un simple passe-bas d'ordre 1 constitué de R9, RV3 et C2. Quant à C3 et C4, ils interviennent sur les autres gammes. Ce filtrage suffit à reléguer le résidu harmonique à -60 dB, voire plus. Il est possible de gagner encore 2 dB en doublant la valeur de C2, C3 et C4.

RV3 est couplé à RV6, pour régler, en même temps, la fréquence d'horloge et la fréquence de coupure du passe-bas. Ce potentiomètre double est logarithmique.

Il est monté à l'envers pour régler la fréquence et non la période.

Ce potentiomètre double à l'envers est couplé mécaniquement à un troisième potentiomètre simple qui permet un usage ergonomique de l'ensemble et, par la même occasion, fournira une tension image de  $\log(f)$  pour une extension future. Le couplage mécanique est permis par les fentes à l'arrière des potentiomètres. Une simple chute d'époxy limée fera l'affaire. On pourra également souder des pattes de composants sur les corps des potentiomètres pour maintenir mécaniquement l'ensemble.

La plage de réglages sur une même gamme est de deux décades environ. Un interrupteur à trois positions permet de commuter les gammes.

Le second AOP/U7 fait étage tampon pour le troisième AOP/U6B qui permet un réglage d'amplitude via le potentiomètre RV7, le niveau de sortie maximum étant de 10 Vpp environ. Le lecteur choisira à sa guise un potentiomètre linéaire ou logarithmique.

## Réalisation

Elle tient dans un petit boîtier en plastique aux dimensions de 165 x 195 x 50 mm. Tout boîtier peut convenir, nous n'allons donc pas vous imposer le nôtre.

La photo A vous indique la disposition des différents éléments, notamment ceux fixés en face avant, par rapport au module et au transformateur d'alimentation.

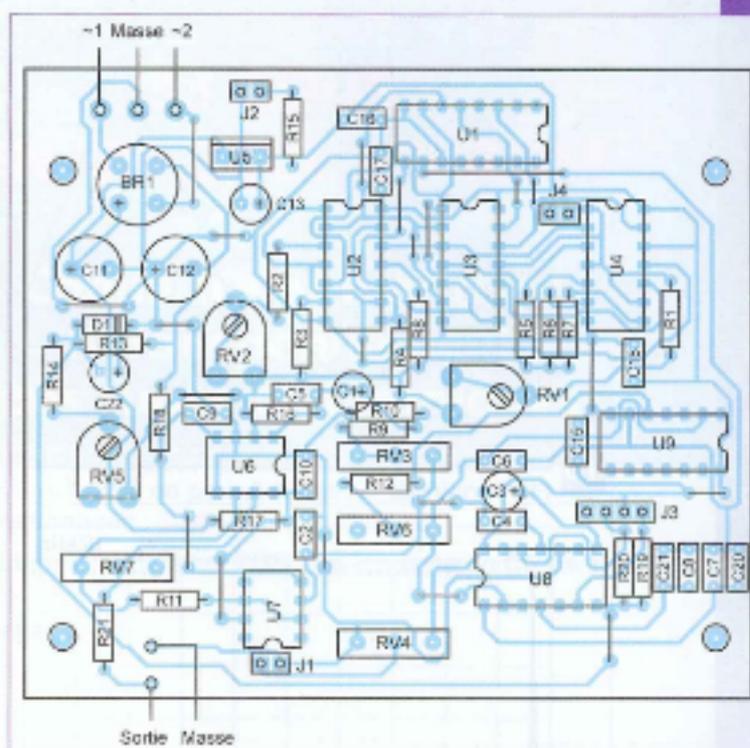
Le circuit imprimé, qui reçoit la presque totalité des composants, vous est proposé côté pistes cuivrées en figure 8. On évite le problème de reproduction en utilisant un morceau d'époxy présensibilisé pour les ultra-violets. Le perçage des pastilles se fait en fonction du diamètre des pattes des composants.

Bien souvent, un foret de  $\phi 0,8$  mm convient.

La figure 9 permet l'insertion des différents éléments en précisant pour quelques-uns la bonne orientation, ergot « détrompeur » pour les circuits intégrés, (+) pour les électrochimiques...

Comme nous l'avons souligné précédemment, il y a une petite astuce de montage au niveau de cette réalisation concernant les ajustables RV3, RV4 et RV6.

Il suffit de se reporter à la photo B (détails) pour comprendre que RV3 et RV6 sont en fait un potentiomètre



9

double, à axe unique de commande, de 100 k $\Omega$  et à variation logarithmique. Ce potentiomètre est commandé par RV4, un potentiomètre de 47 k $\Omega$  suivant, lui, une variation linéaire rotation/résistance ohmique.

Ces deux éléments sont couplés mécaniquement par une petite cale faite dans une chute d'époxy qui entre dans les fentes situées à l'arrière des potentiomètres, les rendant ainsi solidaires. Si le potentiomètre double, une fois soudé, est bien maintenu au module par ses six pattes, le potentiomètre de commande apparaissant en face avant oscille verticalement. Il est immobilisé en soudant des pattes de composants directement sur les corps des potentiomètres RV4 et RV6.

L'axe de commande du potentiomètre double ne servant à rien, il est coupé à 5 mm du canon fileté.

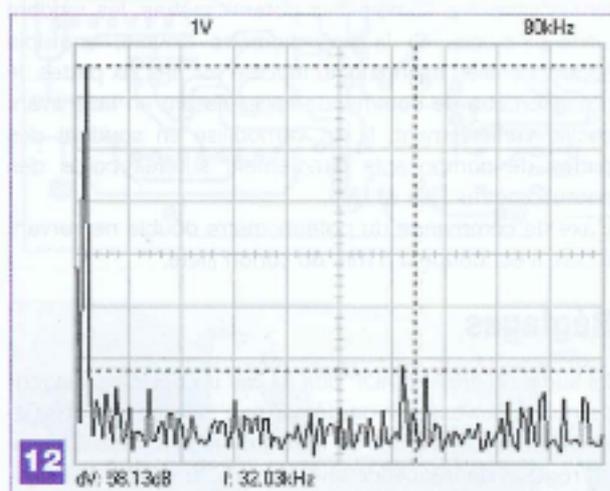
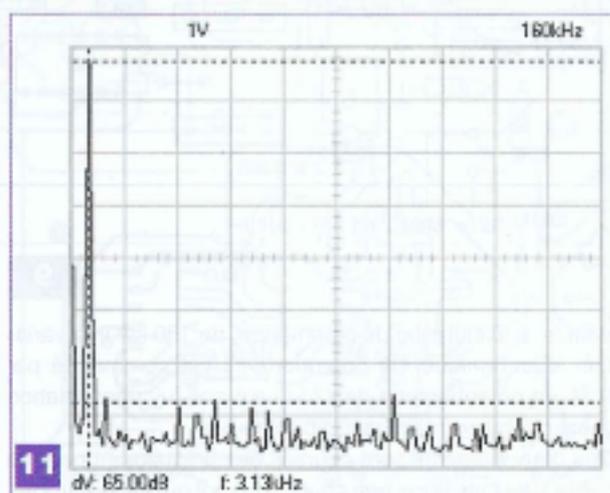
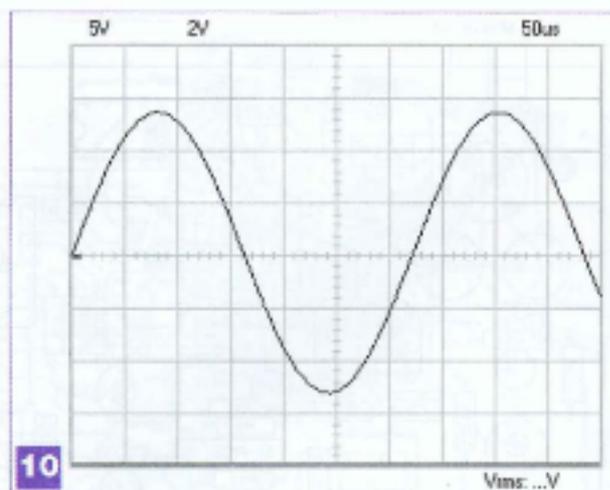
## Réglages

La sortie du premier AOP doit fournir un signal de moyenne nulle pour assurer un démarrage rapide du montage. En effet, les constantes de temps du montage sont lentes et, réglage de fréquence au minimum, le temps d'établissement (temps de charge de C1) peut être long. Pour ce faire, placer un voltmètre sur la patte 1 de U6 et régler RV5 pour obtenir 0 V continu.

Ensuite, il vous faut régler le contenu harmonique de ce signal à l'aide des ajustables RV1 et RV2.

Si vous disposez d'un analyseur de spectre, utilisez RV1 pour minimiser les harmoniques de rang supérieur à 5, puis ajustez RV2 pour les rangs 3 et 5.

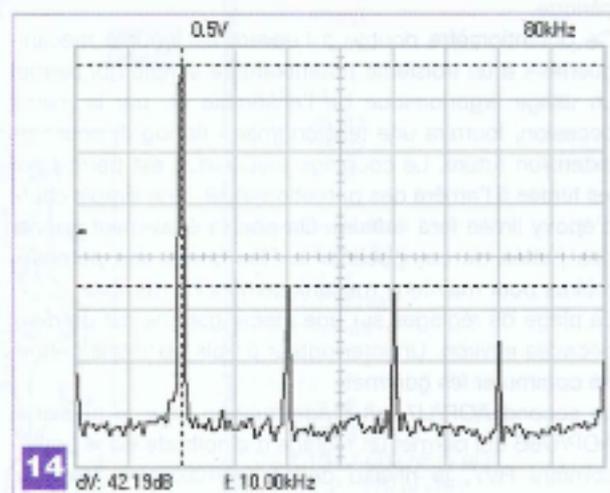
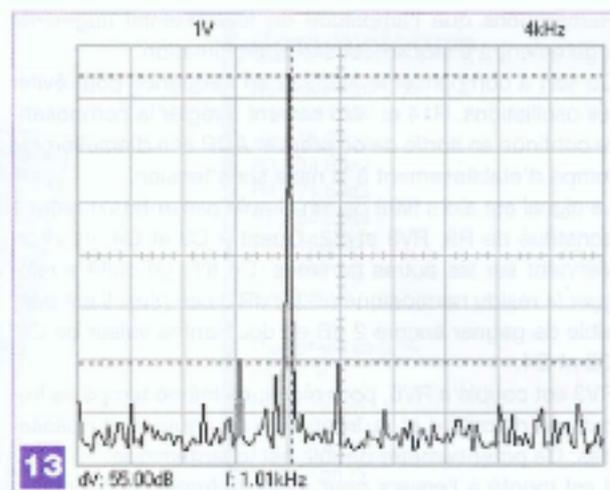
**Remarque :** placer la sonde sur la patte 1 de U6 et non sur la sortie du GBF pour une meilleure lisibilité des harmoniques indésirables.



Si vous ne disposez pas d'un analyseur de spectre mais d'un oscilloscope, faites le réglage en vous appliquant à rendre le signal « patte 1 de U6 » harmonieux, ce qui permet d'amenuiser la distorsion. Votre GBF est prêt à l'emploi.

## Mesures

Il faut regarder attentivement son oscilloscope analogique pour discerner la quantification de la dérivée du signal. À l'oscilloscope numérique, rien ne transparaît (figure 10).



Le spectre (figure 11) montre que les harmoniques sont relégués à près de -65 dB.

Sur la figure 12, on remarque les deux composantes à 31 kHz et 33 kHz (fondamental à 1 kHz), premières composantes prévues par la théorie pour une approximation d'ordre 3.

Un « zoom » sur le fondamental met en évidence une légère modulation d'amplitude (figure 13) dont témoignent les deux raies de part et d'autre du fondamental à -55 dB. Cela représente moins de 1 % de modulation.

Comme élément de comparaison, la figure 14 représente le spectre d'un générateur intégré coûteux que l'on ne citera pas. La plage de fréquences va de 0,5 Hz à 200 kHz environ. Le montage consomme environ 45 mA.

## Conclusion

Vous voici en mesure de réaliser, à l'aide de quelques composants de « fond de tiroir », un GBF au contenu spectral meilleur que celui proposé par les générateurs intégrés classiques avec, en prime, deux signaux synchrones : l'un en phase et l'autre en quadrature.

Tous deux serviront pour un montage annexe de détection de gain et de phase.

V. THIERNESSE  
vingt\_centimes@hotmail.com